

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abschlussbericht der Verbundpartner

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren Hochschule Trier - Umwelt-Campus Birkenfeld (Andrea Christian, Christoph Göttert, Klaus-Uwe Gollmer, Rainer Michels, Stefan Naumann, Stefan Rüffler), Hochschule Niederrhein (Monika Eigenstetter, Verena Jähn unter Mitarbeit von E-katarina Jäger, Judith Darteh und Peter Potthast) und IZES gGmbH (Bodo Groß, Sebastian Arns, Alejandro Tristan, Hannah Manns).

Förderkennzeichen: FKZ 03ET1070 Verbundpartner A/B/C

Vorhabensbezeichnung: **EnOB/EnBop/EnEff: Campus: Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation (REGENA) – Entwicklung und vergleichende Evaluierung geringst- und geringinvestiver Maßnahmen zur energetischen Betriebsoptimierung im Hochschulbereich.**

Laufzeit des Vorhabens: **01.06.2012 bis 31.05.2016**

Berichtszeitraum: **01.06.2012 bis 31.05.2016**

Saarbrücken, den 10.10.2016

Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis	vii
II.	Tabellenverzeichnis	xiv
1	Einleitung	1
2	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	4
2.1	Zusammenarbeit im Bereich „Technik“	4
2.2	Zusammenarbeit im Bereich „psychologische Interventionen“	5
2.3	Administrative Zusammenarbeit der Verbundpartner	5
2.4	Zusammenarbeit mit externen Stellen	5
3	Stand von Wissenschaft und Technik	7
3.1	Vergleich mit vorhandenen Veröffentlichungen zum Thema	9
3.2	Weitere Projekte im Bereich der Energieeffizienzsteigerung.....	10
4	Projektbericht Umwelt-Campus Birkenfeld (03ET1070A)	16
4.1	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben am Umwelt-Campus Birkenfeld durchgeführt wurde.....	17
4.1.1	Gebäudebeschreibung: allgemeine und technische Ausrüstung	17
4.1.2	Kompetenzen der ausführenden Stelle	22
4.1.3	Ausgangssituation: Schwierigkeiten bei der Erhebung des Ist- Zustandes.....	22
4.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	23
4.2.1	Zeitplan.....	23
4.2.2	Ablauf des Vorhabens am Umwelt-Campus Birkenfeld.....	24
4.3	Aufzählung wesentlicher wissenschaftlich-technischer Ergebnisse, Nebenergebnisse sowie Erfahrungen.....	25
4.3.1	Festlegung der zu untersuchenden Gebäudeteile und Raumtypen.....	25
4.3.2	Identifikation der relevanten Nutzergruppen	27
4.3.3	Ergebnisdarstellung der einzelnen Arbeitspakete	27
4.3.3.1	Arbeitspaket 1: Technische Bestandsaufnahme und Basisdaten	27
4.3.3.2	Arbeitspaket 2: Umsetzung der geringstinvestiven Maßnahmen	41
4.3.3.3	Arbeitspaket 3: Psychologische Interventionen	50
4.3.3.4	Arbeitspaket 4: Umsetzung der geringinvestiven Maßnahmen.....	60
4.3.3.5	Arbeitspaket 5: Monitoring, Auswertung und Visualisierung	75
4.3.3.5.1	Monitoringphasen	76
4.3.3.6	Zusammenfassende Energiebilanz der Untersuchungszeiträume.....	112
4.3.4	Darstellung des REGENA-Modells	112

4.3.5	Verwertung der Ergebnisse	115
4.3.5.1	Wissenschaftliche und fachöffentliche Verwertung.....	115
4.3.5.2	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	117
4.3.5.3	Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten.....	118
4.3.5.4	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	119
5	Projektbericht Hochschule Niederrhein (03ET1070B).....	120
5.1	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben an der Hochschule Niederrhein durchgeführt wurde	121
5.1.1	Gebäudebeschreibung: allgemein und technische Ausrüstung	121
5.1.2	Kompetenzen der ausführenden Stelle	122
5.1.3	Ausgangssituation an der Hochschule Niederrhein: Die Erhebung des Ist-Zustandes	122
5.2	Zeitplan und Ablauf des Vorhabens an der Hochschule Niederrhein.....	126
5.3	Stand der psychologischen Forschung.....	127
5.3.1	Nutzungsabhängige Einsparpotenziale in Gebäuden.....	127
5.3.2	Interventionen im umweltspsychologischen Bereich: Überblick über bisherige Befunde für die Förderung energieeffizienten Verhaltens	128
5.3.2.1	Interventionen für energieeffizientes Verhalten	128
5.3.2.2	Kommunikationsstrategien und Soziales Marketing	133
5.3.2.3	Partizipation als Schlüssel für Verhaltensänderungen.....	134
5.3.2.4	Nachhaltige Bildung und partizipatives Lernen	134
5.3.2.5	Didaktische Anforderungen an Informationsmaterialien	135
5.3.2.6	Smarte Technologien im Einsatz: Die Perspektive der Nutzer	135
5.3.2.7	Feedback bei Interventionen	136
5.3.3	Das theoretische Fundament der psychologischen Messungen in REGENA	138
5.3.3.1	Prädiktoren des Verhaltens: Das psychologische Rahmenmodell von REGENA im Überblick.....	140
5.3.3.2	Das baulich-technische Umfeld des Projekts REGENA.....	141
5.3.3.3	Organisationale Rahmenbedingungen der beteiligten Hochschulen.....	142
5.3.3.4	Merkmale von Hochschulangehörigen.....	142
5.4	Entwicklungsarbeiten: Fragenbogen EVE und UVE	143
5.4.1	Einstellungen und Verhaltensintentionen zum Energiesparen – der EVE-Fragebogen.....	146
5.4.1.1	Die Skalen des Fragebogens EVE	146
5.4.1.2	Reliabilitätsanalyse des EVE-Fragebogens anhand der Datensätze der Studierenden.....	148
5.4.1.3	Reliabilitätsanalyse des EVE-Fragebogens anhand der Datensätze der Beschäftigten	153

5.4.1.4	Faktorenanalytische Prüfung der Items aus einer Erhebung bei Studierenden der Hochschule Niederrhein	157
5.4.1.5	Abschließende Bewertung zum Fragebogen EVE.....	159
5.4.2	Fragebogenentwicklung UVE	160
5.4.2.1	Einflussmöglichkeiten der Nutzenden auf die räumlichen Bedingungen	161
5.4.2.2	Einsparpotenziale durch energetische Betriebsoptimierung	161
5.4.2.3	Exkurs: Umgebungsbedingungen und Klimafaktoren am Arbeitsplatz mit Auswirkungen auf den Energieverbrauch	162
5.4.2.4	Die Adaption des Fragebogens an die Zielgruppen.....	163
5.4.3	Beobachtungsbogen.....	164
5.5	Informationsmaterialien	164
5.5.1	Die Entwicklung der Informationsmaterialien.....	164
5.5.1.1	Anschaulichkeit von Informationen	164
5.5.1.2	Einstellungs- und verhaltenswirksame visuelle Botschaften (Prompts).....	167
5.5.2	Das Energiesparpaket: Neue Informationsmaterialien und Zugangswege für die Mitarbeiter	170
5.6	Intervention bei Studierenden: die Kurzschulungen	172
5.6.1	Überblick über die Datenerhebung „Einstellungen und Verhaltensintentionen“ (EVE)	172
5.6.2	Baseline-Messung	173
5.6.3	Interventionen durch Kurzschulungen und Plakate im Gebäude F an der Hochschule Niederrhein	177
5.6.4	Interventionen durch Kurzschulungen, Plakate und CO ₂ -Feedback an der Hochschule Niederrhein	181
5.6.5	Interventionen durch Kurzschulungen am Umwelt-Campus Birkenfeld	185
5.6.6	Veränderungen in den Umgebungsbedingungen am UCB und der HN: Fragebogen UVE.....	191
5.6.7	Zusammenhänge zwischen Einstellungen, Verhaltensweisen und Komfort in den Hörsälen der beiden Hochschulen	200
5.6.7.1	Ablauf der Datenerhebung.....	200
5.6.7.2	Erfassung der Umgebungsbedingungen durch Messungen und Beobachtungen	201
5.6.7.3	Zusammenhang zwischen Umgebungsbedingungen, Komfort und Verhalten	210
5.6.8	Diskussion der Effekte	210
5.7	Aktivierende Interventionen bei Studierenden: Die interdisziplinären Projekte am Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen der Hochschule Niederrhein (IP 1-3).....	211
5.7.1	Vorbemerkung.....	211

5.7.2	IP 1 und 2: Zusammenhänge zwischen Einstellungen, Verhaltensweisen und Komfort.....	212
5.7.2.1	Ablauf der Datenerhebung in den Interdisziplinären Projekten.....	212
5.7.2.2	Die Zielgruppe: Teilnehmerzahlen und Rücklauf	213
5.7.2.3	Veränderungen bei Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE).....	215
5.7.2.4	Die Beurteilung der objektiv messbaren Umgebungsbedingungen	215
5.7.2.5	Die subjektive Bewertung des Komfortempfindens.....	216
5.7.2.6	Zusammenhänge zwischen Umgebungsbedingungen, Komfort und Verhalten (IP)	219
5.7.2.7	Veränderungen auf der Verhaltensebene.....	221
5.7.2.8	Wärmebedarfsberechnungen für den Raum R 107	221
5.7.2.9	Zusammenfassung der Ergebnisse aus IP 1 und IP 2.....	223
5.7.3	Vergleich der Veränderungen zwischen aktivierenden und nicht aktivierenden Interventionen (Studierende im Gebäude F versus Gebäude H).....	223
5.7.4	IP 3: Entwicklung eines Energieleitfadens.....	226
5.8	Interventionen bei den Hochschul-Beschäftigten	227
5.8.1	Überblick über die Messungen und Interventionen bei den Beschäftigten.....	227
5.8.2	Vergleich der Einstellungen und Verhaltensintentionen bei den Beschäftigten beider Hochschulen – Baseline	230
5.8.3	Intervention: Schulung mit Kleingruppenarbeit	231
5.8.4	Veränderungen von Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE) nach den Interventionen bei den Beschäftigten	232
5.8.5	Intervention Stromschulung und Anbringen von Türhängern	235
5.8.6	Evaluation des Energiesparpakets: Neue Informationsmaterialien und Zugangswege für die Beschäftigten	237
5.8.6.1	Methodik und Zielgruppe	238
5.8.6.2	Veränderungen von Einstellungen und Verhalten vor und nach dem Verteilen des Energiesparpakets.....	238
5.8.6.3	Veränderungen der Stromdaten vor und nach dem Verteilen des Energiesparpakets.....	240
5.8.7	Umgebung und Veränderungen der Verhaltensweisen der Beschäftigten: Die Auswertungen der Befragungen mit dem UVE	244
5.8.7.1	Personenmerkmale der befragten Beschäftigten.....	244
5.8.7.2	Wahrnehmung des Projektes REGENA bei den Beschäftigten	245
5.8.7.3	Räumliche Umgebungsbedingungen der Arbeitsbereiche.....	246
5.8.7.4	Komfortempfinden in Abhängigkeit von den Raumumgebungsdaten	248
5.8.7.5	Zusammenhänge zwischen Anzahl der Personen und Komfortempfinden	252

5.8.7.6	Die Regulierung der Raumheizung.....	254
5.8.7.7	Verbesserungsvorschläge der Beschäftigten beim Gebäudemanagement.....	256
5.8.7.8	Erfassung der Stromverbraucher in den Arbeitsräumen.....	257
5.8.7.9	Die Nutzung der Energiesparoptionen.....	260
5.8.7.10	Einfluss von Beschaffungsprozessen auf die Energieeffizienz	260
5.8.7.11	Das Alltagsverhalten der Beschäftigten im Umgang mit Energie.....	261
5.8.8	Diskussion der Effekte der Interventionen	268
5.9	Untersuchung der Mensch-Technik-Schnittstelle	269
5.9.1	Gebrauchstauglichkeit: Zentrale Anforderung an Mensch-Technik- Schnittstellen	269
5.9.2	Felderhebung in einem kombinierten Büro- und Hörsaalgebäude zur Nutzung von Thermostaten	270
5.9.2.1	Mehrverbrauch durch fehlerhafte Nutzung	270
5.9.2.2	Befragung über das Nutzerverhalten (Heizungsthermostate).....	271
5.9.3	Usability-Tests im Labor	271
5.9.3.1	Stichprobe und Methodik	271
5.9.3.2	Ergebnisse des Usability-Tests	273
5.9.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse (Bewertung).....	277
5.9.3.4	Methodische Einschränkungen.....	278
5.10	Wesentliche Erkenntnisse aus den Arbeiten und Ableitung von Forschungsdesiderata	279
5.10.1	Probleme mit dem technischem Equipment und der Organisation	279
5.10.2	Lessons Learned	279
5.10.2.1	Lessons learned als Bestandteil von Evaluationen.....	279
5.10.2.2	Zielsetzungen für die Projekte	280
5.10.2.3	Berücksichtigung der Belange der Beteiligten	281
5.10.3	Einschränkungen in der Umsetzung der psychologischen Interventionen.....	284
5.10.3.1	Partizipatives Schulungs- und Umsetzungskonzept	284
5.10.3.2	Einbindung in die normativen Orientierungen und Ziele der Hochschulen und Managementsysteme.....	285
5.10.3.3	Feedback für die Nutzenden in Gebäuden	287
5.10.3.4	Anforderungen an die Beschaffung technischer Ausstattungen	287
6	Projektbericht IZES gGmbH (03ET1070C)	289
6.1	Ausgangssituation am Campus Krefeld-Süd der Hochschule Niederrhein.....	290
6.1.1	Allgemeine Gebäudebeschreibung und technische Ausrüstung	290
6.1.2	Kompetenzen der ausführenden Stelle	292
6.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	294

6.3	Aufzählung wesentlicher wissenschaftlich-technischer Ergebnisse, Nebenergebnisse sowie Erfahrungen.....	297
6.3.1	Auswahl der Messtechnik.....	297
6.3.1.1	Heizkostenverteiler	298
6.3.1.2	Einsatz und Weiterentwicklung INES-Box	306
6.3.2	Arbeitspakete	314
6.3.2.1	Arbeitspakete 1 – 3.....	314
6.3.2.2	Arbeitspaket 4: Planung und Umsetzung von geringinvestiven technischen Maßnahmen	316
6.3.2.3	Arbeitspaket 5: Monitoring und Visualisierung.....	322
6.3.2.4	Arbeitspaket 6: Verwertung der Ergebnisse	365
7	Vergleich der Hochschulstandorte	369
7.1	Vergleichende Datenauswertung.....	371
7.1.1	Wärmeenergieverbrauch.....	371
7.1.1.1	Referenzgebäude	371
7.1.1.2	Büros	380
7.1.1.3	Besprechungsräume.....	384
7.1.1.4	Flure	386
7.1.2	Stromverbrauch.....	388
7.1.2.1	Stromverbrauch des Referenzgebäudes	389
7.1.2.2	Stromverbrauch der Hörsäle.....	390
7.1.2.3	Stromverbrauch Seminarräume/Vorlesungsräume.....	392
8	Zusammenfassung.....	394
9	Literaturverzeichnis	400
10	Anhang	415
10.1	Berichtsteil des Verbundpartners Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld, Institut für Softwaresysteme	415
10.1.1	Liste gering- und geringstinvestiver Maßnahmen am Beispiel des Hochschulstandorts Umwelt-Campus Birkenfeld.....	417
10.2	Berichtsteil des Verbundpartners Hochschule Niederrhein, Standort Krefeld-Süd: Befragungs- und Beobachtungsinstrumente	446
10.2.1	Fragebogen Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE).....	446
10.2.2	Fragebogen Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE).....	453
10.2.3A.3	Komfortempfinden Studierende.....	459
10.2.4	Fragebogen Umgebungsbedingungen und Verhalten (zu räumlichen und technischen Gegebenheiten der Arbeits- und Vorlesungsräume) (UVE) und Komfortempfinden Mitarbeitende.....	461
10.2.5	Beobachtungsbogen Hörsaal	469

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: REGENA-Dreieck (Projekt REGENA, kein Datum)	3
Abbildung 2: Fietkau-Modell (Quelle: (Nolte, 2004))	13
Abbildung 3: Wärmebildaufnahme der Außenwand	21
Abbildung 4: Wärmebildaufnahme der Außenwand mit Sockel.....	21
Abbildung 5: Zeitplan des Vorhabens am Umwelt-Campus Birkenfeld	23
Abbildung 6: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs	25
Abbildung 7: Ausgewählte Raumnutzungstypen.....	26
Abbildung 8: Übersicht der Standorte verwendeter Messtechnik und gemessene Bereiche am Campus Birkenfeld.....	30
Abbildung 9: Übersicht Messstellen und Übertragungswege	32
Abbildung 10: Datenfluss Messdaten	33
Abbildung 11: Relationales Datenmodell für die PostgreSQL-Datenbank.....	34
Abbildung 12: Einzelraumregler.....	40
Abbildung 13: Aufkleber Wasserspartasten	50
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Schulungsinhalte und -ziele	52
Abbildung 15: Fensteraufkleber mit Erinnerung zur Schließung	54
Abbildung 16: Rücklaufquote der Fragebögen.....	59
Abbildung 17: Mikroprozessorboard und Sensoren	66
Abbildung 18: Draufsicht des geschlossenen Gehäuses eines REGENA-Piloten.....	67
Abbildung 19: BIRT RCP-Designer.....	68
Abbildung 20: Eingabe Reportparameter.....	68
Abbildung 21: Feedback Wärmeenergiebedarf für Büros	69
Abbildung 22: Luftgüteampel	71
Abbildung 23: Luftgütewerte und Fenster- und Türöffnungen vor Installation der Luftgüteampel (linke Ordinate ppm, rechte Ordinate °C bzw. Luftfeuchte in %).....	72
Abbildung 24: Luftgütewerte und Fenster- und Türöffnungen nach Installation der Luftgüteampel (linke Ordinate ppm, rechte Ordinate °C bzw. Luftfeuchte in %).....	73
Abbildung 25: Bildausschnitt aus der thingspeak-Website des Umwelt-Campus mit aktuellem CO ₂ -Wert (oben) und CO ₂ -Verlauf in ppm	74
Abbildung 26: CO ₂ -Messgerät (CO ₂ -Wert optimal)	75
Abbildung 27: CO ₂ -Messgerät (CO ₂ -Wert schlecht).....	75
Abbildung 28: Verhältnis Digits/kWh Bürogebäude.....	77
Abbildung 29: Elektrischer Energiebedarf Technikum pro Messperiode (kWh).....	79
Abbildung 30: Wärmebedarf Technikum pro Messperiode	80
Abbildung 31: Wärmebedarf Technikum.....	81
Abbildung 32: Elektrischer Energiebedarf Hörsäle pro Messperiode	82
Abbildung 33: Strombedarf Hörsäle (ohne Lüftung).....	83
Abbildung 34: Wärmebedarf Hörsäle 1-3.....	83
Abbildung 35: Wärmebedarf der Raumtypen im Glasbau	84
Abbildung 36: Energiebedarf Kälte Hörsäle 1-3.....	85
Abbildung 37: Monatlicher Energiebedarf Kälte	85
Abbildung 38: Flächenanteile Verwaltungsgebäude	86

Abbildung 39: Elektrischer Energiebedarf Büros.....	87
Abbildung 40: Elektrischer Energiebedarf Büros nach Verbrauchsart.....	88
Abbildung 41: Elektrischer Energiebedarf Seminarraum nach Verbrauchsart.....	88
Abbildung 42: Elektrischer Energiebedarf Seminarraum pro Messperiode	89
Abbildung 43: Wärmebedarf des untersuchten Verwaltungsgebäudes	89
Abbildung 44: Wärmebedarf je Messperiode der Büros.....	90
Abbildung 45: Büros - monatlicher Wärmebedarf	91
Abbildung 46: spezifischer Wärmebedarf je Messperiode Seminarraum	92
Abbildung 47: Rangliste der spezifischen Wärmeverbräuche je Messperiode nach Raumtyp.....	93
Abbildung 48: Gesamtbedarf Wärme aller gemessenen Gebäude nach Messperiode	94
Abbildung 49: Bedarf Wärme nach Gebäuden je Messperiode.....	95
Abbildung 50: Gesamtbedarf elektrische Energie	95
Abbildung 51: Monatlicher Wärmebedarf Hörsäle.....	96
Abbildung 52: Monatlicher Verbrauch Lüftungsanlage Hörsäle 1-3	98
Abbildung 53: Energiebedarfsentwicklung in den Hörsälen aufgrund der beiden Maßnahmen "Lüftung"	99
Abbildung 54: Wärmebedarf Heizkörper mit programmierbaren Heizkörperthermostaten (Umstellung ab der 2. Messperiode).....	100
Abbildung 55: Wärmebedarf Heizkörper mit Arretierung der Heizkörperthermostate (ab der 2. Messperiode)	101
Abbildung 56: Strombedarfsentwicklung in den Hörsälen zeitnah vor und nach der ersten Strom-Informationsveranstaltung	104
Abbildung 57: Strombedarfsentwicklung in den Hörsälen längerfristig vor der ersten und nach den zweiten Strom-Informationsveranstaltungen	105
Abbildung 58: Monatlicher Stromverbrauch in den drei Hörsälen	106
Abbildung 59: Strombedarfsentwicklung im Seminarraum zeitnah vor und nach den ersten Strom-Informationsveranstaltungen.....	107
Abbildung 60: Strombedarfsentwicklung im Seminarraum längerfristig vor der ersten und nach den zweiten Strom-Informationsveranstaltungen	108
Abbildung 61: Hinweis zum Licht löschen.....	109
Abbildung 62: Strombedarfsentwicklung in den Hörsälen in Abhängigkeit von Hinweisen zum Löschen des Lichts	110
Abbildung 63: Kabinenbeleuchtung Aufzüge	111
Abbildung 64 Schematische Darstellung des REGENA-Modells	114
Abbildung 65: Ablaufplan REGENA an der Hochschule Niederrhein	127
Abbildung 66: AIDA-Modell, eigene Darstellung in Anlehnung an (Meffert, et al., 2008, p. 706).....	133
Abbildung 67: Einfaches Handlungsmodell.....	139
Abbildung 68: Psychologisches Rahmenmodell in REGENA, das der Entwicklung der Fragebogen EVE und UVE zugrunde liegt.	141
Abbildung 69: Strom-, Kosten- und CO ₂ -Einsparung	165
Abbildung 70: Veranschaulichung des Stromverbrauchs eines Hochschulgebäudes durch die entsprechende Anzahl von Einfamilienhäusern	166
Abbildung 71: Einstellungen im Powermanagement (PC, Laptop).....	167

Abbildung 72: Plakat „REGENA- Augenmerk auf Energie“	169
Abbildung 73: Flyer-Innenseite	170
Abbildung 74: Flyer-Außenseite	171
Abbildung 75: Energiespar-Paket der Hochschule Niederrhein	172
Abbildung 76: Baseline-Skalenmittelwerte, Studierende an der HN und am UCB, Fragebogen EVE	175
Abbildung 77: Vergleich Baseline-Erhebung (WS 14) mit der Erhebung nach der Stromschulung (SS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)	179
Abbildung 78: Vergleich der Erhebungen nach der Stromschulung (SS 15) und nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)	180
Abbildung 79: CO ₂ -Monitor XL; Artikel-Nr. 57109 (Airflow Lufttechnik GmbH)	181
Abbildung 80: Vergleich der Baseline-Erhebung im WS 13 mit der Erhebung nach Stromschulung im SS 14 und Wärmeschulung im WS 14 in den Hörsälen am UCB (Gesamterhebung im WS 14)	185
Abbildung 81: Vergleich der Skalenmittelwerte nach Stromschulung im SS 14 und Wärmeschulung im WS 14 (Gesamterhebung WS 14) mit der Messung nach Stromschulung im SS 15 (Erhebung SS 15) in den Hörsälen am UCB	187
Abbildung 82: Vergleich der Skalenmittelwerte der Messung nach der Stromschulung (SS 15) mit denen nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen am UCB.	189
Abbildung 83: Darstellung aller Skalenmittelwerte nach der Baseline-Messung und den Interventionen in den Hörsälen am UCB	190
Abbildung 84: Ausgegebene Fragebögen UVE und Rücklauf in allen Erhebungen an HN und UCB	191
Abbildung 85: Gegenüberstellung der Baseline-Erhebungen Fragebogen UVE an HN und UCB (Baseline HN erhoben im WS 2014, Baseline UCB erhoben im WS 2013)	192
Abbildung 86: Bewertung der klimatischen Situation in Hörsälen der HN bei der Baseline-Erhebung	193
Abbildung 87: Bewertung der klimatischen Situation in Hörsälen am UCB bei der Baseline-Erhebung	194
Abbildung 88: Vergleich Mittelwerte der Items aus Fragebogen UVE aus Baseline und nach Strom- und Wärmeschulung (SS 14 bzw. WS 14) am UCB	195
Abbildung 89: Mittelwert-Vergleich der Items aus Fragebogen UVE aus erster Interventionsmessung und nach zweiter Interventionsmessung (geringinvestive Maßnahme) am UCB	196
Abbildung 90: Vergleich Mittelwerte der Items aus Fragebogen UVE nach Strom- und Wärmeschulung (SS 14 bzw. WS 14) und Stromschulung (SS 15), Erhebungen im WS 14 und SS 15 am UCB	197
Abbildung 91: Vergleich der Mittelwerte der Items aus den Erhebungen an der HN aus Baseline-Erhebung mit Interventionsmessung im Sommersemester 2015	198

Abbildung 92: Vergleich Mittelwerte der Items aus Fragebogen UVE nach der Stromschulung (SS 15) und nach der Wärmeschulung (WS 15) an der HN	199
Abbildung 93: Veränderungen in den Skalen des Fragebogens EVE über drei Messzeitpunkte	215
Abbildung 94: Temperaturempfinden.....	217
Abbildung 95: Luftgüte.....	217
Abbildung 96: Empfundene kalte „Abstrahlung“	218
Abbildung 97: Messungen von EVE vor und nach Interventionen.....	225
Abbildung 98: Skalenmittelwerte, EVE-Baseline-Befragungen (Beschäftigte beider Hochschulen)	231
Abbildung 99: Darstellung aller erhobenen Skalenmittelwerte bei Beschäftigten mit dem Fragebogen EVE am UCB	233
Abbildung 100: Skalenmittelwerte Fragebogen EVE der Befragungen bis zum Wintersemester 2015 (nach Verteilung der Türhänger), Beschäftigte der Hochschule Niederrhein	236
Abbildung 101: Darstellung aller erhobenen Skalenmittelwerte bei Beschäftigten mit dem Fragebogen EVE an der Hochschule Niederrhein	239
Abbildung 102: Verbrauchsgegenüberstellung des Stroms an der HN 2015/2016.....	241
Abbildung 103: Flächen- und Verbrauchsanteile an der HN 2016	242
Abbildung 104: Zeiträume Gebäudenutzung, Beschäftigung und Wochenarbeitszeit	245
Abbildung 105: Anzahl der Beschäftigten in den Büros	247
Abbildung 106: Empfundene Abstrahlung von Böden, Fenster und Wänden bei Kälte	249
Abbildung 107: a Komfortempfinden HN b Komfortempfinden UCB	250
Abbildung 108: Einflussmöglichkeiten der Beschäftigten auf die Raumklimafaktoren.....	251
Abbildung 109: Stoßlüften (Angaben in Minuten).....	262
Abbildung 110: Umgang mit Beleuchtung.....	265
Abbildung 111: Umgang mit der PC-/Laptop-Stromversorgung	267
Abbildung 112: Honeywell HR 40 und Funk-Heizkörper-Thermostat-Set Conrad FHT 8.....	272
Abbildung 113: Aufgabe 1 – Selbstbewertung der Probanden nach dem angepassten Fragebogen NASA-TLX.....	275
Abbildung 114: Aufgabe 2 – Selbstbewertung der Probanden nach dem angepassten Fragebogen NASA-TLX.....	276
Abbildung 115: INES-Box mit ISAN-Erweiterung	295
Abbildung 116: Parametrierung der Heizkostenverteiler	296
Abbildung 117: Elektronischer Heizkostenverteiler 556 der Firma Sontex (Quelle: (Sontex AG, 2012)).....	298
Abbildung 118: Detailansicht Heizkostenverteiler	300
Abbildung 119: Ermittlung des Korrekturfaktors KC	303
Abbildung 120: Ermittlung des Korrekturfaktors KT	304
Abbildung 121: Charakteristik der Digitaleingänge der INES-Box bezüglich der Eingangsfrequenz der Impulse.....	306

Abbildung 122: Einbausituation der INES-Box in einem Unterverteilerkasten	307
Abbildung 123: Einbausituation der INES-Box im Raum F307.....	308
Abbildung 124: INES-Box mit ISAN Erweiterung	308
Abbildung 125: Entwicklungsstand der INES-BOX HW300 (grün: abgeschlossen, gelb: in Bearbeitung) Ende 2014	310
Abbildung 126: Vergleich der INES-Spezifikationen der INES HW200 und HW300.....	311
Abbildung 127: Schema der Spannungsversorgung der INES 2.0 in der Version HW310.....	312
Abbildung 128: Entwicklungsstand der INES-Box in der Version HW310 (grün: abgeschlossen, gelb: zurückgestellt).....	314
Abbildung 129: Übersicht Messstellen	320
Abbildung 130: Übersicht Gebäude A der Hochschule Niederrhein (Quelle: http://www.hs-niederrhein.de/lageplananfahrt/campus-krefeld-sued/gebäudeplaene/)	323
Abbildung 131: Gesamtheizenergieverbrauch Gebäude A Nov 2014 - Apr 2016 (täglich).....	329
Abbildung 132: Gesamtheizenergieverbrauch Gebäude A Nov 2014 - Apr 2016 (monatlich).....	330
Abbildung 133: Heizenergieverbrauch der einzelnen Raumtypen, kalkuliert mittels der gemessenen HKV Digits	330
Abbildung 134: Vergleich des monatlichen Heizenergieverbrauchs der RNK pro Messperiode	332
Abbildung 135: Absolute Verteilung der Heizenergie und Fläche nach RNK für die Zeiträume Nov. 2014 bis April 2015 und Nov. 2015 bis April 2016.....	333
Abbildung 136: Bildung der Regressionsgeraden der Auftragung des täglichen Energieverbrauchs über die mittlere Tagesaußentemperatur Gebäude A Jahr 2015.....	335
Abbildung 137: Betrachtung des flächenspezifischen Gesamtheizenergieverbrauchs Gebäude A (täglich)	337
Abbildung 138: Betrachtung des flächenspezifischen Gesamtheizenergieverbrauchs Gebäude A (pro Heizperiode)	338
Abbildung 139: Betrachtung des flächenspezifischen Gesamtheizenergieverbrauchs Gebäude A (monatlich)	342
Abbildung 140: Betrachtung des flächenspezifischen Heizenergieverbrauchs der einzelnen RNK (Messperiode 1, täglich)	344
Abbildung 141: Betrachtung des flächenspezifischen Heizenergieverbrauchs der RNK in beiden Messperioden	345
Abbildung 142: Vergleich des monatlichen Heizenergieverbrauches der RNK pro Messperiode zur Außentemperatur	350
Abbildung 143: Gesamtstromverbrauch Gebäude A (täglich)	353
Abbildung 144: Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Hauptstromkreise in Gebäude A November 2014 bis April 2016 (täglich).....	355
Abbildung 145: Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Netzersatzkreise in Gebäude A November 2014 bis April 2016 (täglich).....	356

Abbildung 146: Absoluter Stromverbrauch von Gebäude A, Zusammenfassung der Hauptstrom- und Netzersatzkreise einzelner Raumgruppen (täglich).....	357
Abbildung 147: Verbrauchsanteile der Stromkreise im Jahr 2015 (links); Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Stromkreise in kWh im Jahr 2015 (rechts)	358
Abbildung 148: Betrachtung des flächenspezifischen Energieverbrauchs des Rechenzentrums im Vergleich zu den anderen Stromkreisen des Gebäudes A.....	359
Abbildung 149: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs des Gebäudes A zwischen November 2014 - April 2016 (täglich).....	360
Abbildung 150: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs des Gebäudes A zwischen November 2014 und März 2015 sowie November 2015 und April 2016 (monatlich)	361
Abbildung 151: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs verschiedener Raumtypen im Zeitraum von November 2014 bis April 2016 (monatlich)	362
Abbildung 152: Vergleich des spezifischen Gesamtstromverbrauchs der betrachteten Vorlesungsräume (täglich).....	363
Abbildung 153: Vergleich des absoluten Stromverbrauchs der betrachteten Vorlesungsräume in kWh im Kalenderjahr 2015	363
Abbildung 154: Vergleich des flächenspezifischen Stromverbrauchs der betrachteten Vorlesungsräume in kWh im Jahr 2015 in kWh/m ² a	364
Abbildung 155: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs der Vorlesungsräume und Hörsäle verglichen mit dem offiziellen Vergleichswert (täglich).....	365
Abbildung 156: Verteilung der Heizenergie und der Fläche nach den Raumnutzungskategorien	374
Abbildung 157: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der Referenzgebäude beider Hochschulen	377
Abbildung 158: Vergleich der Heizenergieverbräuche der Referenzgebäude beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur und dem offiziellen Vergleichswert.....	377
Abbildung 159: Vergleich der Heizenergieverbräuche der untersuchten Büros beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur.....	381
Abbildung 160: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Büros beider Hochschulen.....	384
Abbildung 161: Vergleich der Heizenergieverbräuche der untersuchten Besprechungsräume beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur	385
Abbildung 162: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Besprechungsräume beider Hochschulen	386
Abbildung 163: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Flure beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur	387
Abbildung 164: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Flure beider Hochschulen.....	388
Abbildung 165: Vergleich der Stromverbräuche beider Hochschulen mit dem offiziellen Vergleichswert.....	389

Abbildung 166: monatlicher Stromverbrauch der Hörsäle beider Hochschulen.....	390
Abbildung 167: Jährlicher Stromverbrauch des Kalenderjahrs 2015 der Hörsäle der beiden Hochschulen	391
Abbildung 168: monatlicher Stromverbrauch der Vorlesungsräume/Seminarräume beider Hochschulen	392
Abbildung 169: jährlicher, spezifischer Stromverbrauch der Vorlesungsräume/Seminarräume beider Hochschulen	392

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nutzung und Topologie Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld.....	18
Tabelle 2: Technik und Verbräuche der untersuchten Hörsäle, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld.....	19
Tabelle 3: Technik und Verbräuche Technikum, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld.....	20
Tabelle 4: Technik und Verbräuche untersuchtes Bürogebäude, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld.....	20
Tabelle 5: Ausgewählte Gebäudeteile bzw. Raumtypen	26
Tabelle 6: Zuordnung Nutzergruppen zu den ausgewählten Gebäudeteilen	27
Tabelle 7: Gebäudetechnik/Automation des untersuchten Fachbereichsverwaltungsgebäudes	28
Tabelle 8: Gebäudetechnik/Automation der untersuchten Hörsäle und des Technikums	29
Tabelle 9: Übersicht der im Projekt verwendeten, vorhandenen und zusätzlich installierten Messstellen	31
Tabelle 10: Zeitraum der Messperioden	36
Tabelle 11: Erfassung psychologischer Basisdaten	38
Tabelle 12: Erstbeobachtung Beamer/Beleuchtung.....	39
Tabelle 13: Geringstinvestive Maßnahmen.....	42
Tabelle 14: Schulungen am Umwelt-Campus Birkenfeld	53
Tabelle 15: Befragungen/Beobachtungen Studierende.....	57
Tabelle 16: Befragungen/Beobachtungen Mitarbeiter	58
Tabelle 17: Befragungen/Beobachtungen Dozenten	58
Tabelle 18: Beobachtungsergebnisse Beamer/Beleuchtung.....	60
Tabelle 19: Geringinvestive Maßnahmen	61
Tabelle 20: Verhältnis Digits/kWh	78
Tabelle 21. Gesamtverbräuche Umwelt-Campus Birkenfeld 2013 bis 2015.....	93
Tabelle 22: Zeitliche Abhängigkeit der Stromverbrauchsmessungen zu den Stromschulungen.....	103
Tabelle 23: Einsparpotenzial bei Austausch Beleuchtungsmittel in den Aufzügen	111
Tabelle 24. Energieverbräuche und Einsparungen während der Messperioden	112
Tabelle 25: INES-Boxen zur Erfassung des Stromverbrauchs in Räumen der Hochschule Niederrhein.....	124
Tabelle 26: Messstellen Wärmeenergie an der Hochschule Niederrhein	125
Tabelle 27: Mögliche Klassifikation der Interventionen (Übersicht)	131
Tabelle 28: Feedback-Wirkfaktoren (Effektstärke, Korrelationen nach Bravais-Pearson)	137
Tabelle 29: Geschlechterverteilung der befragten Studierenden	149
Tabelle 30: Altersstruktur der befragten Studierenden.....	150
Tabelle 31: Fragebogen EVE, Skalenreliabilitäten im Zeitverlauf, Befragung von 1686 Studierenden der HN und des UCB (Reliabilitätskoeffizient Cronbachs Alpha)	152

Tabelle 32: Geschlechterverteilung der befragten Hochschul-Beschäftigten	153
Tabelle 33: Altersstruktur der befragten Hochschul-Beschäftigten.....	154
Tabelle 34: Fragebogen EVE, Skalenreliabilitäten im Zeitverlauf, Befragung von Beschäftigten der HN und am UCB (Reliabilitätskoeffizient Cronbachs Alpha)	156
Tabelle 35: Erklärte Gesamtvarianz, Hauptkomponentenanalyse des EVE- Fragebogens.....	158
Tabelle 36: Überblick über die Anzahl der befragten Studierenden	164
Tabelle 37: Motive der Prompts der Hochschule Niederrhein	167
Tabelle 38: Übersicht über die Interventions- und Erhebungszeitpunkte	172
Tabelle 39: Einfaktorielle ANOVA zur Prüfung der Mittelwertunterschiede zwischen den ersten drei Messzeitpunkten, Vorerhebung EVE (Studierende der HN).....	176
Tabelle 40: t-Test, Unterschiede von Skalenmittelwerten in den Einstellungen und Verhaltensintentionen mit dem Fragebogen EVE bei den Studierenden der HN und des UCB	177
Tabelle 41: t-Test, Vergleich der Baseline mit der Erhebung der ersten Intervention (Stromschulung im SS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)	178
Tabelle 42: t-Test, Vergleich der Erhebungen nach der Stromschulung (SS 15) und nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)	180
Tabelle 43: Technische Daten des CO ₂ -Monitors (Airflow Lufttechnik GmbH)	182
Tabelle 44: t-Test, Vergleich der Skalenmittelwerte im Raum 20001081 mit CO ₂ -Monitor der Baseline-Messung (WS 14) und nach der Stromschulung (SS 15) im Hörsaal 20001081 der Hochschule Niederrhein.	183
Tabelle 45: t-Test, Vergleich Räume mit und ohne CO ₂ -Monitor nach der Stromschulung (SS 15) in den Hörsälen an der Hochschule Niederrhein	184
Tabelle 46: t-Test, Vergleich der Baseline-Erhebung im WS 13 mit der Erhebung nach der Stromschulung im SS 14 und der Wärmeschulung im WS 14 in den Hörsälen am UCB (Gesamterhebung im WS 14).....	186
Tabelle 47: Vergleich der Skalenmittelwerte nach Stromschulung im SS 14 und Wärmeschulung im WS 14 (Gesamterhebung WS 14) mit der Messung nach Stromschulung im SS 15 (Erhebung SS 15) in den Hörsälen am UCB.	187
Tabelle 48: t-Test, Vergleich der Skalenmittelwerte der Messung nach der Stromschulung (SS 15) mit denen nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen am UCB.	188
Tabelle 49: Anzahl der Personen in den jeweiligen Vorlesungen an beiden Hochschulen	201
Tabelle 50: Überblick über die gemessenen Umgebungswerte in Hörsälen der HN und am UCB	202
Tabelle 51: gemessene Umgebungsbedingungen zu Beginn und Ende der Vorlesungen in den Hörsälen an der HN und am UCB.....	203
Tabelle 52: gemessene Durchschnitts-Dauer der Fensteröffnung (Kipplüftung) während der beobachteten Vorlesungen an der HN in Minuten	205

Tabelle 53: Gemessene durchschnittliche Fensteröffnungsdauer während der beobachteten Vorlesungen am UCB in Minuten.....	206
Tabelle 54: Geöffnete Türen und gezählte Kurzöffnungen der Türen während der Vorlesungen	207
Tabelle 55: Zählung der angeschlossenen Stromverbraucher im Hörsaal	208
Tabelle 56: Zusammenhang von Umgebungsbedingungen (CO ₂ , Luftfeuchte, Temperatur) und Komfortempfinden in den Hörsälen an der HN.....	209
Tabelle 57: Projekte mit intensiver studentischer Beteiligung	211
Tabelle 58: Erhebungen und Interventionen im IP 1 und 2	213
Tabelle 59: Anzahl der verteilten Fragebögen zu den Befragungszeitpunkten und Rücklauf.....	214
Tabelle 60: Anzahl der Personen in den jeweiligen Vorlesungen.....	214
Tabelle 61: Überblick über die gemessenen Umgebungswerte in den Räumen R 107 und R 010 der HN.....	216
Tabelle 62: Komfortempfinden, subjektive Wahrnehmung der Umgebungsbedingungen	218
Tabelle 63: Zusammenhang zwischen Umgebungsbedingungen (CO ₂ , Luftfeuchte, Temperatur) und Komfortempfinden	220
Tabelle 64: Verhalten im Raum R 107 an der HN.....	221
Tabelle 65: Wärmeverluste durch geöffnete Fenster und Türen, Raum R 107 an der HN	222
Tabelle 66: EVE vor und nach Schulung, Mittelwerte und Standardabweichungen	224
Tabelle 67: Energieeffizienzmaßnahmen nach Raumtyp und Einsparpotenziale	226
Tabelle 68: Einsparpotenziale der Hochschule Niederrhein in Krefeld in Euro.....	227
Tabelle 69: Übersicht über die Interventions- und Erhebungszeitpunkte (Beschäftigte).....	228
Tabelle 70: Altersstruktur der befragten Beschäftigten, ausgegebene Fragebögen EVE und Rücklauf (beide Hochschulen)	229
Tabelle 71: Ausgegebene Fragebögen UVE und Rücklauf (Beschäftigte beider Hochschulen).....	229
Tabelle 72: Einfaktorielle ANOVA, Einstellungen und Verhaltensintentionen zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten (EVE, Hochschul-Beschäftigte, UCB)	234
Tabelle 73: t-Test, Wirksamkeit von Schulungsunterlagen und Türhängern bei Beschäftigten der Hochschule Niederrhein (Vergleich vor und nach Türhängern)	237
Tabelle 74: t-Test, Wirksamkeit der Intervention „Energiesparpaket“ bei Beschäftigten der Hochschule Niederrhein (Vergleich nach Türhängern und nach Energiesparpaket).....	238
Tabelle 75: Übersicht Flächen der verschiedenen Bereiche	240
Tabelle 76: Übersicht Stromverbrauch HN	242
Tabelle 77: Wetterdaten Krefeld	243
Tabelle 78: Anzahl der Räume mit und ohne Beleuchtung	244
Tabelle 79: Wahrnehmung der Informationsangebote zum Energiesparen.....	246
Tabelle 80: Arbeitsräume der Beschäftigten der Hochschule Niederrhein	247
Tabelle 81: Arbeitsräume der Beschäftigten am Umwelt-Campus Birkenfeld	248

Tabelle 82: Varianten Fensterpositionen	252
Tabelle 83: Zusammenhänge zwischen der Anzahl der Personen im Raum und der Bewertung der klimatischen Umgebungsbedingungen.....	253
Tabelle 84: Regulierung von Wärme an der Hochschule Niederrhein.....	254
Tabelle 85: Regulierung der Wärme am UCB.....	255
Tabelle 86: Wunschtemperatur der Beschäftigten beider Hochschulen	256
Tabelle 87: Anfragen an das Gebäudemanagement über die Projektlaufzeit.....	257
Tabelle 88: Abschaltbare Steckerleisten im Einsatz	257
Tabelle 89: Elektrogeräte im Einsatz	259
Tabelle 90: Nutzung der Energiesparoptionen.....	260
Tabelle 91: Einfluss der Beschäftigten auf Beschaffungsvorgänge.....	261
Tabelle 92: Umgang mit Thermostaten bei Verlassen des Raumes und Lüften	261
Tabelle 93: Lüftungsverhalten und Verhalten bei Verlassen des Raumes der Beschäftigten an der HN	263
Tabelle 94: Lüftungsverhalten und Verhalten bei Verlassen des Raumes der Beschäftigten am UCB.....	263
Tabelle 95: Usability-Tests der Thermostate: Aufgabenerfüllung und Bearbeitungsdauer.....	274
Tabelle 96: Steckbrief Hochschule Niederrhein	291
Tabelle 97: Übersicht installierter INES-Boxen	296
Tabelle 98: Technische Daten der Sontex EHKV 556 (Quelle: (Sontex AG, 2012))	299
Tabelle 99: HKV-Korrekturfaktoren.....	304
Tabelle 100: Überblick der technischen Spezifikationen der INES-Box in der Hardwareversion HW310	313
Tabelle 101: Ausgewählte Räume, unterteilt nach Typ und Gebäude.....	318
Tabelle 102: Zuordnung der Nutzergruppen zu den ausgewählten Gebäudeteilen	318
Tabelle 103: Zeitraum der Messperioden	321
Tabelle 104: Impulswertigkeit der Wärmehähler	324
Tabelle 105: Referenzräume zur Messung des Stromverbrauchs	325
Tabelle 106: Impulswertigkeiten und Zuordnungen der INES-Boxen zur Erfassung des Stromverbrauchs in Gebäude A	326
Tabelle 107: Wertigkeiten der Verbrauchseinheiten der HKV	328
Tabelle 108: Vergleich der Verbrauchsdifferenzen der Monate der Heizperioden Nov 2014 - Apr 2015 und Nov 2015 - Apr 2016 im Hinblick auf mittlere monatliche Temperaturunterschiede	343
Tabelle 109: Vergleich der Verbrauchsdifferenzen der Monate der Heizperioden Nov 2014 - Apr 2015 und Nov 2015 – Apr 2016 im Hinblick auf Temperaturdifferenzen und Raumnutzungskategorien.....	351
Tabelle 110: Abhängigkeiten des Energieverbrauchs der einzelnen RNK	351
Tabelle 111: Allgemeines zu den untersuchten Gebäuden.....	372
Tabelle 112: Vergleich der Heizenergieverbräuche der Referenzgebäude beider Hochschulen mit den prozentualen Verbrauchsdifferenzen vom UCB zur HN innerhalb der gewählten Temperaturintervalle	379

Tabelle 113: Vergleich der Heizenergieverbräuche der Büros beider Hochschulen mit den Verbrauchsdifferenzen vom UCB zur HN pro Temperaturunterschied	381
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

1 Einleitung

Die Auswirkungen der anthropogen beschleunigten Klimaänderung sind heutzutage allgegenwärtig. Einer der Gründe für diesen rasanten Wandel ist der vermehrte Ausstoß an Treibhausgasen. Ein Großteil dieser Gase wird energiebedingt freigesetzt, weshalb Nutzenergie zukünftig aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen und effizient genutzt werden soll. Um bis 2020 40 % an CO₂, welches 98 % der Treibhausgase ausmacht, einzusparen, entwickelte die Bundesregierung Energieeinsparziele. Diese richten sich zum Großteil an den Gebäudesektor, da dieser nach dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) rund 40 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht. Hochschulen werden unter dem Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen zusammengefasst, welcher nach (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013) rund 11 % der insgesamt genutzten Energie in Deutschland verbraucht und so für rund 25 % des gebäuderelevanten Energieverbrauchs und die dadurch entstehenden Treibhausgase verantwortlich ist. Um einen klimaneutralen Energieverbrauch zu gewährleisten, soll der Bedarf an Primärenergie¹ im Gebäudebestand bis 2020 um 40 % und bis 2050 um mindestens 80 % gesenkt werden. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2014). Die Reduzierung des Energieverbrauchs lohnt sich jedoch auch ökonomisch, da der Strompreis beispielsweise für Privathaushalte von 1991 bis 2014 insgesamt um knapp 40 % anstieg, der Preis für Fernwärme sogar um rund 50 %. Demnach können durch das Erreichen der Energieeinsparziele nicht nur ökologische, sondern auch wirtschaftliche Ziele verfolgt werden. In Hochschulgebäuden ist ein zusätzlicher Anreiz, dass die Energiekosten im Allgemeinen mittels im Globalhaushalt der Hochschulen festgelegten Budgets beglichen werden müssen und durch Einsparungen im Energieverbrauch diese Mittel für andere Zwecke und Investitionen genutzt werden können.

Ziel des Forschungsprojekts REGENA, dessen Ergebnisse in diesem Bericht dargestellt werden, ist daher die konzeptuelle Entwicklung und vergleichende Evaluierung geringst- und geringinvestiver Maßnahmen zur energetischen Betriebsoptimierung im Hochschulbereich, da hier aus finanziellen Gründen im Regelfall keine ungeplanten größeren Investitionen möglich sind. Verbundpartner sind die Hochschule Trier am Standort Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB), das A.U.G.E.-Institut der Hochschule Niederrhein am Campus Krefeld-Süd (HN) und die IZES gGmbH in Saarbrücken.

So hat der UCB in den vergangenen Jahren verschiedene technische Systeme zur energetischen Gebäudeoptimierung eingesetzt und verfügt über Know-how in der Implementierung und Anwendung dieser Systeme. Hierdurch konnten Einsparpotenziale identifiziert und Maßnahmen zur energetischen Optimierung eingeleitet werden. Unter anderem wurden diese Erkenntnisse auch auf die HN übertragen. Der UCB setzte darüber hinaus neue Techniken zur dezentralen Verbrauchserfassung und Steuerung (bspw. MBus, KNX) ein. Dies umfasste auch die Erprobung von nut-

¹ Die Primärenergie ist nach Richtlinie 2010/31/EU Artikel 2 Satz 5 als die Energie definiert, die aus erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird und vor der Nutzung keinem Umwandlungsprozess unterzogen wurde

zerzentrierten Techniken mittels Visualisierung sowie die Entwicklung neuer Mess- und Sensortechnik.

Das A.U.G.E-Institut, ein In-Institut der HN, übernahm vor allem durch seine Expertise in Evaluationsforschung, in Gestaltung von soziotechnischen Systemen und durch Usability Engineering sowohl an der eigenen Hochschule als auch am UCB die Konzeption, Ausarbeitung und Evaluation der psychologischen Interventionen. Dabei wurden sowohl auf arbeits- und organisationspsychologische, als auch auf umweltpsychologische Grundlagen zurückgegriffen.

Die IZES gGmbH als dritter Verbundpartner stellte neben vertieften Kenntnissen zur energetischen Gebäudeoptimierung zusätzlich eine im IZES entwickelte Hardware (INES-Box) zur Messdatenerfassung und -weiterleitung sowie zur Steuerung der technischen Anlagen zur Verfügung. Die INES Box wurde während der Projektlaufzeit optimiert und um zahlreiche Funktionen erweitert. Weiterhin übernahm die IZES gGmbH am Standort Krefeld-Süd das Monitoring der eingesetzten technischen Mess- und Zähleinrichtungen sowie die Auswertung der erfassten Messdaten.

Die Ergebnisse werden unter anderem über das HIS-Institut für Hochschulentwicklung e.V. (HIS), einem Informationsdienstleister für Hochschulen, verbreitet und weiteren Hochschulen zur Verfügung gestellt. Als weitere Multiplikatoren zur Verbreitung der Ergebnisse sollen zukünftig auch die Arbeitsgemeinschaft der Technischen Abteilungen an wissenschaftlichen Hochschulen (ATA) sowie das „Netzwerk Klimagerechte Hochschule“ eingebunden bzw. mit entsprechenden Informationen versorgt werden.

Das Projekt führte zu einer energetischen Betriebsoptimierung durch gering- und geringstinvestive Maßnahmen. An der HS Niederrhein wurde eine Basisausrüstung zur Energieverbrauchsmessung installiert, die ausgehend von erhöhtem Optimierungspotenzial vor allem erprobte Techniken einsetzt und untersucht, inwieweit dies kostengünstig und nutzerfreundlich geschehen kann. Am UCB wurde aufbauend auf dem vergleichsweise höheren Ausrüstungs- und Erfahrungsniveau bezüglich optimierter Betriebsführung untersucht, welche weiteren Maßnahmen zur energetischen Effizienzsteigerung ergriffen werden können. Dabei wurden auch neue Informations- und Kommunikationstechniken eingesetzt.

An beiden Hochschulen sollte der Energiebedarf mit den entsprechenden Maßnahmen gesenkt und dazu die vorhandenen Potenziale in den Bereichen der Anwenderschulung und des Technikeinsatzes weitgehend ausgeschöpft werden, was auch gelungen ist. Die IZES gGmbH unterstützte dabei sowohl in technischer als auch in dokumentarischer Hinsicht und setzte aufgrund der Erfahrungen im Gebäudesektor notwendige Impulse. Daher wurde zunächst für beide Hochschulen ein entsprechender Basis- bzw. Referenzwert für den Energiebedarf ermittelt. Hierzu wurden Referenzgebäude und Referenzräume definiert, welche jeweils geringst- und geringinvestiv weiter ausgerüstet wurden. Mit Hilfe dieser Datengrundlage wurden in der Folge vereinzelt die erzielten Einsparungen ausgewählten Maßnahmen zugeordnet und bilanziert. Ebenfalls wurde hier eine wirtschaftliche Betrachtung erstellt und entsprechend bewertet.

Die technischen und psychologischen Kenntnisse wurden, wie in Abbildung 1 dargestellt, zwischen UCB und HN ausgetauscht. Soweit möglich wurden technische Erfahrungen insbesondere des UCB genutzt. Umgekehrt profitierten UCB von den arbeits- und umweltspsychologischen Kenntnissen des A.U.G.E.-Instituts in Krefeld. Somit ergab sich eine ideale Zusammenarbeit, um Kenntnisse und Know-how im technischen und psychologischen Bereich zwischen zwei Hochschulen auszutauschen und die Ergebnisse ergänzend durch ein unabhängiges Institut begleiten und verbreiten zu lassen.

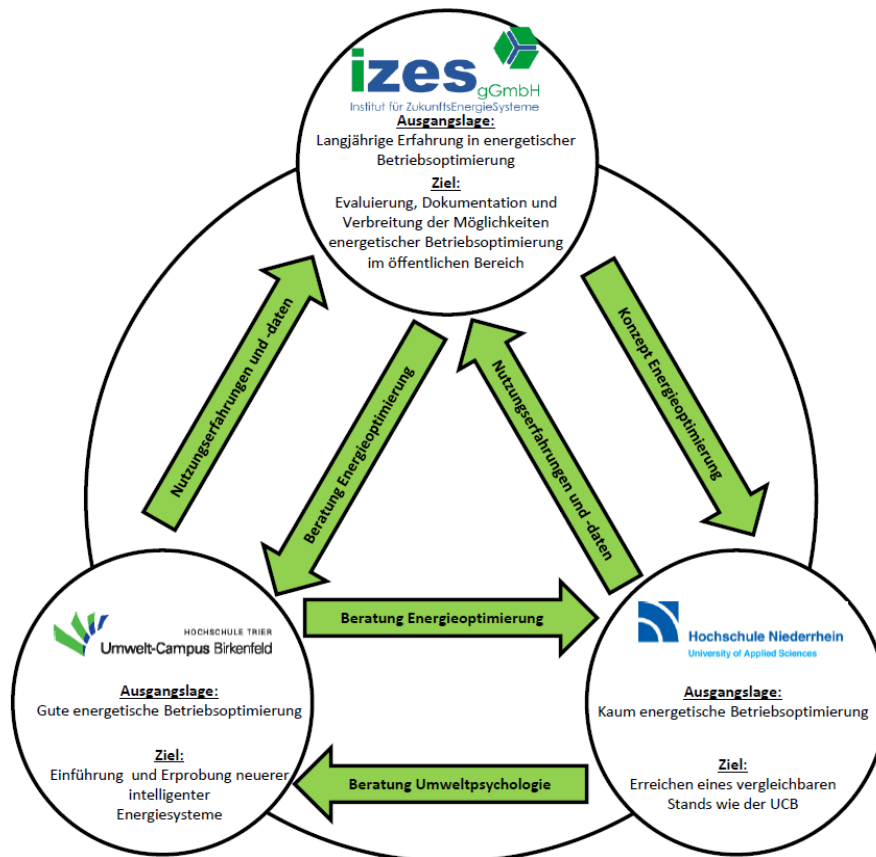


Abbildung 1: REGENA-Dreieck (Projekt REGENA, kein Datum)

2 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die inhaltliche Bearbeitung des Vorhabens wurde gemeinsam durch die drei Verbundpartner

- Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld, Institut für Softwaresysteme, Prof. Dr. Stefan Naumann, Tel. 06782-17-1217, E-Mail s.naumann@umwelt-campus.de; (Projektleitung 03ET1070A)
- Hochschule Niederrhein, A.U.G.E.-Institut, Prof. Dr. Monika Eigenstetter, Tel. 02151 822-6683, E-Mail monika.eigenstetter@hs-niederrhein.de (Projektleitung 03ET1070B)
- IZES gGmbH; Arbeitsfeld Technische Innovationen; Ansprechpartner Dr. Bodo Groß; Telefon: 0681 9762 840; Email: gross@izes.de; (Gesamtprojektkoordination und Projektleitung 03ET1070C)

durchgeführt. Die Bearbeitung der Inhalte der Verbundpartner untereinander war geprägt durch einen regen Austausch von Ergebnissen und Erkenntnissen. Die regelmäßigen und kontinuierlich durchgeführten Projekttreffen sowie entsprechende informelle Telefonate ermöglichten eine enge persönliche und konstruktive Zusammenarbeit. Es ist wünschenswert und wahrscheinlich, dass in zukünftigen Vorhaben die erfolgreiche Zusammenarbeit der Projektpartner auf gleichem vertrauensvollem Niveau fortgesetzt werden kann.

2.1 Zusammenarbeit im Bereich „Technik“

Die am Umwelt-Campus Birkenfeld erhobenen energetischen Daten wurden in regelmäßigen Abständen der IZES gGmbH zur Verfügung gestellt. In der Frühphase des Vorhabens wurde in enger Absprache mit der Hochschule Niederrhein zusätzliche Messtechnik in ausgesuchten Gebäuden geplant und installiert sowie eine Messdatenübermittlung etabliert. Die Hochschule Niederrhein wurde bei allen technischen Fragestellungen durch die Verbundpartner Umwelt-Campus und IZES beraten. Hier sind insbesondere die für die Datenerfassung installierten elektronischen Funk-Heizkostenverteiler zu nennen, bei deren Parametrierung und Installation sowie bei auftretenden Problemen die Verbundpartner beratend zur Seite gestanden haben.

Bezüglich der Auswertung der erfassten energetischen Daten bestand ein enger Kontakt und Austausch zwischen dem Umwelt-Campus und IZES. Dabei wurden verschiedene Auswertungsszenarien gegenübergestellt, um diese für das Vorhaben „REGENA“ optimal zu eruieren. Auf Basis des an beiden Hochschulen durchgeführten Monitorings der Energieverbräuche wurde nach Abschluss der Messperioden eine vergleichende Auswertung der Messdaten durchgeführt. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden im Rahmen dieses Endberichts in einem eigenen Kapitel (s. Kapitel 7) vorgestellt und gemeinsam diskutiert.

Die vom Umwelt-Campus eruierten geringst- und geringinvestiven Maßnahmen wurden an die Hochschule Niederrhein weitergegeben.

2.2 Zusammenarbeit im Bereich „psychologische Interventionen“

Die Hochschule Niederrhein hat die Fragebögen zur Einstellung gegenüber Energiesparen sowie zu den Rahmenbedingungen bzw. zum Komfortempfinden am Arbeitsplatz entworfen und dem Umwelt-Campus zur Verfügung gestellt. Bezüglich der bei den Befragungen am Umwelt-Campus Birkenfeld auftretenden Fragen und Verbesserungsvorschlägen zu den Fragebögen bestand ein regelmäßiger Kontakt zwischen den beiden Hochschulen.

Die Grundlage für die Schulungen der Mitarbeiter, Studierenden und Dozenten wurde von der Hochschule Niederrhein entworfen und vom Umwelt-Campus auf seine Gegebenheiten angepasst. Zudem stellte die Hochschule Niederrhein dem Umwelt-Campus selbstkonzipierte Aufkleber zur Verfügung, die zum Energiesparen anregen sollen.

2.3 Administrative Zusammenarbeit der Verbundpartner

In regelmäßigen Abständen fanden insgesamt zwölf gemeinsame Projekttreffen der Verbundpartner statt, bei denen der aktuelle Stand der Bearbeitung der Inhalte des Vorhabens sowie die weiteren Aufgaben bei der Bearbeitung besprochen und diskutiert wurden. Zusätzlich wurden bilaterale Treffen, z. B. hinsichtlich der einzusetzenden Messtechnik durchgeführt. Die persönlichen Treffen wurden durch zahlreiche Telefonate und E-Mails ergänzt.

2.4 Zusammenarbeit mit externen Stellen

Im Rahmen des Vorhabens wurde mit folgenden externen Stellen zusammengearbeitet bzw. wurden in regelmäßigen Abständen informative Treffen durchgeführt:

- Universität des Saarlandes im Rahmen des Vorhabens „EULE“
- HIS-HE e.V.
- Erfahrungsaustausch auf Konferenzen/Symposien

Der erste informelle Austausch mit dem Projekt EULE der Universität des Saarlandes fand am 16. November 2012 statt. Dabei wurden die Gemeinsamkeiten sowie die Unterschiede der beiden Projekte herausgearbeitet. Außerdem wurde die Idee zum Einsatz von Heizkostenverteilern (HKV) zum Verbrauchsmontoring einzelner Räume diskutiert. Bei einem weiteren Termin am 27. November 2012 wurden an der Universität des Saarlandes die Möglichkeiten des Einsatzes von Heizkostenverteilern vorgestellt. Das vorgestellte Produkt ist eine preisgünstige Alternative zu Wärmemengenzählern bezüglich der Erfassung des Wärmeenergieverbrauchs einzelner Räume. Auf der Grundlage dieser Besprechungen wurde entschieden die HKV der Firma Sontex an beiden Hochschulen einzusetzen. Im Rahmen des erweiterten Er-

fahrungsaustauschs der Projekte REGENA und EULE wurden zwei gemeinsame Treffen organisiert (13. Februar 2014 in Saarbrücken und 14. Juli 2015 am Umwelt-Campus Birkenfeld). Das Treffen in Saarbrücken diente zum Informationsaustausch bezüglich der Fortschritte und Hindernisse bei der Durchführung der Vorhaben. Das Treffen in Birkenfeld sollte insbesondere dazu genutzt werden Themen für ein gemeinsames Folgeprojekt zu definieren.

Im Rahmen der geplanten Zusammenarbeit mit dem HIS-HE wurde am 16. September 2014 im Rahmen eines Projektpartnertreffens Herr Ralf-Dieter Person von der HIS-HE eingeladen. Neben der gegenseitigen Vorstellung wurde vereinbart, dass das Projekt REGENA im Energieportal der HIS-HE eingestellt wird, siehe dazu auch <http://www.his-he.de/ab34/energieportal/projekte/>.

Im Rahmen von Konferenzen und Symposien wurde das Vorhaben regelmäßig über die gesamte Projektlaufzeit einem breiten Fachpublikum vorgestellt. Insbesondere bei den Veranstaltungen in Clausthal (HIS-HE Veranstaltung: „7. Forum Energie – Energieeffizienter Campus“, 23. bis 25. Juni 2014) und Essen (EnOB-Symposium 2014 "Energieinnovationen in Neubau und Sanierung“, 20. und 21. März 2014) fand ein intensiver Austausch mit den „Energieverantwortlichen“ weiterer Hochschulen und Universitäten statt.

3 Stand von Wissenschaft und Technik

In einem offenen Brief an die Kultusministerkonferenz im Juni 2009 in Berlin erörtert das „Netzwerk Klimagerechte Hochschule“ die Themen Klimaschutz, Ökostrom und Energieeffizienz bezüglich der Umsetzung an deutschen Hochschulen wie folgt:

„[...] Wir müssen feststellen, dass die deutschen Hochschulen ihrer gesellschaftlichen Verantwortung für den Schutz des Klimas bislang kaum gerecht werden [...]

Klimaschutz ist die große gesellschaftliche Herausforderung des 21. Jahrhunderts – das ist spätestens seit dem 4. Sachstandsbericht der Sachverständigenkommission für Klimaänderungen (IPCC) wissenschaftlicher und politischer Konsens [...] Zudem ist man sich darin einig, dass der Klimawandel neben wissenschaftlichen und technologischen Innovationen vor allem eine Umstellung unseres ressourcenintensiven Lebensstils erfordert [...]

Trotz dieser Tatsachen scheint das Thema Klimaschutz an deutschen Hochschulen bislang nicht angekommen zu sein bzw. ernst genommen zu werden. Noch immer weisen – aufgrund des alten Gebäudebestands vor allem die traditionsreichen Universitäten – äußerst schlechte Energie- und Klimabilanzen auf [...] Geeignete Lehrveranstaltungen, in denen Klimaschutz und Klimagerechtigkeit thematisiert werden, fehlen an den meisten Universitäten [...]

Wir sehen Hochschulen als öffentliche Bildungseinrichtungen mit besonderer Strahlkraft und gesellschaftlicher Vorbildfunktion jedoch in der Pflicht, auch im Bereich Umwelt und Klimaschutz eine Vorreiterrolle zu übernehmen und gesellschaftliche Prozesse im Sinne einer klima- und zukunftsgerichten Entwicklung zu beeinflussen [...] (<http://www.klimagerechte-hochschule.de/KMK>, kein Datum)“.

Dies zeigt, dass die Themen Energieeffizienz und Klimaschutz an den Hochschulen diskutiert und zu einem zentralen Thema, sowohl bei Studierenden als auch innerhalb der technischen Abteilungen der Universitäten und Hochschulen geworden ist. Dies ist zum einen begründet an den zuletzt massiv gestiegenen Energiepreisen und dem daraus resultierenden Bestreben nach Kosteneinsparungen. Zum anderen zwingt die Novellierung der Energiesparverordnung (EnEV) in Form von Energieausweisen für Gebäude die Hochschulen zum Auseinandersetzen mit der Thematik. Ein wichtiger Pfeiler zur Verbesserung der Energieeffizienz ist die energetische Betriebsoptimierung, in der nennenswerte Einsparpotentiale zu finden sind. Der Energiebedarf wird deutlich gesenkt und dabei gleichzeitig der Nutzerkomfort gesteigert. Der wesentliche Vorteil der energetischen Betriebsoptimierung liegt darin, dass mit nur geringen Investitionen eine sofortige Einsparwirkung erzielt werden kann. 10 % bis 20 % des Strom- und Wärmeverbrauchs können in vielen Gebäuden mit nicht- oder geringinvestiven Maßnahmen eingespart werden. (Factor4, 2014)

In Europa liegt der Anteil der Gebäude am Primärenergieverbrauch bei etwa 41 %. Davon entfallen 85 % für Raumheizung und Raumkühlung, sowie 15 % für elektri-

sche Energie (Siemens Schweiz AG, 2009). Um eine hohe Energieeffizienz zu erreichen, ist die Zufuhr aktiver thermischer und elektrischer Energie möglichst klein zu halten. Bei der Gebäudeplanung werden oft nur mangelhafte energetische Zieldefinitionen gesetzt und es erfolgt keine energetische Qualitätssicherung. Daraus ergeben sich enorme Kostenpotentiale im Bereich Energie. Außerdem wird die Gebäudeautomation als aktives Steuerungsinstrument fast nicht genutzt (Fisch, 2008).

Neben dem Einsatz geringinvestiver Mittel wird in der energetischen Betriebsoptimierung der Energieverbrauch des Gebäudes messtechnisch erfasst und bewertet, sowie eine technische Bestandsaufnahme durchgeführt. Die Datenaufzeichnung in der Betriebsphase des Gebäudes dient zur Ermittlung von energetischen Schwachstellen und betriebstechnischen Mängeln. Daraus lassen sich Optimierungspotentiale ableiten. Sind Schnittstellen zur Gebäudeautomation vorhanden, wird eine teilautomatisierte energetische Betriebsoptimierung ermöglicht. Die Messdatenvisualisierung dient zum einen zur grafischen Darstellung von Datenpunktaufzeichnungen aus den Gebäudeautomations- oder Energiemanagementsystemen zum leichten Erkennen von Strukturen und Mustern. So sind Abweichungen sofort erkennbar und eine Optimierung der Steuer- und Regelparameter kann durchgeführt werden. Zum anderen dient die Visualisierung zur verursachergerechten Zuordnung des Energieverbrauchs. Das ist die Voraussetzung für ein internes Energiecontrolling und für die Entwicklung interner Anreizsysteme für ein energiesparendes Verhalten der Nutzer der Gebäude (BINE Informationsdienst, 2009).

Energieeffizienz in Arbeitsumgebungen:

Der Energieverbrauch eines Gebäudes und seiner verwendeten Techniken ist zu großen Teilen nutzerabhängig. In verschiedenen Veröffentlichungen wurde gezeigt, dass durch das Verhalten der Gebäudenutzer, der Energieverbrauch des Gebäudes stark variieren kann (Casties, 1997), wobei das Verhalten Beschäftigter bislang kaum untersucht wurde (Schahn, 2007), (Wortmann, 2004).

Es lassen sich drei Ansatzpunkte für energetisches „Fehlverhalten“, also verschwenderischem Umgang mit Energie, festmachen. Zum einen basiert dieses Verhalten auf fehlendem Wissen bzw. falschen mentalen Modellen bezüglich der bauphysikalischen Grundlagen eines Gebäudes sowie der Steuerung und Abhängigkeiten der Gebäudetechnik, was häufig zum Energiemehrverbrauch führt.

Zum Zweiten besteht die Schwierigkeit, Umwelthandeln in Arbeitsabläufe störungsfrei zu integrieren. In (Schahn, 2007) werden bei umweltpsychologischen Interventionen im Arbeitsalltag die Dimensionen zentral/dezentral und einmal/wiederholt unterschieden und gefolgert, einmalige, zentrale Aktivitäten für ein Energiesparverhalten erscheinen am effektivsten. Auch ist Usability, d. h. Gebrauchstauglichkeit bzw. Nutzerfreundlichkeit, von Klimatechnik ein wichtiger Aspekt, doch bislang kaum untersucht: So sind z.B. Smart Meter, Thermostate und weitere technische Geräte im Einsatz nicht immer leicht zu bedienen. So sollte z. B. bei softwaregestützten interaktiven Geräten die ISO EN DIN 9241 berücksichtigt werden. Mit Usability einher geht eine wahrgenommene Kontrolle der Nutzer, welche sich positiv auf die Akzeptanz von Technik und auf Veränderungen von Verhaltensgewohnheiten auswirkt.

Zum Dritten liegen die Ursachen von Fehlverhalten in inadäquaten Einstellungen und Verhaltensabsichten. Es gibt gerade für Umweltverhalten typische Motivationsprobleme (Wortmann, 2004). Viele Erklärungsmodelle fokussieren individuelle Verpflichtungsgefühle und positive Einstellungen gegenüber der Umwelt, um Umweltverhalten zu erklären (Homburg & Matthies, 1998), (Matthies, 2005). Diese Modelle versagen aber, wenn man das Umweltverhalten Einzelner in verschiedenen Bereichen, z. B. Alltag und Beruf, untersucht. Erste Untersuchungen in verschiedenen Unternehmen haben gezeigt, dass die Bereitschaft von Beschäftigten, (Heiz-)Energie zu sparen, nicht sehr hoch ist (Fachhochschule Erfurt u. a., 2007). Dieselben Personen, die im privaten Bereich sorgsam mit Energie umgehen, sehen im beruflichen Kontext keine Veranlassung zum Energiesparen. Da die Nebenkosten nicht selbst durch die Mitarbeiter getragen werden, sinkt deren Bereitschaft, diese zu reduzieren, drastisch. Oft existieren in den jeweiligen Organisationen keine sozialen Normen für Energiesparen (z. B. bei einem Fehlen eines Umweltmanagementsystems), und die Nutzer (d. h. die Einzelnen an einem Einzelarbeitsplatz; Gruppen an Gruppenarbeitsplätzen) erhalten nur unzureichend Feedback über ihre Verbrauchsdaten. Feedback scheint jedoch ein probates Mittel, um Energiekosten zu sparen, wie sich im privaten und Arbeitskontext zeigt (Schahn, 2007), (Fischer, 2008). Unterstützt werden kann dies durch partizipative Ansätze der Arbeitssystemgestaltung mit Analyse objektiver Bedingungen (Trimpop & Eigenstetter, 2009).

Bei der Berücksichtigung dieser Aspekte ist zudem das klimaabhängige Verhalten der Nutzer zu berücksichtigen. Dies ist von Bedeutung, da Nutzer durch entsprechende Verhaltensweisen, wie Lüften oder Heizen, sich an klimatische Veränderungen anpassen wollen. Als objektive Einflussparameter des thermischen Komfortempfindens sind Temperatur, Luftfeuchte und CO₂ die zentralen Größen. Der wahrgenommene Komfort an Arbeitsplätzen, als subjektive Größe, ist dagegen überwiegend abhängig von der Wahrnehmung, Einfluss auf eine effektive Kontrolle des Raumklimas zu haben (Gossauer, 2008).

3.1 Vergleich mit vorhandenen Veröffentlichungen zum Thema

Technische Komponente:

Laut (Fisch, 2008) wurde die Automation bisher kaum als aktives Steuerungsinstrument genutzt. Das REGENA-Projekt knüpfte hieran an. Am Umwelt-Campus Birkenfeld ist die Automation der Gebäudetechnik fortschrittlich. Durch zusätzliche Optimierung dieser Automation während des Projektverlaufs konnten weitergehende Energieeinsparungen erreicht werden.

Weiterhin wurden die Instrumente, wie sie im (BINE Informationsdienst, 2009) genannt sind, für die Betriebsoptimierung genutzt. Dies waren insbesondere technische Bestandsaufnahme, messtechnische Erfassung und Bewertung der Energieverbräuche, Ermittlung energetischer Schwachstellen mittels Datenerfassung im laufenden Betrieb sowie Eruiieren von Optimierungspotenzialen. Daraus ergaben sich dann die Umsetzung geringst- und geringinvestiver Maßnahmen sowie die grafischen Darstel-

lungen der Verbräuche, die sowohl zur Erfolgskontrolle als auch als Feedback genutzt wurden.

Psychologische Komponente:

Entsprechend (Schahn, 2007) und (Wortmann, 2004) ist das Energiespar-Verhalten von Beschäftigten bisher kaum untersucht worden. Einige bisherige Untersuchungen bzw. Projekte sind Kapitel 3.2 zu entnehmen. Darauf aufbauend wurden im Forschungsprojekt REGENA die Beschäftigten, unterteilt in verschiedene Nutzergruppen, bezüglich ihrer Einstellung und ihres energiesparenden Verhaltens am Arbeitsplatz befragt. Diese Befragungen erfolgten mehrfach, um den Einfluss der Schulungen abschätzen zu können.

Die drei Ansatzpunkte zu energetischem „Fehlverhalten“ wurden im Projekt aufgegriffen. „Fehlendem Wissen“ wurde durch Schulungen zum Energiesparen entgegengewirkt. Der fehlenden „Integration vom Umwelthandeln in Arbeitsabläufe“ wurden einfache Hinweisreize und niedrigschwellige Angebote zum Energiesparen entgegengesetzt. Beispielsweise wurden die Dozenten per E-Mail über Energiesparen informiert. Auch den übrigen Gebäudenutzern wurden die Informationen per E-Mail zugesandt. Es wurde eine Usability-Untersuchung der Einzelraumregler, die in allen Büros und verschiedenen anderen Räumen des Umwelt-Campus Birkenfeld zu finden sind, durchgeführt. Anschließend wurden entsprechende Verwendungshinweise angebracht.

Die dritte Ursache von Fehlverhalten, liegt in „inadäquaten Einstellungen und Verhaltensabsichten“ der Nutzer. Laut (Wortmann, 2004) gibt es gerade für Umweltverhalten typische Motivationsprobleme. Dies konnte auch im Projektverlauf festgestellt werden.

Laut (Schahn, 2007) und (Fischer, 2008) scheint Feedback ein probates Mittel zu sein, um Energiekosten zu sparen. Diesem Ansatz wurde am UCB durch Feedback bezüglich des Energieverbrauches mit erreichten Verbrauchseinsparungen im REGENA-Forschungsprojekt Rechnung getragen. An der HN wurde ein direktes Feedback über CO₂-Messgeräte an Raumnutzer gegeben.

Auch das klimaabhängige Verhalten der Nutzer wurde berücksichtigt, indem die raumklimatischen Bedingungen erfasst wurden. Diese werden durch die Hochschule Niederrhein im Kontext mit den Befragungen zur Einstellung zu Energiesparen und zum Komfortempfinden in den Hörsälen/Seminarräumen ausgewertet.

3.2 Weitere Projekte im Bereich der Energieeffizienzsteigerung

Zur Steigerung der Energieeffizienz von Hochschulgebäuden wurden bereits zahlreiche Projekte durchgeführt. Viele thematisierten ebenfalls den Effekt der gering-investiven Maßnahmen zur Energieeinsparung. Im Folgenden werden einige dieser Projekte kurz charakterisiert.

2004 entwickelte die Universität Bremen die These, dass mangelndes Interesse der Gebäudenutzer an der Energieeinsparung durch die zentrale Zahlung der Energiekosten begründet sei, vgl. (Blomeyer-Nienstedt, 2004). Zusätzlich herrsche eine

mangelnde Informationsdichte über den Energieverbrauch der einzelnen Fachbereiche und Mitarbeiter. Verbrauchsinformationen sollten daraufhin durch ein hinreichendes Energiecontrolling transparenter werden. Die Methodik der monatlichen Zählerablesungen durch den Haushandwerker, anschließende Eintragung in Listen und manuelle Übertragung in weitere Listen verschiedener zuständiger Stellen zur Auswertung führte jedoch zu einer hohen Fehlerwahrscheinlichkeit. Aufgrund dessen wurde im Laufe des Projekts eine Fernablesung ermöglicht. Die Datenerhebung erfolgt seitdem über die M-Bus-Schnittstelle der Energiezähler und kann auf elektrischem Wege ausgeführt werden. Auch in REGENA wurde die Problematik der hohen Fehlerwahrscheinlichkeit und des organisatorischen Aufwandes durch manuelle Ablesungen der Zählerstände festgestellt. Eine Umrüstung auf Fernauslesung der Strom- und Wärmemengenzähler war jedoch aus finanziellen Gründen nicht möglich. Die in Krefeld eingesetzten INES-Boxen (s. hierzu Abschnitt 6.3.1) bzw. die Messstellen am Umwelt-Campus Birkenfeld (s. hierzu Abschnitt 4.3.3.1.2) konnten hier Abhilfe verschaffen und die Verbrauchsdaten über das Mobilfunknetz weiterleiten und somit die Fernauslese bzw. Überwachung ermöglichen. Dennoch waren in Krefeld auch manuelle Ablesungen zur Verifizierung der Impulswertigkeiten nötig.

Auf der Grundlage der über Fernauslese ermittelten Verbrauchsdaten wurde in dem Projekt der Universität Bremen sowie an den untersuchten Hochschulgebäuden und -räumen eine Energiebedarfsskizze erstellt, welche die Zeiträume des erhöhten Energiebedarfs identifizieren sollte. Die Gebäudenutzer konnten daraufhin über deren Energieverbrauch informiert werden. Eine finanzielle Beteiligung an erhöhten Energiekosten durch Mehr-Verbraucher sollte an der Universität Bremen zur Senkung des Energieverbrauchs führen. An den Hochschulen des REGENA-Projektes fand ein solches Straf-System jedoch nicht statt, da die verfolgten Einsparziele durch Gebäudeautomation sowie Nutzerintegration und somit Eigeninitiative erreicht werden sollten.

Die geringe Eigeninitiative der Nutzer wurde bereits in einem Projekt der Universität Hamburg identifiziert. Durch den kontinuierlichen Wechsel der Nutzer, deren lediglich zeitweise Anwesenheit und zentrale Zahlung der Energiekosten bestünde nach Abschnitt 4.5.2 in (Person, November 1999) kein Verantwortungsgefühl gegenüber Energieverbrauch und Energieeinsparung. Ein Desinteresse an der Einsparung von Energiekosten konnte an der HN durch geringe Teilnehmerzahlen an Vorträgen zum Thema sowie keinerlei daraus ableitbaren Erfolge bei der Einsparung von Energie abgeleitet werden. Die geringen Teilnehmerzahlen können mitunter auch auf andere zeitliche Hindernisse wie beispielsweise zeitlich konkurrierende Projekte oder andere wichtige Arbeitsaufträge zurückzuführen sein. Im Gegensatz zu einer finanziellen Beteiligung von Mehr-Verbrauchern an den entstandenen Energiekosten der Universität Bremen wurden an der Universität Hamburg sowie an der Universität Göttingen finanzielle Anreize als Mittel zum Erfolg gegeben. Die Beeinflussung des Nutzerverhaltens über finanzielle Anreize wurde an diesen Universitäten dementsprechend analysiert. Nach Kapitel 3.3.1 in (Liers u. Person, 2012) soll eine budgetorientierte Mittelvergabe zur Energieeinsparung motivieren. Durch Energieeinsparung gesparte Kosten sollen im Zuge dessen der jeweiligen Nutzergruppe zu Gute kommen.

Zur gerechten Zuordnung der Energieeinsparung, Nachvollziehbarkeit und Rechtsverbindlichkeit wurde an der Universität Göttingen folgender 11-Punkte-Plan entworfen, da die einzelne Nutzererfassung das Budget übersteige:

- 1) Veränderungen im Nutzerverhalten
- 2) Beschaffung eines Energiemanagementsystems
- 3) Beschaffung einer Lastabwurfsteuerung
- 4) Überprüfung der Verrechnungszählerstruktur
- 5) Nutzerberatung
- 6) Durchführung von Energiesparmaßnahmen
- 7) Verbesserung der technischen Infrastruktur
- 8) Informationsrundschriften
- 9) Einbau von Lichtsteueranlagen
- 10) Aufspüren von Energiefressern durch Fehlschaltungen
- 11) Sensibilisierung der Mitarbeiter im technischen Dienst bezüglich der Suche nach Einsparmöglichkeiten

Die Zuordnungen der Einsparungen sollten anschließend erfolgen. Bereiche, die über die Zählerstruktur nicht explizit erfasst werden konnten, sollten über sogenannte flächenartenbezogene Wichtungsfaktoren zugeordnet werden. Diese Wichtungsfaktoren stellen das Verhältnis des Energieverbrauchskennwerts in kWh/m²a zu dem offiziellen Vergleichsverbrauchskennwert der jeweiligen Raumnutzungsgruppe dar (vgl. Kap. 3.3.1 in (Liers u. Person, 2012)). Eine derartig detaillierte Energieerfassung war an der HN jedoch nicht möglich und kann aus datenschutzrechtlichen Gründen auch nicht erfolgen. Auch am Umwelt-Campus konnte hier nur raumtypbezogen ein Verbrauch ermittelt werden. Ebenso waren zur Durchsetzung der Energieeinsparziele über finanzielle Anreize keine finanziellen Mittel gegeben, um diese einzuhalten. Die Energieeinsparung sollte daher nur durch geringst- und geringinvestive Maßnahmen sowie einem geänderten Nutzerverhalten erzielt werden.

Ebenso wie die Projektverbundpartner von REGENA setzt der Anbieter nichtinvestiver Energiesparkonzepte „energie impuls“ im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Ansätzen die Eigeninitiative der Nutzer als Energiespargrundlage voraus. Nach (Nolte, 2004) wird bei den Projekten von „energie impuls“ der Fokus auf die Aufklärung der Nutzer gelegt. Als Basismodell für Interventionen im umweltpsychologischen Bereich wird das in Abbildung 2 dargestellte Fietkau-Modell angewendet. Dieses soll Aufschlüsse über die Verhaltenspsychologie der Nutzer geben und als Grundlage für langfristige Lösungsansätze dienen. Erfolge werden aus einer ersten Bestandsaufnahme und einer gemeinsamen Strategieentwicklung erzielt.

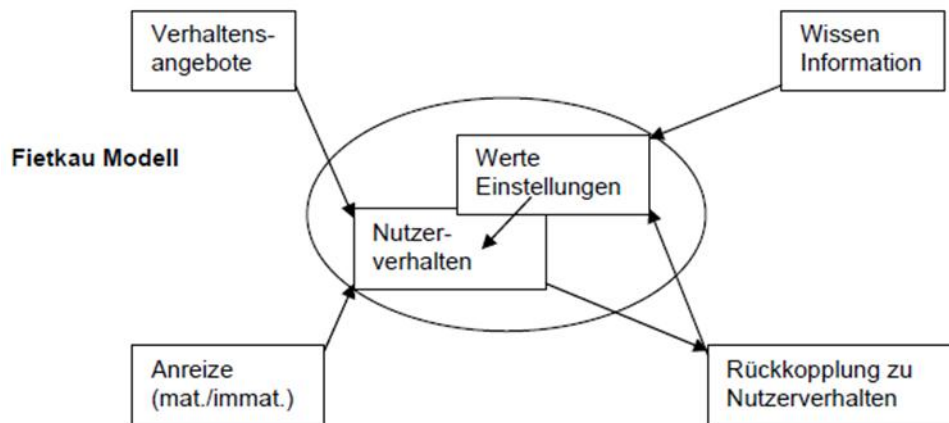


Abbildung 2: Fietkau-Modell (Quelle: (Nolte, 2004))

Mit der Methode der reinen Nutzerintegration sollen 10-20 % Energie gespart werden.

Im REGENA-Projekt wurde hingegen kein präzises Energiesparziel angestrebt, vielmehr sollte die Reduzierung des Energieverbrauchs über die Kombination technischer (Gebäudeautomation) und sozialer (Nutzerintegration) geringst- und geringinvestiver Maßnahmen erfolgen, um diese auf ihre Erfolge zu bewerten.

Die Universität Lüneburg setzte mit zahlreichen Projekten ebenfalls den Schwerpunkt zur Energieeinsparung auf Nutzerintegration. Als Beispiel sei das Projekt „Abschalten tut gut“ (s. (Palm u. Stegen u. Brüggem, 2004)) zu nennen. In diesem wurden Themenwochen organisiert, in welchen jede Woche unterschiedliche Strategien zur nutzerintegrierten Energieeinsparung vorgestellt wurden. Die Mitarbeiter erhielten wöchentlich verschiedene Hintergrundinformationen zu Themen wie der optimalen Regelung des Raumklimas, zum optimalen Lichteinsatz und nötigen Stromverbrauch. In jeder Themenwoche sollten diese Informationen praktisch umgesetzt werden. Das Ergebnis waren Einsparungen im Stromverbrauch von 10 %, im Wärmeenergieverbrauch von 5 %. Zur Unterstützung wurden bei diesen Projekten ebenfalls technische Interventionen eingeführt. Durch die Steuerung der Heizkörperventile über Temperatursensoren an den Fenstern konnten 10 % der Wärmeenergie gespart werden. Zusätzliche Einsparungen konnten durch Heiztemperaturabsenkungen an Wochenenden, Feiertagen und Ferien (beispielsweise über Weihnachten und Silvester) erreicht werden. Die gewünschten Energieeinsparungen wurden nicht nur durch technische, sondern auch durch organisatorische Maßnahmen erreicht. Beispielsweise konnten in einer Verbrauchsanalyse Auffälligkeiten im Stromverbrauch ab vier Uhr morgens festgestellt werden, welche durch den frühen Arbeitsbeginn der Reinigungskräfte verursacht wurden. Durch Verschiebung der Arbeitszeiten auf den Beginn der Arbeitszeiten der anderen Mitarbeiter des Gebäudes konnte eine Einsparung von 3 % der Gesamtstromenergie erzielt werden. Durch die Übermittlung der Daten über die INES-Box (s. hierzu Abschnitt 6.3.1) konnten auch an der HN Analysen in Echt-Zeit durchgeführt werden und sogar im Minutentakt erfolgen. Unregelmäßigkeiten im Energieverbrauch konnten jedoch nicht identifiziert werden. Entsprechende Ergebnisse sind am Umwelt-Campus Birkenfeld erzielt worden, als durch granulierten Mes-

sungen ein regelmäßiger nächtlicher Lüftungsbetrieb, der nicht notwendig war, beobachtet und schließlich deaktiviert wurde.

Als Resultat der Untersuchungen der Universität Lüneburg wurde festgestellt, dass zielgruppenspezifische Informationen, Kommunikation und Motivation (sowie Anreize zur Energieeinsparung) unabdingbar seien und Projekte kontinuierlich betreut und weiterbearbeitet werden müssten (vgl. (Palm u. Stegen u. Brüggem, 2004)).

Das wohl umfangreichste Projekt zur Energieeinsparung durch Nutzerintegration stellt das Projekt „Veränderung nachhaltigkeitsrelevanter Routinen in Organisationen - Change“ dar. An diesem waren zahlreiche Universitäten innerhalb des Bundes beteiligt. Nach Abschnitt 3.3.3 in (Nolte, 2004) nahmen die Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, die Universität Bremen, die Technische Universität Dortmund, die Philipps-Universität Marburg, die Westfälische Wilhelms-Universität Münster, die Universität Rostock, die Universität Siegen sowie die Hochschule Zittau/Görlitz an dem Interventionsprojekt zum Nutzerverhalten teil. Die Analyse dieses Projektes beschränkte sich auf die Nutzerintegration im Verwaltungsgebäude.

Durch ein umfangreiches Energiemanagement und Verwendung von abschaltbaren Steckerleisten für Geräte sollten Stromeinsparungen von 18 % erreicht, durch Stoßlüften und Absenkung der Raumtemperaturen um 1 °C sollten 9 % Wärmeenergie eingespart werden.

Diese Maßnahmen führten in der Realität zu einer Einsparung von 8-9 % an elektrischer Energie und weniger als 8 % an Wärmeenergie. Diese Einsparungen beziehen sich jedoch nicht wie üblich auf ein Referenzjahr oder ein 3-Jahres-Mittel, sondern auf die Ersparnis, die von einem im Voraus berechneten zu erwartenden Energieverbrauch ausgeht. Dieser wurde über den Trend der Vorjahre ermittelt.

Zu diesem Projekt sind zahlreiche Informationsmaterialien zur Übertragung auf andere Universitäten und Gebäude vorhanden. Auf der Homepage change-energie.de sind ebenso Maßnahmen und ihre Einsparpotenziale dargestellt. So konnten durch die Einrichtung von abschaltbaren Steckerleisten in Zusammenhang mit der Kampagne „Drück mich zum Abschied“ und eines Powermanagements zur Einrichtung energiesparender Geräte 14 % Energie gespart werden. Durch Kampagnen zum Ausschalten des Lichts bei Verlassen des Raumes wurde der Energieverbrauch um 4 % gesenkt. Stoßlüftung führte im Gegensatz zum Dauerlüften durch gekippte Fenster zu einer Verringerung des Energieverbrauchs um 7 %, die Raumtemperaturabsenkung um 1 °C zu einer Verringerung von 6 %.

Die Maßnahmen wurden an zwei verschiedenen Nutzergruppen untersucht. Es gab eine Interventionsgruppe und eine Kontrollgruppe. Deutlich wurde, dass die Interventionsgruppe, mit der in engerer Kooperation gearbeitet wurde, die vorgeschlagenen Maßnahmen zu insgesamt 43 % im Bereich der Stromeinsparung und um 8 % im Bereich der Wärmeenergieeinsparung umsetzte, während die Umsetzung in der Kontrollgruppe weitaus geringer war. Auch bei REGENA sollte der Ansatz der Kooperation zum Erfolg der Energiesparmaßnahmen führen.

Zur Übertragung auf andere Hochschulen und Institutionen sind auf der bereits genannten Homepage des Projektes „Change“ ebenfalls die verwendeten Plakate, Selbstverpflichtungsbögen und Hinweisschilder veröffentlicht. Ebenso wurde ein Portal zur Anwendungshilfe errichtet um die erläuterten Maßnahmen anwenderspezifisch zuschneiden zu können.

Auch das Projekt E.U.L.E. (Energienustercampus UdS: Liegenschaftsweite Energieverbrauchsoptimierung) der Universität des Saarlandes orientiert sich an der Entwicklung „innovative[r] Methoden und Werkzeuge zur energetischen Betriebsoptimierung von Universitäten und vergleichbaren Liegenschaften“. Der Austausch der Projektergebnisse mit anderen Hochschulen erfolgt über die Hochschul-Informationssystem GmbH (HIS). Dargestellt werden die Forschungsergebnisse aus Fallstudien zu „technische[n], verhaltensbezogene[n] und kontextgestaltende[n] Interventionen“. Diese Interventionen werden stetig kommunikativ begleitet, weiterentwickelt und auf den Energiebedarf und -verbrauch des Campus der Universität des Saarlandes angepasst. Neben der Entwicklung der Maßnahmen zum Erreichen des Energieeinsparziels von 30 % werden eine Lebenszyklusanalyse und Berechnung der potentiellen Einsparungen an Kosten, Energie und CO₂ durchgeführt (Forschungsgruppe Umweltpsychologie, kein Datum).

Seit Beginn 2012 besteht eine informelle Zusammenarbeit der Verbundpartner des REGENA-Projekts mit dem Projekt „EULE“ – „Universität des Saarlands als Energienustercampus“. Ziel ist die Lösungsansätze und Ergebnisse beider Projekte in einem Folgeprojekt zu bündeln, um damit die Nachhaltigkeit der Ergebnisse und insbesondere deren Umsetzung sicherstellen zu können.

4 Projektbericht Umwelt-Campus Birkenfeld (03ET1070A)

Abschlussbericht

FuE-Vorhaben: Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation (REGENA)

Berichtsteil des Teilvorhabens des Verbundpartners Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld, Institut für Softwaresysteme

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET1070A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtsteils liegt bei den Autoren.

Projektlaufzeit: 01.06.2012 - 31.05.2016

Projektleitung an der Hochschule Trier: Prof. Dr. Stefan Naumann

Verantwortliche Autoren:

Andrea Christian, Christoph Göttert, Klaus-Uwe Gollmer, Rainer Michels, Stefan Naumann, Stefan Rüdfler

Herausgeber:

Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld

Institut für Softwaresysteme in Wirtschaft, Umwelt und Verwaltung

Postfach 13 80, D-55761 Birkenfeld

Hinweis: Zur besseren Lesbarkeit wird im Text nur die männliche Form verwendet, hiermit sind selbstverständlich auch Nutzerinnen, Mitarbeiterinnen, Dozentinnen und Professorinnen gemeint. Für Studenten und Studentinnen wird die Form „Studierende“ verwendet.

Birkenfeld, den 10.10.2016

4.1 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben am Umwelt-Campus Birkenfeld durchgeführt wurde

4.1.1 Gebäudebeschreibung: allgemeine und technische Ausrüstung

Der Umwelt-Campus Birkenfeld ist ein aus einem ehemaligen amerikanischen Militärhospital hervorgegangener Gebäudekomplex. Die Gebäudestruktur beinhaltet sowohl renovierte als auch vollständig neu errichtete, modern ausgestaltete Gebäudeteile mit innovativer Anlagentechnik.

Die Heizwärmeversorgung erfolgt über ein Fernwärmenetz durch ein ca. 500 m entfernt gelegenes Biomasse-Heizkraftwerk. Im Versorgungsbereich der 2002 neu in Betrieb genommenen Gebäude wird das Fernwärmenetz durch eine 260 m² große solarthermische Anlage unterstützt. Sie speist einen Wärmespeicher, der jahreszeitabhängig die Wärme verschiedenen Verbrauchern zuführt. Im Frühjahr und Herbst kann der Wärmespeicher einen Teil der Gebäude heizen. Im Sommer nutzt eine Adsorptionskältemaschine die Wärme der solarthermischen Anlage zur Erzeugung von Kaltwasser, zur Kühlung der Frischluft und zur Kühlung des Gebäudes über Rohrschlangen in Wänden und in Fußböden. Die 1996 renovierten Bestandsgebäude beziehen ihre Wärme nur aus der Fernwärmeversorgung. Zur Unterstützung der Warmwasserbereitung sind ebenfalls solarthermische Kollektoren installiert.

Zur Frischluftversorgung befindet sich in 4 m Tiefe ein Erdkollektor aus 2 Stahlbetonrohren mit 1,5 m Durchmesser. Unter Nutzung der Erdwärme bzw. -kälte wird die Außenluft zur Gebäudebelüftung über den Erdkollektor angesaugt. Im Winter ermöglicht der Erdkollektor eine Temperaturerhöhung und im Sommer eine Temperaturabsenkung. Liegt die Temperatur der Außenluft im Bereich der gewünschten Zulufttemperatur, wird der Erdkollektor nicht genutzt und kann sich regenerieren. In diesem Fall wird die Außenluft direkt über einen Betonzuluftschacht angesaugt.

Bevor die Abluft der Lüftungsanlage in die Umwelt abgegeben wird, kommt es zu einer Wärmerückgewinnung der in der Abluft enthaltenen Wärme. Ein rotierender Wärmetauscher entzieht der Abluft die Wärmeenergie und führt sie der frischen Zuluft zu. Ein Teil der noch verbleibenden Restwärme der Abluft wird über Wärmetauscher in einem Massivabsorber einer Wärmepumpe zugeführt und auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Diese Wärme wird im Winter zur schnelleren Regeneration des Erdreiches um den Erdkollektor genutzt.

Die Steuerung der Gesamtheizungs- und Lüftungsanlage erfolgt über ein Gebäudeleittechniksystem. Über ein zweites Messwerterfassungssystem werden weitere Sensorsignale aufgeschaltet, die nicht zwingend zur Anlagensteuerung notwendig sind, aber zusätzliche Informationen zur Ermittlung der Energieeffizienz einzelner Anlagenkomponenten bieten.

Tabelle 1: Nutzung und Topologie Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld

Allgemeines zum Standort	
Standort	Umwelt-Campus Birkenfeld, Rheinland-Pfalz
Bauherr	Landesbetrieb LBB, Niederlassung Idar-Oberstein
Betreiber	Hochschule Trier
Bauphase	1996 – 2003 Konversion eines ehemaligen Militärhospitals (ursprüngliche Fertigstellung 1964)
Beginn Studienbetrieb	1996
Gesamtnutzungsfläche	(inkl. Kommunikationsgebäude) 25.678 m ²
Anzahl Räume	867
Studierende	ca. 2.700
Mitarbeiter	ca. 300
Gesamtbedarfe am Beispiel des Jahres 2015	
Elektrischer Energiebedarf	1.046 MWh/a
Wärmebedarf	1.647 MWh/a
Kälte genutzt	238 MWh/a

Um die Energie zur Raumheizung effizient nutzen zu können, ist eine Einzelraumregelung erforderlich. Am Umwelt-Campus Birkenfeld ist bis auf die Verbindungsgänge die Mehrzahl aller Räume (ausgenommen Technikum und wenige Lagerräume) mit Einzelraumreglern ausgestattet, die über ein Bussystem vernetzt sind und über einen separaten Server parametrierbar werden können. Über individuelle Heiz- und Nutzerprofile kann jeder Raum nach der tatsächlichen Auslastung geregelt werden. Da im Campusbetrieb zeitlich sehr unterschiedliche Raumnutzungen vorliegen, wurden in der Vergangenheit verschiedene Standardprofilgänge für verschiedene Raumarten und -nutzungen getestet.

Auf der Stromseite produziert eine im September 2009 auf den Dächern der Hochschule errichtete Fotovoltaikanlage mit 485 kWp Leistung ca. 45 % des Stromverbrauchs der Hochschule. Zur effizienten Nutzung der elektrischen Energie tragen Bewegungsmelder in Büros und Fluren bei. Tageslichtsensoren in Büros messen die Helligkeit und reduzieren den Stromverbrauch der künstlichen Beleuchtung. Über einen Server mit angeschlossenem KNX-Bus können auch hier individuelle Nutzerprofile angelegt und übertragen werden. Zusätzlich bietet ein Jalousiensystem die Möglichkeit der Verschattung von Büros und Seminarräumen und hilft, die notwendige Kühlleistung im Sommer zu reduzieren.

Tabelle 2: Technik und Verbräuche der untersuchten Hörsäle, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld

Allgemeines zu untersuchten Hörsälen	
Gesamtnutzungsfläche	303 m ²
Anzahl Räume	3
Lüftung	Vollklimatisiert mit Wärme-/Kälterückgewinnung und zusätzl. Heiz-/Kühlregistern (Kältemaschine)
Heizung	Nahwärme, außentemperatureregelter Vorlauf, Solltemperatur über Gebäudeleittechnik mit Einzelraumregelung
Beleuchtung	Leuchtmittel können manuell gedimmt werden
Bedarfe untersuchte Hörsäle am Beispiel des Jahres 2015	
Elektrischer Energiebedarf inkl. Lüftung	14.036 kWh/a
Wärmebedarf	36 MWh/a
Kälte genutzt	1,8 MWh/a

Seit der Gründung des Umwelt-Campus Birkenfeld 1996 werden ausgewählte Energieverbrauchsdaten einzelner Gebäude und Komponenten gemessen und ausgewertet. Neben der Möglichkeit, Messstellen über die vorhandene Busstruktur zu erreichen, besteht bei ungünstig gelegenen Sensoren oder Zählern die Möglichkeit der Funkübertragung zum Empfänger bzw. Server. In Zusammenarbeit mit der Firma Wikon aus Kaiserslautern wurden im Jahr 2010 w-MBus Funkübertragungsmodule entwickelt. In praxisgerechten Feldtests am Umwelt-Campus Birkenfeld wurde deren Einsatzbereich erprobt. Reichweitentests mit neuentwickelten Sendemodulvarianten sollten Aufschluss über Übertragungssicherheit und Energieverbrauch unter schwierigen Umgebungsbedingungen geben. Die Handhabbarkeit und Kostenstruktur der Systeme wurde mit dem herkömmlichen Einsatz von Sensoren in drahtgebundenen Busstrukturen verglichen.

Die Campus-Gebäudetechnik und die Energieversorgung werden über elektronische Schautafeln in den Hauptfluren visualisiert. Diese geben dem interessierten Besucher einen Überblick über die vorhandene Anlagentechnik und zeigen die Messwerte der aktuellen Zustands- und Verbrauchsdaten an.

Tabelle 3: Technik und Verbräuche Technikum, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld

Allgemeines zum Technikum	
Bausubstanz	1996 errichtete Glashalle für Maschinenbau
Gesamtnutzungsfläche	378 m ²
Anzahl Räume	1
Mitarbeiter	10
Heizung	Nahwärme, Außentemperatur geregelter Vorlauf, Zeitschaltung über Gebäudeleittechnik
Beleuchtung	Leuchtmittel z.T. schon LED, manuell geschaltet (im Dunkeln zusätzlich über Bewegungsmelder)
Bedarfe Technikum am Beispiel des Jahres 2014	
Elektrischer Energiebedarf	7.654 kWh/a
Wärmebedarf	38 MWh/a

Der Betrieb des Hochschulstandorts läuft im 2-Semesterzyklus ab, mit entsprechend vorlesungsfreien Zeiten im Jahr (Februar, März und Juli - September). Der hierdurch entstehende Unterschied in der Nutzung ist in nahezu allen Gebäuden – außer Verwaltung, Rechenzentrum und Betriebstechnik – zu beobachten und für einen Hochschulstandort typisch.

Tabelle 4: Technik und Verbräuche untersuchtes Bürogebäude, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld

Allgemeines zum Fachbereichsverwaltungsgebäude	
Bausubstanz	1996 Renoviertes und gedämmtes Gebäude, ausgeführt in 24er Mauerwerk
Gesamtnutzungsfläche	(inkl. Seminarraum) 1.347 m ²
Anzahl Räume	60
Mitarbeiter	30
Heizung	Nahwärme, Außentemperatur geregelter Vorlauf, Einzelraumregler über Gebäudeleittechnik verbunden
Beleuchtung	Leuchtmittel z.T. schon LED, z.T. gesteuert über Bewegungsmelder (in Büros über Helligkeitssensoren gedimmt)
Bedarfe untersuchtes Gebäude am Beispiel des Jahres 2014	
Elektrischer Energiebedarf	15.282 kWh/a
Wärmebedarf	112 MWh/a

Im Rahmen des Projekts REGENA wurde exemplarisch ein Fachbereichsverwaltungsgebäude mit einem Seminarraum und 30 Büros, Besprechungsräumen, Kaffeeküche, Lagern, Archiven, Toiletten und Duschen untersucht. Die bautechnische Substanz ist auf dem Stand der Renovierung von 1996 und mit 50 mm Dämmung versehen. Dies führt zu einer mäßigen Effizienz der verwendeten Heizenergie, wie folgende Abbildungen einer Wärmebildkamera verdeutlichen.



Abbildung 3: Wärmebildaufnahme der Außenwand

Die Aufnahme oben zeigt die Außenwand bei einer Umgebungstemperatur von 0 °C. Erkennbar ist, dass sich die Oberfläche durch Transmission der Wärme auf fast 5 °C aufwärmt. Die nächste Abbildung zeigt zusätzlich den Sockel, dessen Oberfläche über 8 °C erwärmt wird.

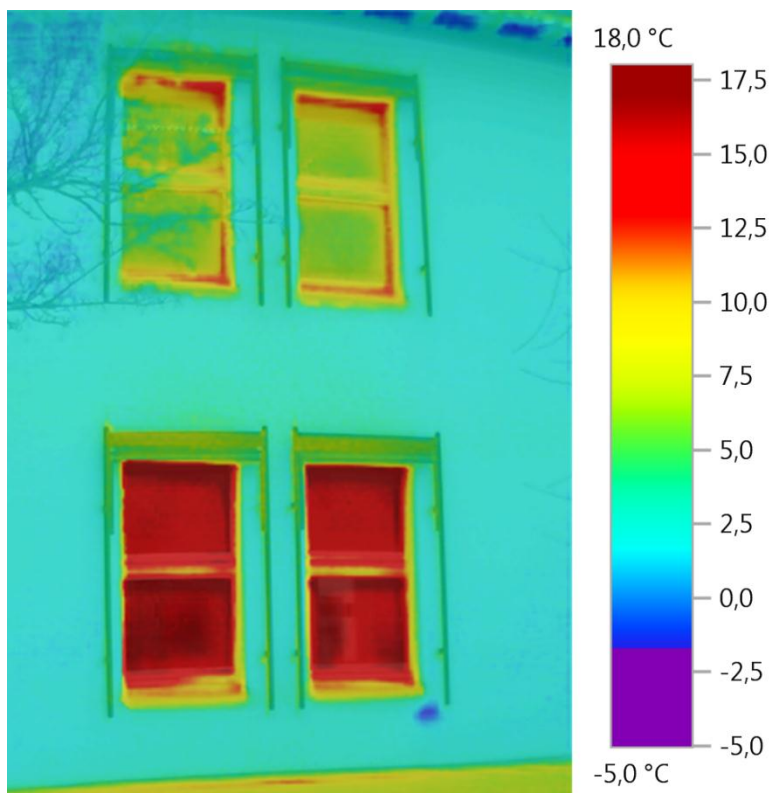


Abbildung 4: Wärmebildaufnahme der Außenwand mit Sockel

Zusammengenommen verdeutlichen die Aufnahmen den überholten Stand der Wärmedämmung, was sich auch in den vergleichenden Verbrauchsmessungen mit dem Hochschule Niederrhein Standort Krefeld zeigt.

4.1.2 Kompetenzen der ausführenden Stelle

Die Projektleitung seitens des Verbundpartners Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld lag beim Institut für Softwaresysteme (ISS), und dort bei dem Informatiker Prof. Dr. Stefan Naumann, der bereits mehrere einschlägige Projekte geleitet hat und zahlreiche Publikationen im Bereich Informatik, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit veröffentlicht hat. Am Projekt beteiligt waren aufgrund seiner langjährigen Erfahrung in der Leitungsstelle Gebäudeleittechnik und intelligente Energiesysteme Dipl.-Ing. (FH) Rainer Michels sowie aufgrund ausgeprägter Kenntnisse in der Entwicklung von autonomen Kleinstrechnern und der Nähe zum Thema Heimautomation Prof. Dr.-Ing. Klaus-Uwe Gollmer. Zudem wurden die Mitarbeiter der Betriebstechnik in das Projekt eingebunden.

Die Kompetenzen liegen unter anderem im Bereich Ressourceneffizienz in der Softwareentwicklung. Hier sind beispielsweise folgende Forschungsprojekte zu nennen, die am ISS unter der Leitung von Dr. Stefan Naumann (GREENSOFT und PEBIS) und Dr.-Ing. Klaus-Uwe Gollmer (PEBIS) durchgeführt wurden:

Green Software Engineering (GREENSOFT)

Unter "Green IT" versteht man alle Aktivitäten, welche die Nutzung von Informationstechnologie (IT) über deren gesamten Lebenszyklus hinweg umwelt- und ressourcenschonend gestalten. Ziel des Projektes GREENSOFT war die Erweiterung dieser zumeist hardwarebezogenen Aktivitäten um "Green Software Engineering", also um Nachhaltige Softwaretechnik.

Prozessüberwachung und verbesserte Energieeffizienz technischer Betriebsstätten mittels intelligenter Smart-Meter-Systeme (PEBIS).

Projektziele waren die Modellierung, Entwicklung und Evaluierung intelligenter Messsysteme zur Zustands- und Prozessüberwachung von technischen Betriebsräumen wie Rechenzentren oder Maschinenhallen auf Basis von zeitaufgelösten Energieverbräuchen einzelner elektrischer Verbraucher.

4.1.3 Ausgangssituation: Schwierigkeiten bei der Erhebung des Ist-Zustandes

Obwohl aus der Planungs- und Renovierungsphase vollständige Unterlagen und Pläne im Archiv der Gebäudetechnik vorhanden sind, liegen Aufzeichnungen zu etwaigen späteren Änderungen nicht vollständig vor. Eine genaue Bestandsaufnahme musste daher mithilfe von vor-Ort Begehungen erfolgen, deren Ergebnisse in die Projektdokumentation übernommen wurden. Erst die daraus erarbeiteten Pläne waren ausreichend für die Durchführung von REGENA.

Zur Unterstützung vieler Projektmaßnahmen bedurfte es der Mitarbeiter der Gebäudetechnik und anderer Stellen. Deren unterschiedliche zeitliche Verfügbarkeit und eine fehlende anerkannte Instanz, welche Energieeffizienz-Maßnahmen verfolgt, waren Hemmnisse in der Projektumsetzung. Die zuverlässige und rechtzeitige Umsetzung von Maßnahmen ist von eingespielten Arbeitsprozessen abhängig, welche bspw. nach ISO 50001 in Betrieben umgesetzt werden, vgl. (Factor4, 2014). Das Fehlen solcher Prozesse barg auch am Standort Umwelt-Campus erhebliche Hürden hinsichtlich des REGENA-Projekts.

4.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

4.2.1 Zeitplan

Nachfolgend ist der Projektzeitplan des Verbundpartners Umwelt-Campus Birkenfeld dargestellt. Die Messperioden zu Wärme und Kälte haben sich hierbei an den Heiz- und Kühlungsperioden und die für Strom an den Semesterzeiten orientiert.

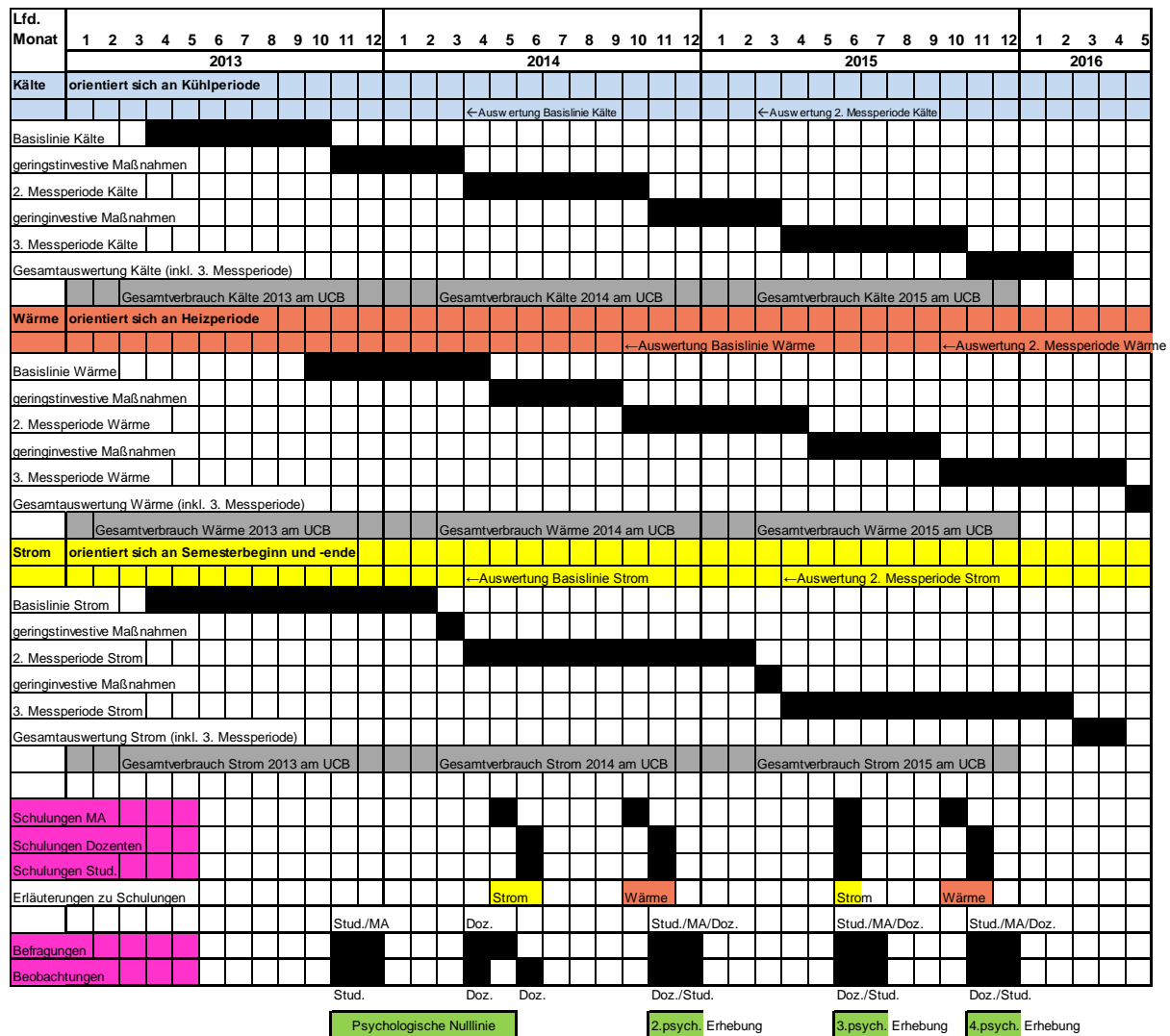


Abbildung 5: Zeitplan des Vorhabens am Umwelt-Campus Birkenfeld

Das Diagramm ist in die Energiearten Kälte, Wärme und Strom unterteilt. Für jede Energieart wurde jeweils ein Zeitraum für die Basislinie sowie für die erste und zweite Messperiode definiert. Dabei war zum einen darauf zu achten, dass zwischen den Messperioden Zeiten für die Umsetzung der im Projekt vorgesehenen Maßnahmen eingeplant wurden und zum anderen, dass die jeweiligen Messperioden pro Energieart gleich lang und jeweils in den gleichen Monaten stattfanden, um eine Vergleichbarkeit gewährleisten zu können. Zusätzlich wurden die Gesamtverbräuche des Hochschulstandorts am Umwelt-Campus über die Jahre 2013, 2014 und 2015 gemessen (grau hinterlegte Felder). Die psychologischen Interventionen sind im unteren Bereich des Diagramms angeordnet und sind unterteilt in Schulungen (Strom bzw. Wärme) für Mitarbeiter (MA), Dozenten (Doz.) und Studierenden (Stud.). Zusätzlich sind die Zeiträume angegeben, in denen die Befragungen der Mitarbeiter, Dozenten und Studierende durchgeführt wurden. Die angegebenen Beobachtungen beinhalten die Verhaltensbeobachtungen der Studierenden und die Erfassung der klimatischen Bedingungen, welche zeitgleich zu den Befragungen der Studierenden durchgeführt wurden. Die Beobachtungen der Dozenten betrifft das Ausschalten der Beleuchtung und des Beamers zwischen den Vorlesungen sowie am Ende des Vorlesungstages.

4.2.2 Ablauf des Vorhabens am Umwelt-Campus Birkenfeld

Der Projektablauf orientiert sich an den Arbeitspaketen der Vorhabenbeschreibung. Verschiedene Arbeitsschritte wurden entsprechend der Projektplanung überschneidend durchgeführt. Beispielweise wurden die Maßnahmen zum Energiesparen schon von Projektbeginn an eruiert, damit die Umsetzung sofort vor den entsprechenden Messperioden umgesetzt werden konnten. Damit wurde auch die Maßnahmenliste kontinuierlich weiterentwickelt und gepflegt. Auch die psychologischen Interventionen in Form von Schulungen sind aufgrund der zeitlichen Bindung an die Vorlesungszeit nicht immer eindeutig den technischen Messperioden zeitlich zuzuordnen. Dies gestaltet sich auch deshalb schwierig, da sich die Messperioden für Wärme und Kälte an den Jahreszeiten orientieren und sich die Messperiode für Strom an Semesterbeginn und -ende orientiert.

Nachfolgend eine Übersicht der Arbeitsschritte bzw. des Vorhabenablaufs:

- Festlegung der im Projekt zu untersuchenden Gebäudeteile und Raumtypen
- Identifikation der relevanten Nutzergruppen, welche befragt und geschult werden
- Technische Bestandsaufnahme der ausgewählten Gebäudeteile
 - Erfassung und Dokumentation relevanter Gebäudetechnik und Automation
 - Erfassung und Dokumentation der vorhandenen relevanten Messstellen
- Zusätzliche Installation von notwendiger Messtechnik, um die Verbräuche der ausgesuchten Gebäudeteile separat erfassen zu können
 - Dokumentation der zusätzlich installierten Messstellen

Das nachfolgende Schema zeigt den zeitlichen Ablauf der verschiedenen Messperioden im Kontext mit den umgesetzten Maßnahmen.

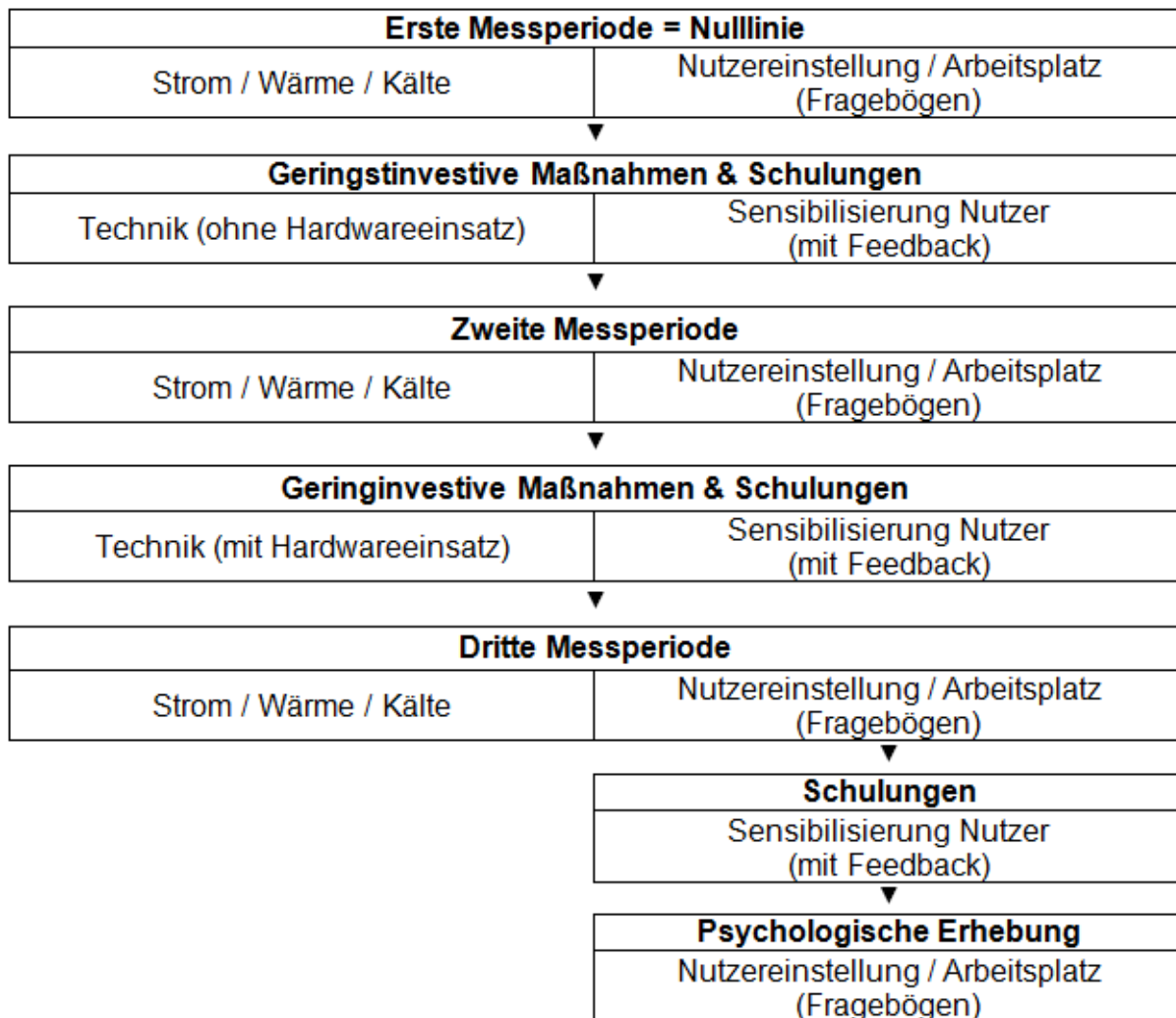


Abbildung 6: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs

Während der kompletten Projektlaufzeit erfolgten eine kontinuierliche Datenerfassung sowie Datenauswertungen entsprechend des Projektfortschritts.

Die hier aufgeführten Arbeitsschritte wurden im Rahmen des Projektes erfolgreich durchgeführt und bedurften bis auf wenige zeitliche Anpassungen, bspw. bei den Maßnahmen, keiner Korrektur.

4.3 Aufzählung wesentlicher wissenschaftlich-technischer Ergebnisse, Nebenergebnisse sowie Erfahrungen

4.3.1 Festlegung der zu untersuchenden Gebäudeteile und Raumtypen

Zu Anfang des Forschungsprojektes wurden die Gebäudeteile bzw. Raumtypen festgelegt, welche im Projekt näher untersucht werden sollten. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die ausgewählten Gebäude repräsentativ sind, sowohl in Bezug

auf vorhandene Gebäudetechnik als auch auf Nutzergruppen. Die Gebäudeteile sollten so gewählt werden, dass die gesamte Bandbreite der Gebäudeautomation und alle an einer Hochschule vertretenen Nutzergruppen enthalten sind. Zusätzlich musste bei der Auswahl berücksichtigt werden, dass diese Gebäudeteile keinen zu großen Nutzungsänderungen unterliegen, um spätere Zuordnungs- und damit verbundene Auswertungsprobleme vorzubeugen.

Folgende Raumnutzungstypen wurden zunächst festgelegt:



Abbildung 7: Ausgewählte Raumnutzungstypen

Es wurden drei zu untersuchende Hörsäle ausgesucht, in denen Vorlesungen verschiedener Studiengänge angeboten werden. Diese drei gleich konzipierten Hörsäle verfügen über entsprechende Gebäudetechnik/-automation und werden nicht nur durch Heizkörper, sondern auch durch Lüftung erwärmt. Diese Lüftung wird in der warmen Jahreszeit auch zur Kühlung herangezogen.

Um die Büros und Seminarräume zu untersuchen, wurde ein Fachbereichsverwaltungsgebäude ausgesucht, in dem davon ausgegangen werden konnte, dass die Raumnutzungen keiner großen Änderung unterliegen. Zusätzlich verfügt dieses Gebäude über 30 Büros und einen Seminarraum.

Entsprechend der Vorhabenbeschreibung sollten mindestens die drei Raumtypen „Hörsaal“, „Seminarraum“ und „Büroraum“ betrachtet werden. Darüber hinaus wurde am Hochschulstandort Birkenfeld ein Technikum ausgewählt, welches sich in Bezug auf Nutzung und vorhandener Technik für die Anforderungen des Forschungsprojektes eignete.

Zusätzlich zu den Büros wurden auch die Flure, die Archive und Lager sowie die Sozialräume inkl. WCs in dem ausgewählten Gebäude energetisch untersucht.

Somit ergaben sich die folgenden Raumtypen, die im Rahmen des Vorhabens untersucht wurden:

Tabelle 5: Ausgewählte Gebäudeteile bzw. Raumtypen

Glasbau	Fachbereichsverwaltungsgebäude							Zwischenbau
Hörsaal	Seminarraum	Büro	Besprechung	Sozial (Teeküche, WCs)	Flure	Technikraum	Lager/Archive	Technikum

4.3.2 Identifikation der relevanten Nutzergruppen

An einer Hochschule gibt es unterschiedliche Nutzergruppen, die alle im Projektrahmen berücksichtigt werden mussten. Die vollständige Erfassung der Nutzergruppen ist zum einen von Bedeutung, um Unterschiede zwischen den einzelnen Nutzergruppen bezüglich ihrer Einstellung zum Energiesparen zu eruieren und zum anderen, um alle relevanten Nutzer der Hochschule im Bereich der energetischen Optimierung zu erreichen.

Folgende Nutzergruppen wurden festgelegt:

- Mitarbeiter (wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche)
- Dozenten
- Studierende

Die folgende Tabelle zeigt die Zuordnung der Nutzergruppen zu den ausgewählten Gebäudeteilen:

Tabelle 6: Zuordnung Nutzergruppen zu den ausgewählten Gebäudeteilen

Hörsäle und Seminarräume	Technikum	Büros	Besprechung, Sozial, Flure, Technik, Lager/Archive
Dozenten	Mitarbeiter	Mitarbeiter	Mitarbeiter
Studierende			

4.3.3 Ergebnisdarstellung der einzelnen Arbeitspakete

4.3.3.1 Arbeitspaket 1: Technische Bestandsaufnahme und Basisdaten

4.3.3.1.1 Relevante Gebäudetechnik und Automation der ausgewählten Gebäudeteile

Um die Maßnahmen zur energetischen Betriebsoptimierung planen und durchführen zu können, war eine umfassende Bestandsaufnahme der vorhandenen Gebäudetechnik und Automation in den ausgewählten Gebäudeteilen notwendig.

Die folgende Tabelle zeigt die vorhandene Gebäudetechnik/Automation des untersuchten Fachbereichsverwaltungsgebäudes getrennt nach den untersuchten Energiearten.

Tabelle 7: Gebäudetechnik/Automation des untersuchten Fachbereichsverwaltungsgebäudes

Energieart		Regelung/Sensoren	Büros	Besprechungsräume	Seminarraum	Flure	WCs	Archive/Lager
Strom	Beleuchtung	Tageslichtsensoren	Ja	Ja	vorhanden, aber deaktiviert	Nein	Nein	<u>Archive:</u> Ja <u>Lager:</u> Nein
		Bewegungsmelder	Ja	Ja	vorhanden, aber deaktiviert	Ja	Nein	<u>Archive:</u> Ja <u>Lager:</u> Nein
		Zentralbefehl zum Ausschalten	Nein	Nein	Ja (22 Uhr)	Nein	Ja (22 Uhr)	Nein
		Besonderheiten			über Lichtschalter dimmbar	keine Lichtschalter		
Wärme	Heizung (keine Lüftung)		Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper	<u>Büroflure:</u> keine Heizung <u>Sonstige Flure:</u> Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
		Einzelraumregler	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	<u>Archive:</u> Ja <u>Lager:</u> Nein
		Programmierbare Heizkörperthermostate	Nein	Nein	Nein	Teilweise (als REGENA-Maßnahme)	Nein	Nein
		Heizkörperthermostate	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	<u>Archive:</u> Nein <u>Lager:</u> Ja
		Zentralbefehl zum Ausschalten	Ja (17 u. 22 Uhr)	Ja (17 u. 22 Uhr)	Ja (22 Uhr)	Nein	Nein	<u>Archive:</u> Ja (17 u. 22 Uhr) <u>Lager:</u> Nein
Kälte		Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	

Die folgende Tabelle zeigt die vorhandene Gebäudetechnik/Automation der untersuchten Hörsäle und des untersuchten Technikums:

Tabelle 8: Gebäudetechnik/Automation der untersuchten Hörsäle und des Technikums

Energieart		Regelung/Sensoren	Hörsäle	Technikum
Strom	Beleuchtung	Tageslichtsensoren	Nein	Nein
		Bewegungsmelder	Nein	<u>Untere und obere Arbeitsplatzleuchten:</u> Ja: bei entsprechender Dunkelheit <u>Obere Pendelleuchten:</u> Nein
		Zentralbefehl zum Ausschalten	Ja (22:00 Uhr)	Nein
		Besonderheiten	über Lichtschalter dimmbar	
Wärme			Heizkörper und Lüftung	Heizstrahler (Decke) und Lüftung
	Heizkörper	Einzelraumregler	Nein	Nein
		Programmierbare Heizkörperthermostate	Nein	Nein
		Heizkörperthermostate	Nein	Nein
		Temperaturfühler / GLT	Ja	Nein
	Heizstrahler	Zeitprogramm	-	Ja
	Lüftung		Ja aktiv von 8:30 bis 22:00 Uhr (keine Bewegung: Ausschaltung um 20:00 Uhr), Einblastemperatur: 21 °C	Ja Schaltung manuell vor Ort. Freigabe von 6:00 bis 20:00 Uhr (schaltet um 20:00 Uhr aus; kann manuell wieder angeschaltet werden).
		Bewegungsmelder	Ja Nachlaufzeit der Lüftung: 1/4 Stunde	Nein
	Heizung / Lüftung	Zentralbefehl zum Ausschalten	Ja (22:00 Uhr)	Ja (20:00 Uhr)
		Besonderheiten	Heizkörper: Vorheizen 7:00 bis 8:00 Uhr Auskühlschutz Zuschaltung bei weniger als 20 °C Lüftung: vorwiegende Wärmeversorgung tagsüber	
Kälte		Ja Start bei einer Raumtemperatur zwischen ca. 21 °C und 23 °C (sukzessive)	Nein	
	Lüftung	Bewegungsmelder	Ja Nachlaufzeit der Lüftung: 1/4 Stunde	-

Hörsäle und Seminarraum wurden zusätzlich klimatisch untersucht. Dazu wurde ein eigens dafür entwickeltes Gerät in den Räumen angebracht, der REGENA-Pilot. Aufbauend auf einer Mikroprozessor-Platine mit Ethernet-Schnittstelle und Speicherkartensteckplatz wurde mit zusätzlich angeschlossenen Sensoren der REGENA-Pilot konstruiert.

In einem studentischen Projekt wurden darüber hinaus im untersuchten Seminarraum, zur Erfolgskontrolle der Schulungen und der CO₂-Ampel, an Fenstern und Türen Funk-Reed-Kontakte angebracht. Diese senden an ein von den Studierenden zusammengestelltes Gerät bei Änderung des Zustands der Fenster bzw. Türen ein Signal, welches auf dem Gerät zwischengespeichert wird, bis es nachts an die Datenbank gesendet wird.

Folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der Messstellen zu den gemessenen Verteilkreisen der angegebenen Gebäude und Bereiche. Zusätzlich zu der bereits vorhandenen Messtechnik wurden zu Beginn des Projektes weitere Messstellen installiert, welche in der letzten Spalte aufgeführt sind.

Tabelle 9: Übersicht der im Projekt verwendeten, vorhandenen und zusätzlich installierten Messstellen

Gebäude / Bereiche	Energieform	Vorhandene Messstellen	Zusätzliche Messstellen
Technikum	Elektrizität	Allgemein	keine
		Lüftungsanlage	
	Wärme	Heizung	
		Lüftung	
Büros	Elektrizität	EDV-Steckdosen	Beleuchtung
			Elektr. Anschlüsse
Büros & Seminarraum	Wärme	Heizung	HKV (111 Stk.)
		Nachspeisung Warmwasser	
Seminarraum	Elektrizität	Keine	Elektr. Anschlüsse
			EDV-Steckdosen
			Beleuchtung
			Reed-Kontakte
Hörsäle Glasbau	Elektrizität	Keine	Stromzähler HS 1
			Stromzähler HS 2
			Stromzähler HS 3
			Stromzähler Lüftung
	Wärme	Heizung Glasbau und Lüftung HS 1-3	HKV (10 Stk.)
		Lüftung HS 1-3	
Kälte	Keine	Lüftung HS 1-3	
Raumklima	Keine	REGENA-Pilot (je 1x)	

Einige der durch die Gebäudeleittechnik-Zähler anfallenden Daten werden zentral in einem Rechenzentrum in Mainz abgelegt, von welchem dann ein manueller Export als Datei wieder lokal für die REGENA-Datenbank bereitgestellt wurde. Eine Über-

sicht der verwendeten zusätzlichen Messstellen im Zusammenspiel mit den bereits vorhandenen ist in Abbildung 9 zu sehen.

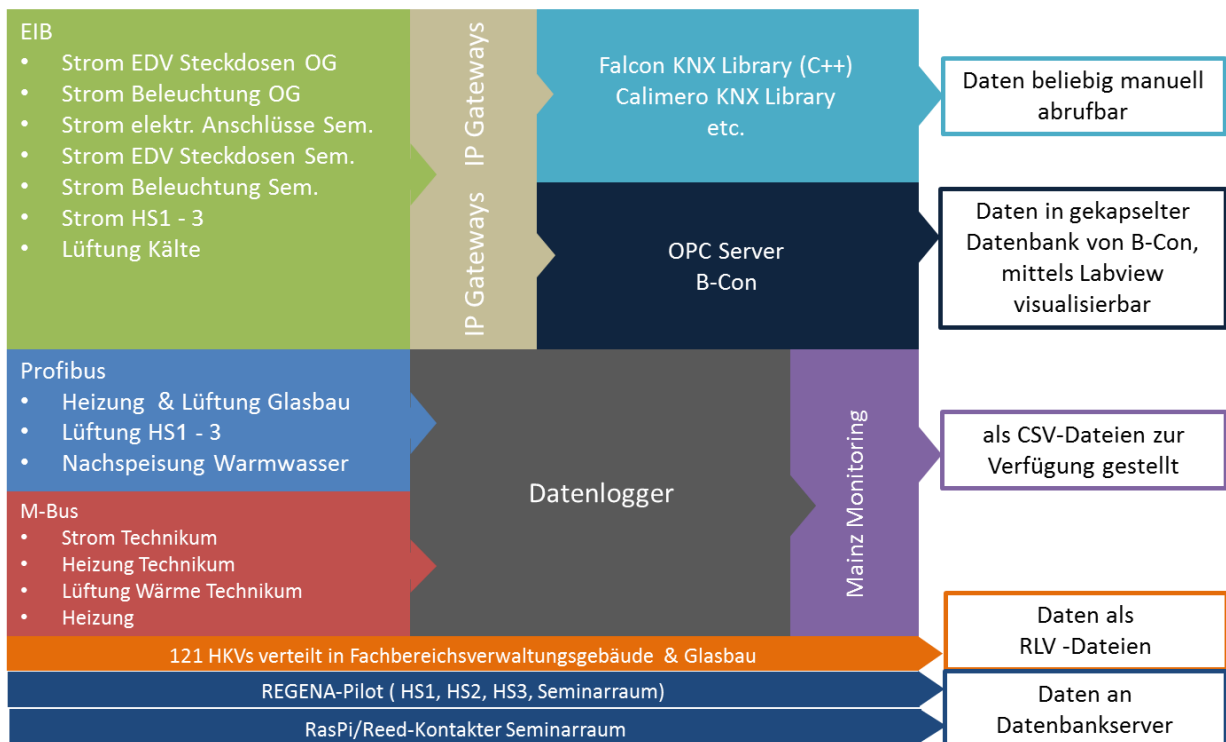


Abbildung 9: Übersicht Messstellen und Übertragungswege

4.3.3.1.3 Aufbau einer Messdaten-Datenbank

Datenfluss

Um für die Auswertungen einen optimalen Zugriff auf die Messdaten zu gewährleisten, wurden diese in einer zentralen Datenbank gespeichert. Hierfür mussten zunächst die unterschiedlichen Rohdaten gesammelt und anschließend durch ein einheitliches Schema in die Datenbank eingelesen werden.

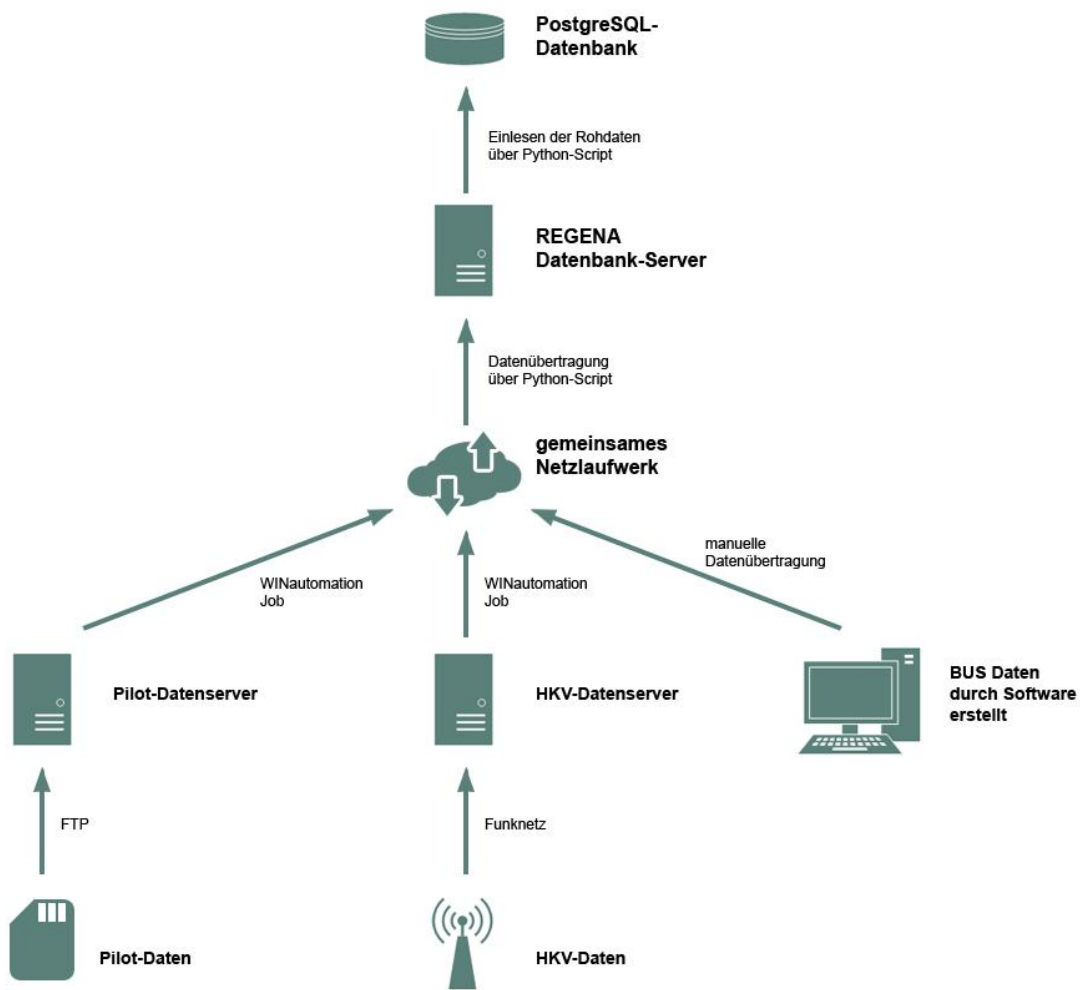


Abbildung 10: Datenfluss Messdaten

Die drei wesentlichen Datenquellen waren Pilot-Daten, HKV-Daten sowie Messdaten aus der Gebäudeleittechnik (Bus-Daten). Abbildung 10 beschreibt den schematischen Ablauf der Messdatenübertragung. Zunächst wurden die Rohdaten aus den unterschiedlichen Quellen auf einem gemeinsamen Netzlaufwerk gesammelt. Von dort wurden die Daten auf den REGENA-Server übertragen und in die zentrale Datenbank eingelesen. Für diesen so genannten Extract-Transform-Load-Prozess wurde ein eigenes Python-Script entwickelt, welches die unterschiedlichen Quelldaten einliest und durch ein einheitliches Datenmodell in die Datenbank integriert.

Datenmodell

Zur Speicherung der Messdaten wurde eine relationale Datenbank (PostgreSQL) verwendet, welche auf einem Linux-Server aufgesetzt wurde.

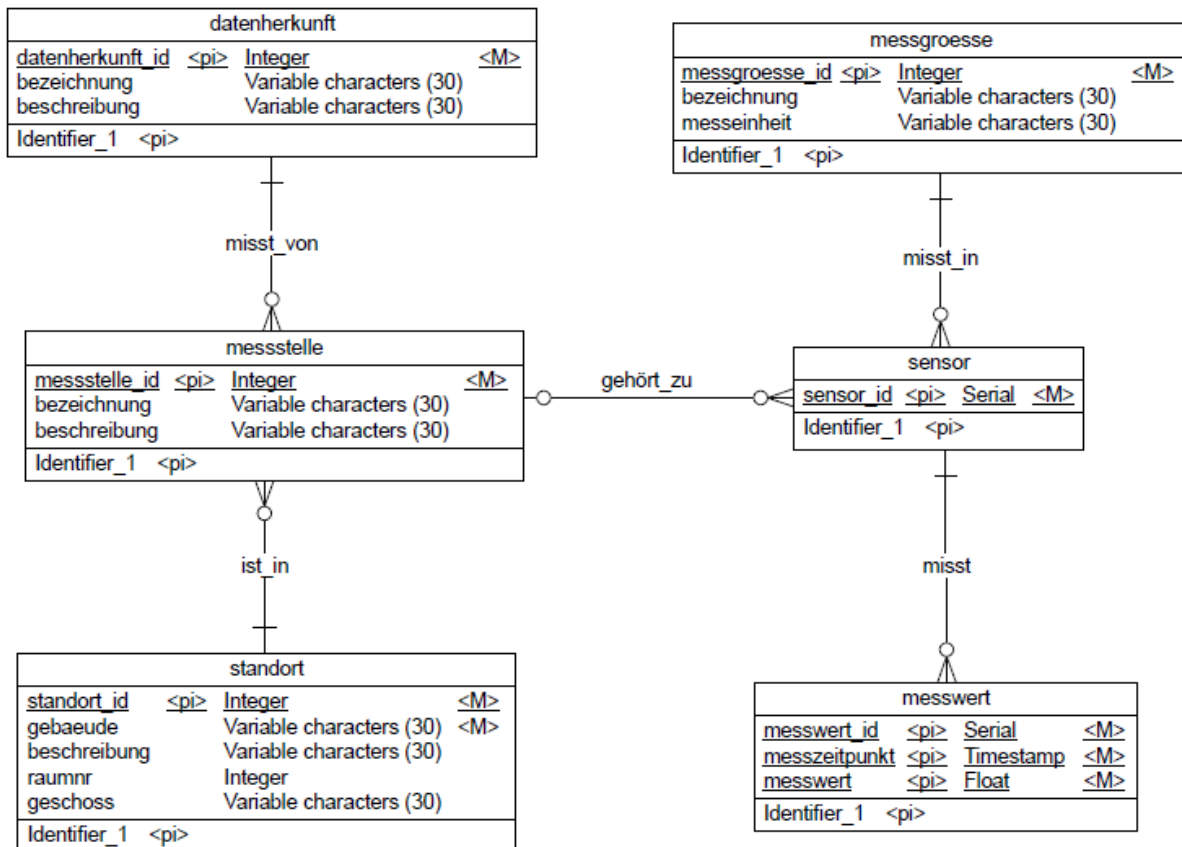


Abbildung 11: Relationales Datenmodell für die PostgreSQL-Datenbank

Abbildung 11 zeigt das für die Datenbank verwendete Entity-Relationship-Modell. Die Messwert-Tabelle stellt das zentrale Element des Datenmodells dar. Hier wurden alle erfassten Messwerte mit dem entsprechenden Messzeitpunkt gespeichert. Die Tabelle umfasst mittlerweile ca. 30 Millionen Einträge.

Die Zuordnung der Messwerte erfolgte über die Sensor-Tabelle. Jeder Sensor ist wiederum einer Messgröße und einer Messstelle zugeordnet. Die Messgröße definiert die Art der Messwerte (z. B. Stromzähler) sowie die entsprechende Messeinheit (z. B. kWh). Über die Messstelle können von jedem Sensor außerdem der Standort (Gebäude, Geschoss, Raumnummer) sowie die Datenherkunft (HKV, Pilot oder GLT) bestimmt werden.

4.3.3.1.4 Fazit 1: Erfolge und Herausforderungen des Aufbaus der Messinfrastruktur

Wichtig für die genaue Aufteilung der Heizlasten sind entsprechend genaue Parameter in den eingesetzten HKV-Einheiten. Zu Beginn des Projekts wurden jedoch ver-

einzelte fehlerhafte Annahmen bei der Parametrierung getroffen, die darauf zurückzuführen sind, dass falsche Heizkörpertypen gewählt wurden.

Ebenfalls wurde die Installation von vier Einheiten mit Kabel-gebundenem Temperaturfühler an der falschen Stelle der Heizkörper vorgenommen. Zur zweifelsfreien Messung ist jedoch eine exakte und parameterabhängige Montage erforderlich.

Beide Umstände konnten jedoch mit einem nachträglichen Korrekturfaktor in der Datenbank behoben werden. Eine Kontrolle mit zum Vergleich angebrachten HKV-Einheiten bestätigte die Richtigkeit der Korrekturfaktoren.

Zum automatisierten Sammeln und Einlesen der Messdaten in die zentrale Datenbank mussten einige Schwierigkeiten überwunden werden. Die meisten Probleme resultierten aus der Vielfalt der Datenquellen. Diese liefern die Messdaten in unterschiedlichen Intervallen und zu verschiedenen Zeitpunkten. Um die Datenerfassung zu synchronisieren, wurde ein Python-Script erstellt, welches alle verfügbaren Messdaten von einem gemeinsamen Netzlaufwerk auf den Datenbankserver überträgt (vgl. Abbildung 10). Dieses Script wurde täglich automatisch vom Server über einen Cron-Job ausgeführt.

Außerdem unterscheiden sich je nach Datenquelle auch der Aufbau und das Format der Rohdaten. Um die verschiedenen Daten einzulesen und in das einheitliche Datenmodell entsprechend zu integrieren, wurde ein weiteres Python-Script entwickelt. Das entwickelte Script liest alle verfügbaren Quelldaten ein und filtert die für das Datenmodell relevanten Werte. Diese werden dann formatiert und in die Datenbank übertragen. Außerdem konnten fehlerhafte Messwerte einzelner Sensoren, welche beispielsweise durch einen Zählerausfall zurückgesetzt wurden, korrigiert werden. Dieses Script wurde - wie das Script zur Messdatenübertragung - täglich vom Server ausgeführt.

4.3.3.1.5 Energetische Basisdaten

Um die Wirksamkeit der Maßnahmen zur energetischen Betriebsoptimierung sinnvoll abschätzen und eine Vergleichbarkeit der Daten gewährleisten zu können, musste eine Basislinie der Verbrauchswerte als Referenz erstellt werden. Diese Nulllinie der Verbrauchsdaten von Wärme, Kälte und Strom, die vor Umsetzung jeglicher Maßnahmen ermittelt wurde, bildete den Referenzwert zur Ermittlung der nach Projektende erreichten Energieeinsparung.

- Energetische Basisdaten der gesamten Hochschule

Zu Beginn des Vorhabens wurde der Gesamtverbrauch Wärme, Kälte und Strom über den Zeitraum eines Kalenderjahres ermittelt und dokumentiert.

Diese Ausgangswerte bildeten die Referenzwerte, bezogen auf den kompletten Hochschulstandort, für die Ermittlung der Einsparung am Projektende. Hierzu wird auf Abschnitt 4.3.3.5.3 verwiesen, unter dem die die Jahresverbräuche der Hochschule über die Projektlaufzeit miteinander verglichen werden.

- Energetische Basisdaten der ausgewählten Gebäudeteile

Um sowohl die detaillierten Energieverbrauchsreferenzwerte als auch die nachfolgenden Energieverbrauchswerte der ausgewählten Gebäudeteile ermitteln zu können, wurden, wie unter Abschnitt 4.3.3.1.2 Vorhandene und zusätzliche installierte Messstellen erläutert, zusätzliche Stromzähler und Heizkostenverteiler für die projektrelevanten Gebäudeteile installiert. Die Verbrauchsdaten dieser Gebäudeteile wurden über einen definierten Messzeitraum erfasst. Bei der Festlegung der Messperiodenlänge musste berücksichtigt werden, dass alle drei Messperioden über die Projektlaufzeit gleich lang sind und die Messung für „Wärme“ und „Kälte“ jahreszeitenabhängig erfolgen musste. Aus diesem Grund wurden nachfolgende Messperioden festgelegt:

Tabelle 10: Zeitraum der Messperioden

Kälte	Wärme	Strom
01. April bis 31. Oktober	01. Oktober bis 30. April	01. April bis 28./29. Februar

Die Messperioden für Strom wurden von April bis Ende Februar gewählt, um im Monat März die geringst- bzw. geringinvestiven Maßnahmen umsetzen zu können.

Mit dem Vergleich zwischen der Basislinie und den nachfolgenden beiden Messperioden kann der Erfolg der umgesetzten Maßnahmen und somit das Einsparpotenzial gemessen werden. Hierzu wird auf den Abschnitt 6.3.2.3 verwiesen, in dem die Verbräuche der betrachteten Gebäudeteile und der verschiedenen Messperioden über die Projektlaufzeit miteinander verglichen werden.

4.3.3.1.6 Psychologische Basisdaten

Vor den psychologischen Interventionen wurden psychologische Daten zu eigenem energetischem Verhalten, Wissen um die technischen Möglichkeiten sowie Motivation zum Energiesparen erfragt, um nachfolgend die Akzeptanz und den Erfolg der psychologischen Schulungen abschätzen zu können. Zudem wurde nach der subjektiven Befindlichkeit bzw. der Nutzerzufriedenheit bezüglich der klimatischen Situation im Arbeitsraum gefragt. Die Daten wurden durch Messungen des Raumklimas (Temperatur, Luftfeuchte, CO₂-Gehalt) und Verhaltensbeobachtungen ergänzt. Nachfolgend werden die Instrumente für die Erfassung der psychologischen Daten erläutert.

- Fragebogen zu Einstellungen und Verhaltensintentionen zum Energiesparen (EVE)

Der Fragebogen zur Einstellung gegenüber Energiesparen wurde vom Projektpartner HS Niederrhein entworfen und am Umwelt-Campus Birkenfeld im Rahmen der Erstbefragung an Mitarbeiter, Dozenten und Studierende der ausgewählten Gebäudeteile verteilt.

- Fragebogen zu Umgebungsbedingungen/tatsächlichem Verhalten bezüglich Energiesparen (UVE) = Rahmenbedingungen bzw. Komfortempfinden am Arbeitsplatz

Der von der HS Niederrhein entworfene Fragebogen zu den Rahmenbedingungen am Arbeitsplatz musste an die Gegebenheiten des Umwelt-Campus Birkenfeld angepasst werden.

➤ Rahmenbedingungen am Arbeitsplatz

Dieser Fragebogen existiert in einer „Winter-“ und einer „Sommerversion“.

Bei diesem Fragebogen wurden neben den Eckdaten zum Nutzer und zum Raum auch die Raumausstattung bezüglich Heizungstechnik und deren Bedienbarkeit erfragt. Zusätzlich sollte die klimatische Situation im Raum bewertet werden und die Nutzer sollten ihre Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Umgebungsbedingungen einstufen. Ferner wurden Fragen zu den vorhandenen elektrischen Geräten am Arbeitsplatz und den Verhaltensweisen bezüglich Energiesparen am Arbeitsplatz gestellt.

Dieser Fragebogen wurde an Mitarbeiter des Fachbereichsverwaltungsgebäudes verteilt.

Bei der Erstbefragung wurde dieser Fragebogen auch noch an die Dozenten, die in den drei ausgewählten Hörsälen und im betrachteten Seminarraum unterrichten, verteilt.

Nachdem der Rücklauf der an die Dozenten ausgegebenen Fragebögen eher gering ausfiel, wurde in den nachfolgenden Befragungen der Fragebogen „Komfortempfinden“ an diese Nutzergruppe verteilt. Da der „Komfortempfinden“-Fragebogen sehr viel kürzer als der eigentliche Rahmenbedingungsfragebogen ist, sollte die Anzahl der ausgefüllten Fragebögen damit erhöht werden.

➤ Komfortempfinden am Arbeitsplatz/Studienplatz

Dieser Fragebogen wurde an die Studierenden in den drei ausgesuchten Hörsälen und dem ausgewählten Seminarraum verteilt. Dabei wurde nach dem Wohlbefinden bezüglich Temperatur, Luftbewegung, Luftqualität oder Abstrahlung von Begrenzungsflächen im Raum gefragt. Die Studierenden sollten angeben, ob sie den Raum als behaglich empfinden. Bei der Erstbefragung wurde dabei noch nicht zwischen „Sommer- und Winterversion“ des Fragebogens unterschieden.

• Beobachtungen

➤ Verhaltensbeobachtungen/Erfassung Raumklimadaten

Neben der Verteilung der beiden Fragebögen wurden zeitgleich Beobachtungen (Verhaltensbeobachtungen) während der Vorlesungen in den Hörsälen und im Seminarraum durchgeführt, die folgende Kriterien berücksichtigten:

- Personenanzahl im Raum
- Fenster- und Türanzahl, mit Vermerk, wenn sie geöffnet wurden
- Evtl. Anschluss von Stromverbrauchern an die Steckdosen
- Erläuterung der Raumbeheizung

- Messung der Raumtemperatur, der Luftfeuchte und des CO₂-Gehaltes
- Messbedingungen Außenklima

Die Befragungen konnten somit im Kontext mit den Beobachtungen ausgewertet werden.

➤ **Beamer/Beleuchtung**

Vor den ersten Strom-Schulungen der Dozenten und der Studierenden wurde erfasst, wie oft die Beleuchtung bzw. der Beamer zwischen den Vorlesungen und nach der letzten Vorlesung am Tag ein- bzw. ausgeschaltet war. Diese Überprüfung wurde auch wieder nach den Strom-Schulungen durchgeführt. Damit konnte überprüft werden, ob die Schulungen im Hinblick auf energierelevantes Nutzerverhalten Erfolg gezeigt haben.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Erfassung der Basisdaten. Die detaillierte Darstellung und Auswertung der psychologischen Daten erfolgt im Berichtsteil der Hochschule Niederrhein.

Tabelle 11: Erfassung psychologischer Basisdaten

	Studierende		Mitarbeiter		Dozenten	
Datum	Nov./Dez. 2013		Nov./Dez. 2013		April/Mai 2014	
Ort	Hörsäle/ Seminarraum		Büros/Technikum		Hörsäle/Seminarraum	
Fragebögen	Einstellung	Komfortempfinden	Einstellung	Rahmenbedingung	Einstellung	Rahmenbedingung
ausgeteilt	322	322	28	28	19	19
ausgefüllt	209	207	14	14	11	10
Rücklauf	ca. 65 %	ca. 64 %	50 %	50 %	ca. 58 %	ca. 53 %
Beobachtungen/ Raumklima	Ja		-		-	
Beamer / Beleuchtung					Vor Strom- schulung April 2014	Nach Strom- Schulung Juni 2014

Fazit Beobachtung Ausschalten Beamer/Beleuchtung:

Tabelle 12: Erstbeobachtung Beamer/Beleuchtung

	Beamer	Beleuchtung
	ausgeschaltet	ausgeschaltet
Vor Strom-Schulung (24 Beobachtungen)	ca. 92 %	ca. 54 %
Nach Strom-Schulung (19 Beobachtungen)	ca. 89 %	ca. 58 %

Die Auswertung „Beamer/Beleuchtung“ zeigt, dass lediglich beim Ausschalten der Beleuchtung zwischen den Vorlesungen und nach der letzten Vorlesung des Tages eine leichte Verbesserung nach den Schulungen stattgefunden hat. Dies lässt den Schluss zu, dass die ersten Strom-Schulungen keine wesentlichen Verhaltensänderungen bei den Dozenten bewirkt haben.

4.3.3.1.7 Usability-Untersuchung als Ergänzung der psychologischen Basisdaten

Zur Ergänzung der psychologischen Basisdaten erfolgte am Umwelt-Campus eine Untersuchung zur Usability der Einzelraumregler (Raumthermostate). Dieser Usability-Test wurde im Rahmen eines studentischen Projektes durch Frank Hillesheim und Thomas Schüler durchgeführt (Hillesheim & Schüler, 2014/2015). Die Einzelraumregler dienen am Hochschulstandort vorwiegend in den Büros, Besprechungsräumen und Seminarräumen der individuellen Heizungsregelung durch Mitarbeiter oder auch Studierende. Diese Untersuchung sollte die Gebrauchstauglichkeit und die Nutzerfreundlichkeit der eingesetzten Regler unter normalen Bedingungen analysieren. Dafür wurden Versuchspersonen, die am Umwelt-Campus arbeiten oder studieren, veranlasst, typische Aufgaben mit dem Testobjekt zu lösen. Bis zur Durchführung des Testes wurde verschwiegen, um welches Testobjekt es sich handelt, damit keine Vorbereitung durch die Probanden stattfinden konnte. Beim Lösen der gestellten Aufgaben wurde dokumentiert, wo Schwierigkeiten bei der Nutzung der Einzelraumregler auftraten, um anschließend Verbesserungen vorschlagen zu können. Der Usability-Test wurde basierend auf den Vorschlägen von (Krug, 2009) durchgeführt.

Bei der Untersuchung musste beachtet werden, dass sich die Einzelraumregler in ihrer Programmierung für die verschiedenen Raumtypen unterscheiden.

Büros:

Hier muss zunächst die Präsenztaste gedrückt werden, um dann im Soll-Menü die gewünschte Temperatur einstellen zu können. Ebenso kann über diese Taste die Solltemperatur direkt wieder auf 16 °C geändert werden. Dies ist beispielsweise am Ende des Arbeitstages sinnvoll.

Vorlesungsräume, studentische Arbeitsräume:

Hier ist die Präsenztaste mit keiner Funktion hinterlegt, weil sich mehrere Personen zu unterschiedlichen Zeiten in diesen Räumen aufhalten. Befindet man sich im Soll-Menü, kann die Temperatur geändert werden.

Funktionen des Einzelraumreglers

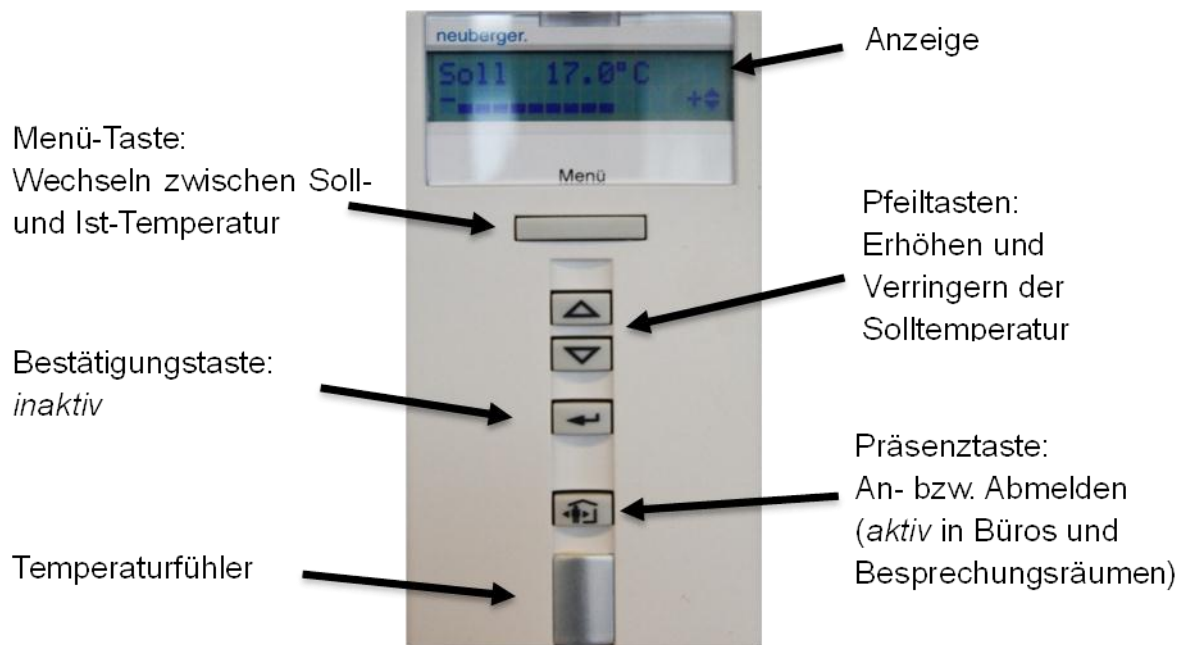


Abbildung 12: Einzelraumregler

Entsprechend dieser zwei Regler-Typen wurden auch die Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt:

- Gruppe Studierende für die Untersuchung mit den Einzelraumreglern ohne Hinterlegung der Präsenztaste
- Gruppe Mitarbeiter/Professoren für die Untersuchung der Einzelraumregler, bei denen die Präsenztaste mit Funktion hinterlegt ist.

Berücksichtigt wurde auch, ob die Probanden Vorwissen bezüglich der Einzelraumregler aufgrund ihrer Tätigkeit am Umwelt-Campus haben. Unter Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte füllten die Probanden jeweils zwei Fragebögen aus. Im ersten ging es um Geschlecht, Alterseingruppierung, Tätigkeit sowie Tätigkeitsdauer am Campus und technische Selbsteinschätzung. Im zweiten wurde nach der bisherigen Nutzungserfahrung der Einzelraumregler und der Selbsteinschätzung bezüglich der Aufgabenbewältigung gefragt. Zudem konnten die Probanden hier Störfaktoren oder auch Verbesserungsvorschläge für die Raumthermostate abgeben.

Bei der Testdurchführung wurde darum gebeten, dass die Testpersonen ihre Überlegungen und Handlungen laut äußern. Mit der Zustimmung der Probanden wurde die Durchführung akustisch aufgenommen und die Hände wurden gefilmt, um die Aus-

wertung zu vereinfachen. Zusätzlich wurde die Zeit festgehalten, die für die Aufgabenbewältigung benötigt wurde.

Die Aufgaben wurden so gewählt, dass alle zu bedienenden Funktionen des Einzelraumreglers auf Nutzerfreundlichkeit überprüft werden konnten.

Ergebnis dieser Usability-Untersuchung

Die Einzelraumregler am Umwelt-Campus Birkenfeld ließen sich von allen Probanden bedienen, obwohl keine Anleitung der Geräte zur Verfügung gestellt wurde. Selbst wenn die richtigen Tasten zur Aufgabenbewältigung durch einige Probanden nicht auf Anhieb gefunden wurden, so konnten die entsprechenden Einstellungen am Einzelraumregler doch nach kurzem Ausprobieren von allen vorgenommen werden.

Bei der Lösung der Aufgaben gab es hinsichtlich des Geschlechtes nur bei den Studierenden einen geringen Unterschied, da die weiblichen Studierenden die Aufgaben etwas schneller als ihre männlichen Kollegen bewältigen konnten. Bei den Mitarbeitern und Professoren gab es hierbei keinen Unterschied.

Weniger überraschend war, dass das Wissen über die Einzelraumregler bei den älteren und schon länger am Campus tätigen Personen ausgeprägter war und diese die Aufgaben auch schneller lösen konnten.

Der Studiengang, das Fachgebiet oder die Art der Tätigkeit am Campus spielte hingegen kaum eine Rolle bei der Aufgabenbewältigung.

Der Usability-Test der Einzelraumregler führte zu folgenden Verbesserungsvorschlägen, mit Hilfe derer die Benutzerfreundlichkeit verbessert werden könnte:

- Leichte Aufhellung des Displays wegen besserer Lesbarkeit bei dunkleren Lichtverhältnissen und ungünstigem Winkel zum Einzelraumregler
- Zur Funktionsverdeutlichung könnte die Menü-Taste eine Beschriftung „Soll / Ist“ erhalten
- Entfernen / Abdecken der Entertaste, da ohne Funktion
- Abdecken der Präsenztaste in den Räumen, wo für diese Taste keine Funktion hinterlegt ist (wie studentische Arbeits-, Computer- und Seminarräume)
- Hinweisschild, damit den Studierenden bewusst wird, dass die Einzelraumregler zur Temperaturveränderung im Raum genutzt werden können

4.3.3.2 Arbeitspaket 2: Umsetzung der geringstinvestiven Maßnahmen

Nach der ersten Messperiode (= Basislinie) und vor der zweiten Messperiode erfolgte die Umsetzung der geringstinvestiven Maßnahmen.

Als geringstinvestiv wurden hierbei Maßnahmen eingestuft, die ohne oder nur mit geringem Hardwareeinsatz auskommen, die also größtenteils mit „Man-Power“ umgesetzt werden können.

4.3.3.2.1 Geringstinvestive Maßnahmen

Tabelle 13 zeigt geringstinvestive Maßnahmen, welche am Umwelt-Campus eruiert und größtenteils umgesetzt wurden. Es handelt sich hierbei um einen Ausschnitt aus der Tabelle „geringst- und geringinvestive Maßnahmen“, die am Umwelt-Campus Birkenfeld aufgestellt wurde. Der Übersichtlichkeit halber wurde auf einige Spalten verzichtet. Die Nummerierung bezieht sich auf die Langversion der Tabelle, die im Anhang als Komplettversion beigefügt ist. Dazu wird auch auf Abschnitt 4.3.3.4.1 verwiesen, der die geringinvestiven Maßnahmen behandelt.

Legende zur Tabelle:

Stichwort: Hinweis, mit welchem Thema/Bereich sich die Problematik bzw. die Maßnahme beschäftigt.

Ausgangssituation/Problematik: Hier wird die Problematik, die den erhöhten Energieverbrauch verursacht, beschrieben.

Mögliche Maßnahmen: Maßnahmen, die die vorhandene Problematik beheben und den diesbezüglichen Energiebedarf senken.

Art der Maßnahme: Hier geht es darum, ob technische () oder umweltspsychologische () Maßnahmen zur Maßnahmenumsetzung angewandt werden.

Energie: Hier wird die zugehörige Energieart (☼ Wärme, ❄ Kälte, ⚡ Strom, 💧 Wasser) definiert.

Raumtyp: Unter dieser Spalte werden die Raumtypen genannt, in denen die genannte Problematik auftreten kann.

Status UCB: Die Symbole (√) zeigen an, dass die entsprechende Maßnahme am Umwelt-Campus Birkenfeld umgesetzt wurde. Ist das Symbol in Klammern gesetzt, bedeutet dies, dass die Maßnahme entweder noch nicht abgeschlossen ist oder die Maßnahme in Teilbereichen umgesetzt wurde.

Tabelle 13: Geringstinvestive Maßnahmen

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
1	Heizung	Heizkörper heizen evtl. auch nachts (z. B. Flure, Technikum)	Überprüfung der Vorlauftemperatur/ Nachtabsenkung und der Ventile		☼	Alle	√
2a	Heizung		Überprüfung der GLT wegen Temperatursollwert oberhalb der Raumtemperatur + Prüfung der Ventile		☼	Büro	√
2b	Heizung	Bürobeheizung von verschiedenen Räumen auch im Sommer	Information der Raumnutzer auf bestehende Beheizungssituation; "Bedienhinweise Einzelraumregler" in jedes Büro		☼		√
2c	Heizung		Überprüfung der Einzelraumregler wegen erhöhten Heizkörpertemperaturen		☼		√

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
3	Heizung	Zeitschaltpläne Heizung: Nacht- und Wochenendabsenkung?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich Zeitschaltpläne (Nacht- u. Wochenendabsenkung)		☼	Alle	✓
4	Heizung	Heizkurven richtig eingestellt? / Vorlauftemperatur? / Hydraulischer Abgleich?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich der Heizkurven / Vorlauftemperaturen / hydraulischer Abgleich sinnvoll?		☼	Alle	✓
5	Heizung	Abschaltung der Heizung im Sommer?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich ggf. vollst. Abschaltung im Sommer		☼	Alle	(✓)
6	Heizung	Heizung an konkreten Bedarf angepasst?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich Optimierung des konkreten Bedarfs		☼	Alle	✓
7a	Heizung / Lüftung	Hörsäle und Seminarräume werden ganztags beheizt (und z. T. belüftet) auch wenn keine Vorlesung bzw. Seminar darin stattfindet	Anpassung der Heiz- und Lüftungszeiten an den Belegungsplan Engere Abstimmung zwischen Raumbelegung und GLT		☼; ❄	Hörsaal, Seminarraum	✓
7b	Heizung / Lüftung		Erstellen eines Rankings der Hörsäle und Seminarräume bzgl. ihrer Energieeffizienz; Belegung vorrangig von effizienten Räumen (Meidung von ineffizienten großen Räumen bei kleineren Gruppen)		☼; ❄		
8	Heizung / Kühlung	Eventuell gleichzeitige Beheizung (Heizung) und Kühlung (Lüftung) der Hörsäle	Überprüfung der Einstellungen und der Ventile		☼; ❄	Hörsaal	✓
10	Lüftung	In den Hörsälen läuft nachts etwa zwei Stunden die Lüftung	Überprüfung der Steuerung der Lüftung		☼, ❄,	Hörsaal	✓
11	Lüftung	Allgemein: Lüftungsanlage richtig eingestellt?	Überprüfung der Lüftungsanlagen unter Berücksichtigung von Sollwerten der Luftqualität, Temperatur, Betriebszeiten, Volumenstrom, Druckverlust etc. und ggf. Neueinstellung.		☼, ❄,	Hörsaal	✓
13	Kühlung	Können Kühllasten reduziert werden?	Kälteanlagen: Reduzierung der Kühllasten, insbes. durch Nutzung von Verschattungen im Sommer.		❄	Hörsaal	✓
14	Pumpensysteme	Pumpensysteme an konkreten Bedarf angepasst?	Überprüfung der Pumpensysteme u. Anpassung an den tats. Bedarf.		☼;	Alle	
15	Heizung	Heizkörper, vornehmlich im Aufenthaltsbereich, sind stark verschmutzt/verstaubt	Reinigen der Heizkörper		☼	Alle	
16a	Heizung / Regelung	Unterschiedliche Regelung der Heizkörper in einem Raum (z. B.	Nebenraum: Abregelung des Heizkörpers mit Heizkörperthermostat		☼	Nebenraum	✓

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
	lung	Einzelraumregler (Heizkörperthermostat) z. B. Archiv, Büro Evtl. Heizkörperthermostat hochgedreht ohne Nutzung Raum.					
18a	Heizung / Einzelraumregler	Raumthermostate nicht genutzter Räume stehen evtl. nicht auf 16 °C	Kontrolle eingestellte Temperatur Raumthermostate für nicht genutzte Räume (16 °C?)		⚙	Alle	✓
19	Heizung	Nebenträume: Thermostat der Heizkörper, die nicht über Raumthermostat geregelt werden, stehen evtl. auf "5"	Thermostatventile auf bestimmter Stufe arretieren		⚙	Nebenträume (Archive, WCs, Flure)	✓
20c	Heizung	Flure, Treppenhaus: Heizkörper in den Fluren werden oft hoch aber dann nicht mehr runtergedreht (z. B. auch Treppenhaus)	Thermostatventile auf bestimmter Stufe arretieren		⚙	Flure, Treppenhaus	✓
21a	Heizung / Fenster	WCs / Duschen: Dauerkippstellung der Fenster in den WCs und die Heizkörper sind aufgedreht	Hinweisschilder an den Fenstern anbringen (Sensibilisierung von Studierenden und Mitarbeitern)		⚙	Nebenträume (WCs, Duschen)	✓
21c	Heizung / Fenster		Thermostatventile auf bestimmter Stufe arretieren		⚙		✓
22	Heizung / Fenster	PC-Pools, Seminarräume: abends sind oft die Fenster gekippt (und die Heizung läuft)	Hinweisschild an die Tür als Erinnerung, die Fenster zu schließen		⚙	PC-Pool, Seminarraum	✓
23b	Lüftung mittels Fenster	Falsche Lüftung und deswegen höhere Heizkosten	Sensibilisierung der Nutzer (z. B. Informationsveranstaltungen, Hinweisschilder)		⚙	Büro, Hörsaal, Seminar- u. stud. Arbeitsraum	✓
24a	Türen	Türen sind nicht geschlossen, z. B. Türen Seminarraum nach den Veranstaltungen bzw. in der vorlesungsfreien Zeit (hoher Wärmeverlust)	Hinweisschilder an den Innenseiten der Türen anbringen, dass bei Verlassen des Raumes die Türen geschlossen werden sollen.		⚙	Seminarraum	✓

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
25	Türen	Arretierung der Zwischentüren → keine selbstständige Türschließung mehr möglich (hoher Wärmeverlust)	Anbringen eines Hinweisschildes, dass die Zwischentür bei Öffnung nicht arretiert werden soll		⚙	Flure	✓
26	Türen	Keine dichte Schließung von Außentüren	Türschließer/-band überprüfen		⚙	Flure	
27	Sensoren	Allgemein: Sind Sensoren richtig eingestellt?	Testen von bereits vorh. Sensoren (Präsenzmelder, Taster, Temperaturfühler, etc.) u. Verbesserung ihrer Wirksamkeit bzgl. Energieeinsparpotenzial, z. B. durch Anpassung der Schaltzeiten.		⚙;	Alle	✓
29	Sensoren	In einigen Fluren ist tagsüber - unmittelbar in Fensternähe - die Beleuchtung unnötigerweise eingeschaltet; die dazugehörigen Bewegungsmelder reagieren nicht immer oder sind falsch eingestellt (oder defekt?)	Überprüfung der entsprechenden Bewegungsmelder			Flure	
30a	Beleuchtung	Beleuchtung in den Hörsälen und Seminarräumen sowie in den WCs (und Duschen) ist nicht durch Bewegungs- oder Tageslichtsensoren geregelt. Sie ist oft eingeschaltet, obwohl sie nicht benötigt wird	Anbringen von entsprechenden Hinweisschildern, damit das Licht bei Verlassen des Raumes ausgeschaltet wird			Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	✓
30b	Beleuchtung		Sensibilisierung der Nutzer durch Schulungen				✓
30c	Beleuchtung		Zentralbefehl zum Ausschalten der Beleuchtung von 22 auf 20 Uhr			Nebenraum (WCs)	
30d	Beleuchtung		Zusätzliche frühere automatisierte Abschaltung der Beleuchtung			Seminarraum	
31c	Beleuchtung	<u>Technikum:</u> Hoher Stromverbrauch der Beleuchtung; Veraltete Beleuchtungstechnik mit hoher Leistungsaufnahme, komplette Beleuchtung oft eingeschaltet, obwohl niemand in der Halle ist; Arbeitsplatzleuchten sind alle zusammengeschaltet	Sensibilisierung der Mitarbeiter das Licht auszuschalten, wenn niemand mehr in der Halle ist; Hinweisschilder			Technikum	✓

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
32b	Beleuchtung / Lichtschalter	Funktionsbelegung Taster unterschiedlich	Beschriftung der Schalter („aus“, „ein“, „dimmen“)			Alle	
34a	Computer	Nicht alle PCs schalten sich in den Energiesparmodus bei längerer Nichtnutzung + es dauert sehr lange bis die PCs in den Energiesparmodus wechseln (z.B. erst nach 30 Minuten im Energiemodus "Ausbalanciert" in Windows7)	Überprüfung und Anpassung der Energieoptionen aller Mitarbeiter-PCs durch das Rechenzentrum			Büro	√
34b	Computer		Schulung der Mitarbeiter zur eigenständigen Anpassung der Energieoptionen				√
35a	Computer	<u>Bibliothek:</u> Die Computer der Bibliothek lassen sich nicht ausschalten; dies geschieht erst nach Feierabend (22 Uhr) per Zentralschalter. Nutzer können sich lediglich abmelden und den Bildschirm ausschalten.	Modifizierung der Betriebssysteme um PCs eigenständig ausschalten zu können	Rechenzentrum		Bibliothek / Nebenraum	
35b	Computer		<ul style="list-style-type: none"> • Erinnerungszettel an Nutzer den Bildschirm auszustellen • Hinweisschilder bzw. Aufkleber 				
36	Kopierer	Einige Kopierer sind spät abends noch eingeschaltet	Energiespareinstellungen der Geräte überprüfen Prüfen: Können Zeitschaltpläne hinterlegt werden?			Nebenraum	(√)
37	Kopierer	<u>Bibliothek:</u> Die Geräte im Kopiererraum der Bibliothek sind dauerhaft eingeschaltet	Stand-by-Betrieb manuell aktivieren und Abwärme der Geräte für die Bibliothek nutzen, indem die Tür aufgelassen wird		☼	Bibliothek / Nebenraum	
39	Stromverbraucher/ Betriebszeiten	Anormale Betriebszeiten von Stromverbrauchern (Stromverbraucher verbrauchen auch zu Zeiten Strom, zu denen sie normalerweise nicht/kaum in Betrieb sein dürften)	Einrichtung von Grenzwerten für Stromverbräuche elektrischer Verbraucher (Grenzwerte für nachts und sonntags). Meldung bei Überschreitung des Grenzwertes			Alle	√

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
40	Funkrouter	Funkrouter für Schließsystem werden ständig mit Strom versorgt, auch dann, wenn sie nicht benötigt werden	Steuerung der Funkrouter durch das Rechenzentrum (Stromversorgung über Ethernet POE), Ausschaltung der entsprechenden Ports, wenn Router nicht benötigt werden			Flure	
41	Aufzüge	Die 3 Aufzüge sind ständig in Betriebsbereitschaft	Abschaltung der Aufzüge nachts sowie an Tagen, an denen der Campus geschlossen ist			Flure, Treppenhaus	
42a	Beleuchtung/ Aufzüge	Die Kabinenbeleuchtung der 3 Aufzüge (jeweils 8 Halogenstrahler) ist ständig eingeschaltet	Intelligente Steuerung der Kabinenbeleuchtung (das Kabinenlicht wird nur bei Anforderung des Aufzugs eingeschaltet und bei Nichtgebrauch des Fahrstuhls wieder deaktiviert)			Flure, Treppenhaus	
45	Waschmaschinen/ Trockner	Wohnheime: Die Waschmaschinen & Trockner in den Wohnheimen sind durchgehend bzw. sehr häufig an	Informationszettel an Studierende mit der Bitte, die Geräte ggf. nach Gebrauch auszuschalten, Hinweisschild bzw. Aufkleber			Nebenraum	
47	Wasserhähne	Wasserhähne in den WCs sind mit Selbstschlussventilen ausgestattet: Nachlaufzeit?	Nachlaufzeit kontrollieren und ggf. ändern		●	Nebenraum (WCs)	✓
48	Toiletenspülkästen	Toiletenspülkästen mit Spartasten: Zuordnung Sparfunktion zu der entsprechenden Taste nicht eindeutig erkennbar.	Hinweisschild bzw. Aufkleber mit Anleitung für richtigen Gebrauch anbringen		●	Nebenraum (WCs)	✓
49a	allg. Energiesparen	Evtl. Unwissenheit, wie Energie eingespart werden kann	Informationsblatt für alle neuen Mitarbeiter ("Verknüpfung "Umwelt"-Campus)		☀, ❄	Alle	✓
49b	allg. Energiesparen		• Schulungen • Workshops		☀, ❄		(✓)
50	allg. Energiesparen	Fehlende Abstimmung zwischen den verschiedenen Stellen der Hochschule	• Förderung der internen Kommunikation • Schulungen • Workshops		☀, ❄	Alle	

4.3.3.2.2 Beschreibung ausgewählter Maßnahmen aus Tabelle 13

Maßnahme 1: Überprüfung der Nachtabenkung, Vorlauftemperaturen und der Ventile an den Heizkörpern

Um auszuschließen, dass Heizkörper auch nachts heizen, wurde mit der Betriebstechnik vereinbart, sowohl die Nachtabenkung und die Vorlauftemperaturen als auch die Heizkörperventile auf Funktionsfähigkeit zu prüfen. Mit der Überprüfung der Ventile, der Gebäudeleittechnikdaten und der Temperaturwerte an den Einzelraumreglern wurden damit auch gleichzeitig sonstige Fehlheizzeiten, wie beispielsweise Heizen im Sommer, ausgeschlossen (vgl. Maßnahme 2a und 2c). Aufgrund der Maßnahme wurden verschiedene Heizkörperventile ausgetauscht, damit die korrekte Wärmezufuhr wieder gewährleistet war.

Maßnahme 10: Deaktivierung der nächtlichen Lüftung

Im Fall der Hörsäle wurde durch die Analyse der Daten der installierten REGENA-Piloten eine Geräuschentwicklung jede Nacht zwischen zwölf und zwei Uhr festgestellt. Nach Rücksprache mit der Gebäudetechnik konnte ausgeschlossen werden, dass sich zu diesem Zeitpunkt Wachpersonal in den Räumen aufhielt. Eine andere Ursache des Geräuschs wurde in der Lüftung vermutet. Untersuchungen des Schaltprotokolls der Gebäudeleittechnik ergaben, dass die Lüftung in diesem Zeitraum betrieben wurde.

Der Versuch der Gebäudetechniker, die Lüftung im genannten Zeitraum abzustellen, gelang jedoch auch nach mehreren Versuchen nicht.

Erst die Rücksprache mit dem Hersteller und dessen technischem Service ergaben eine im geschützten Bereich der Steuerung abgelegte Schaltzeit. Diese konnte jedoch nicht durch den Service vor Ort entfernt werden. Erst ein Zugriff über den Fernwartungskanal (Internetanbindung) hat dazu geführt, dass die nächtliche Lüftung deaktiviert wurde.

Ein Vergleich der Fragebögen zum Komfort der Hörsäle hat gezeigt, dass es keine Veränderung zu der Zeit vor Abstellen der nächtlichen Lüftung gab. Ein Komfortverlust liegt also bei Abschaltung nicht vor.

Die Ursache für diese fixen Zeitschaltpunkte bleibt unklar. Sie könnte aber darin liegen, dass infolge einer Überprüfung durch den Service Testschaltzeiten gesetzt wurden, ohne nachträglich entfernt worden zu sein. Infolge dessen wurde der Anschluss der Fernwartung getrennt. Es wird seit dem nur in Absprache mit dem technischen Service eine Verbindung für die voraussichtliche Dauer des Zugriffs eingerichtet. Diese Maßnahme soll verhindern, dass eine unbeobachtete Änderung der Schaltzeiten vorgenommen wird.

Um generell Fehlfunktionen der Lüftungsanlage zu erkennen, wurde im Mai 2015 ein Grenzwert pro Tag für den Stromverbrauch der Lüftungsanlage eingerichtet. Dafür wurde der aus Messungen vorhandene Maximalverbrauchswert mit einem geringen Aufschlag versehen. Das System meldet, sobald dieser Wert überschritten wird. Damit ist ein direktes Eingreifen möglich.

Maßnahme 40: Ständige Stromversorgung der Funkrouter des Schließsystems (Beispiel für eine nicht umgesetzte Maßnahme)

Die am Umwelt-Campus verwendete elektronische Schließanlage mit Funktranspondern benutzt eine gesonderte Funkprogrammierung. Das Funknetzwerk besteht aus einhundert verteilten Routern in den Gebäudeteilen. Werden für betreffende Türschließzylinder die Transponderberechtigungen geändert, erfolgt dies mittels Netzwerksoftware und über die entsprechend nächstgelegenen Repeater. Da außerhalb der Dienstzeiten der Betriebstechnik, welche für die Transponderberechtigungsverwaltung verantwortlich ist, keine unmittelbare Notwendigkeit für den Betrieb der Repeater besteht, wurde evaluiert, welche Effizienzmaßnahme erfolgen könne, um den nächtlichen Betrieb zu gestalten.

Eine telefonische Rückfrage beim Hersteller des Schließanlagensystems hat ergeben, dass technisch gesehen eine Abschaltung des wavenet-Routers in nur zwei Fällen ausgeschlossen ist.

- a) *Die Schließzylinder senden eine Meldung über den Schließzustand an das System (sog. Door-monitoring-Zylinder)*
- b) *I/O-Router werden verwendet, welche im Brandfall einen Öffnen-Befehl an die Schließzylinder senden.*

In Rücksprache mit der Betriebstechnik des UCB waren die beiden genannten Voraussetzungen am Standort nicht gegeben.

Einwände des Herstellers gab es hingegen bezüglich der Lebensdauer der Batterien der Schließzylinder. Es sei möglich, dass eine erhöhte Anzahl erfolgloser Versuche, Funkkontakt mit den abgeschalteten Routern herzustellen, die Haltbarkeit signifikant verkürzt. Eine genaue Angabe dazu sei vom konkreten Anwendungsfall abhängig, bspw. kann bei vielen Schließvorgängen die Belastung durch die Funkübertragung vernachlässigt werden.

Erfahrungen der Betriebstechnik nennen Batterie-Haltbarkeiten von 18 Monaten. Wird eine geringe Reduzierung der Haltbarkeit von 10 % bzw. zwei Monaten angenommen, ergibt das in zwölf Jahren einen Mehraufwand von 2.000 Batterien mit entsprechendem Montageaufwand und Ressourcen- als auch Entsorgungsbedarf.

Demgegenüber kann eine konkrete Energieeinsparung in zwölf Jahren von 8.760 kWh gestellt werden. Entsprechend dem aktuellen Strompreis des Standorts (Stand 2015) wären dies etwa 1.500 €.

Der administrative Aufwand für die einzelne Portabschaltung/-anschaltung muss an jedem Switch betrieben werden, in der Summe also 35mal. Jede Änderung an den Abschaltzeiten muss wiederum 35mal erfolgen. Summarisch wurde dieser Aufwand als zu hoch angesehen und daher diese Maßnahme am Umwelt-Campus Birkenfeld nicht umgesetzt. Sie kann je nach Rahmenbedingungen aber für andere Einrichtungen mit komplexen Schließeinrichtungen relevant sein.

Maßnahme 48: Zuordnung Spartasten Toiletten



Abbildung 13: Aufkleber Wasserspartasten

Vereinzelt wurden in den Toiletten des Umwelt-Campus geteilte Spültasten montiert. Es ist allerdings bei der Nutzung aufgefallen, dass die „Spartaste“ kaum von der anderen zu unterscheiden ist. Deshalb wurden am Umwelt-Campus Aufkleber entworfen, die auf humorvolle Weise den Unterschied verdeutlichen. Diese Aufkleber wurden im November 2014 angebracht.

4.3.3.3 Arbeitspaket 3: Psychologische Interventionen

4.3.3.3.1 Schulungen

Die Schulungsunterlagen wurden vom Verbundpartner Hochschule Niederrhein entworfen und vom Umwelt-Campus Birkenfeld auf die eigenen hochschulspezifischen Gegebenheiten angepasst.

Die Schulungen sollten, wenn notwendig, die mentalen Modelle der Nutzer korrigieren. Es hat sich dabei als sinnvoll erwiesen, die Informationsveranstaltungen zielgruppenspezifisch und jahreszeitlich angepasst durchzuführen.

Es wurde zwischen Strom- und Wärme-Schulungen unterschieden. Die Strom-Schulungen, auch Strom-Informationsveranstaltungen genannt, wurden jeweils im Frühjahr/Sommer und die Wärme-Informationsveranstaltungen jeweils im Herbst/Winter, also in der kalten Jahreszeit, angeboten. Es hat sich herausgestellt, dass die Motivation der Nutzer, an solchen Veranstaltungen teilzunehmen, im Verhältnis zu der Anzahl der Schulungen sinkt, sodass es nicht sinnvoll war, noch mehr Informationsveranstaltungen pro Jahr anzubieten.

Die Schulungen richteten sich an die Nutzer der im Forschungsprojekt zu untersuchenden Gebäudeteile. Es wurde zwischen Mitarbeiter, Dozenten und Studierenden unterschieden, auf die die Schulungsunterlagen entsprechend angepasst wurden. So wurde z. B. für die Mitarbeiter des ausgesuchten Fachbereichsverwaltungsgebäudes die Strom- und Wärmeverbräuche der dortigen Räume präsentiert, während den Do-

zenten und Studierenden die entsprechenden Verbräuche für die Hörsäle und den Seminarraum gezeigt wurden.

Die Schulungen für die Mitarbeiter wurden vor Ort durchgeführt, um die Hemmschwelle zum Teilnehmen so gering wie möglich zu halten. Zusätzlich erhielten alle relevanten Mitarbeiter die Schulungsunterlagen wieder per E-Mail zugesandt. Um die Studierenden besser zu erreichen, wurden diese vorwiegend von einer wissenschaftlichen Hilfskraft vor verschiedenen Vorlesungen über das Energiesparen informiert. Da es aus zeitlichen und organisatorischen Gründen fast unmöglich war, die Dozenten zu einem gemeinsamen Schulungstermin zu bitten, wurde entschieden, dass diese per E-Mail mit zusätzlichen Erläuterungen „geschult“ werden.

Die Schulungen verfolgten folgende Ziele:

- Reduktion der Energieverbräuche (Strom und Wärme) und damit CO₂-Einsparung
- Sensibilisierung der Nutzer gegenüber Energieverbräuchen

Die Umsetzung der Ziele erfolgte in den Schulungen mit folgenden Schritten:

- Vermitteln der Strom- und Wärmeverbräuche am Umwelt-Campus Birkenfeld
 - Energiebedarf und deren Kosten des jeweiligen Vorgängerjahres am gesamten Umwelt-Campus Birkenfeld
 - Energiebedarf in den abgeschlossenen Messperioden, getrennt nach Raumnutzungstypen (Summe Büros, Seminarraum, Hörsäle, Technikum). Bei den Wärme-Schulungen wurde auch der entsprechende Wärmebedarf für die Flure, die Sozialräume, die Besprechungsräume, die Technikräume und der Archive/Lager offengelegt.
Ziel war es, die Nutzer für den Energiebedarf zu sensibilisieren und den Nutzern hierüber ein Feedback „ihres“ Energieverbrauchs zu geben. Dies sollte, gerade wenn der Energiebedarf aufgrund von Änderungen des Nutzerverhaltens gesunken ist, motivierend auf die Nutzer wirken.
- Aufzeigen von nutzerrelevanten Energieverbräuchen, mit Weitergabe von Verhaltensmaßnahmen, wie diese Energieverbräuche gesenkt werden können.
- Zusätzlich wurden einige Grundlagen zur Energie erläutert, um das Verständnis der Nutzer zu erhöhen. Z. B. wurde dabei anhand von Beispielen aus dem Alltag erläutert, was einer kWh in anderen Zusammenhängen (bspw. Haushaltsgeräte) entspricht.
- Zur Auflockerung und zur verbesserten Erinnerung wurden in die Schulungen Fragen integriert, welche mit dem am Umwelt-Campus Birkenfeld entwickelten Abstimmungssystem „Stuplo“ beantwortet werden konnten. Dabei bekam jeder Teilnehmer ein Gerät zur Hand, über das er eine der vier Auswahlmöglichkeiten anklicken konnte. Das Ergebnis der Abstimmung wurde dann direkt in der Schulung als Balkendiagramm gezeigt und erläutert.
- Ausgewählte interessante Befragungsergebnisse zur Nutzereinstellung gegenüber Energiesparen und zu den Verhaltensweisen bezüglich Energieeinsparung am Arbeitsplatz wurden den Teilnehmern präsentiert und diskutiert.

- Es wurden Tipps zum Energiesparen weitergegeben, welche keine oder nur geringe Komforteinbußen der Nutzer bedeuten.

Die nachfolgende Grafik zeigt schematisch den Inhalt und das Ziel der Schulungen.

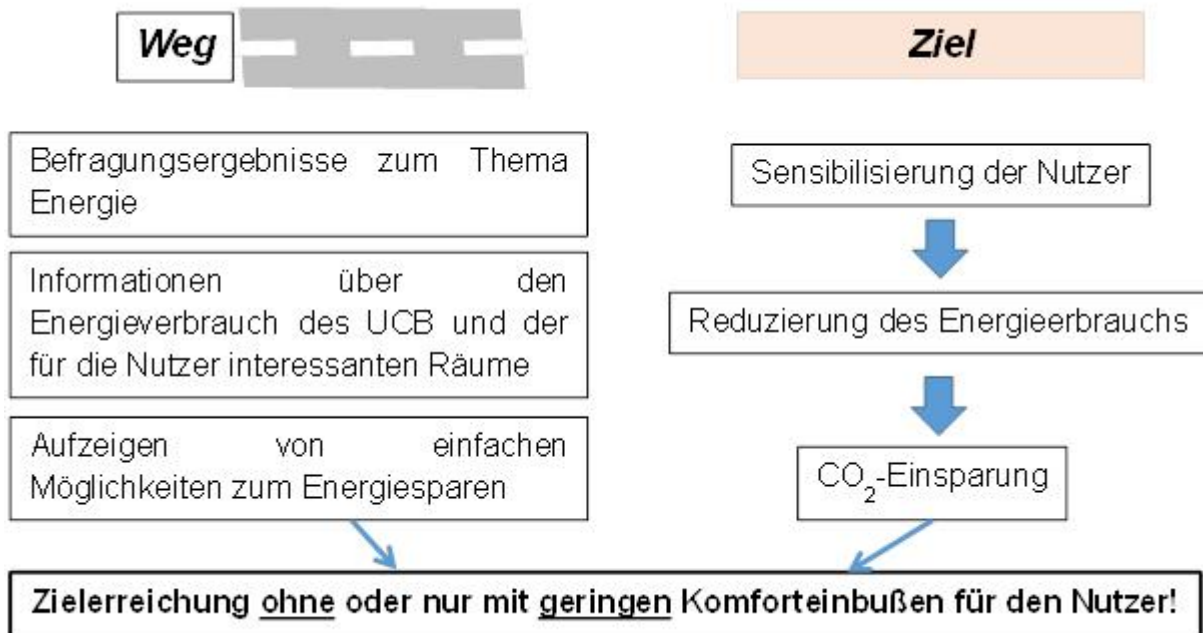


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Schulungsinhalte und –ziele

Tabelle 14 zeigt die am Umwelt-Campus Birkenfeld durchgeführten Schulungen und deren Teilnehmer.

Tabelle 14: Schulungen am Umwelt-Campus Birkenfeld

	1.Stromschulung			1. Wärmeschulung			2.Stromschulung			2.Wärmeschulung		
Da- tum	Mai/Juni 2014			Okt./Nov. 2014			Juni 2015			Okt./Nov. 2015		
Nut- zer- grup- pen	Mit- ar- bei- ter	Do- zen- ten	Stu- die- rende	Mit- ar- bei- ter	Do- zen- ten	Stu- die- rende	Mit- ar- bei- ter	Do- zen- ten	Stu- die- rende	Mit- ar- bei- ter	Do- zen- ten	Stu- die- ren- de
An- zahl Ein- gela- dene	30	alle	alle	28	alle	alle	30	alle	alle	29	alle	alle
An- zahl Teil- neh- mer	9	46 per Mail	39	3	48 per Mail	71	3	40 per Mail	54	3	49 per Mail	80

Aus Tabelle 14 ist ersichtlich, dass die Motivation, an solchen Veranstaltungen teilzunehmen, eher gering ist. Auffällig ist auch, dass die Teilnehmerzahl bei den Mitarbeitern nach der ersten Schulung stark zurückgegangen ist. Die Anzahl der Studierenden ergab sich aus den Studierenden, die die entsprechenden Vorlesungen besuchten; die der Dozenten aus denjenigen, die in den ausgewählten Hörsälen bzw. dem ausgesuchten Seminarraum unterrichten.

4.3.3.3.2 Optische Hinweisreize

Unter Hinweisreizen werden optische Aufforderungshinweise zu energiesparendem Verhalten verstanden. Diese Hinweise in Form von Aufklebern oder Postern wurden vor bzw. zu Anfang der zweiten Messperiode „Wärme“ angebracht.

Dazu gehören:

- Aufkleber für Fenster und Türen, PCs sowie Drucker, die die Hochschule Niederrhein entworfen hat und dem Umwelt-Campus zur Verfügung gestellt hat. Diese kleinen, in grün gehaltenen Aufkleber, weisen darauf hin
 - den Drucker auszuschalten,
 - die Energiesparfunktion des Computers zu nutzen bzw. den Computer während den Pausen runterzufahren,
 - das elektrische Gerät vom Stromnetz zu trennen,
 - das Licht bei Verlassen des Raumes auszuschalten,
 - öfter mal quer zu lüften und
 - beim Lüften die Heizkörper herunter zu regulieren.

Diese Aufkleber wurden am Umwelt-Campus an stark frequentierten Orten ausgelegt. Parallel dazu wurden die entsprechenden Mitarbeiter und Professoren des untersuchten Fachbereichsverwaltungsgebäudes per E-Mail gebeten, diese zu nutzen. Zusätzlich wurden die Energiesparaufkleber, die die Drucker und den Computer betreffen, dem Rechenzentrum zur Verfügung gestellt, die diese auf neue oder reparierte Geräte aufbrachten.

- Die vom Projektpartner Hochschule Niederrhein entworfenen Plakate mit Hinweisen zum Energiesparen wurden sowohl in den zu untersuchenden Gebäudeteilen aufgehängt als auch an Stellen, wo sie durch eine starke Nutzer-Frequentierung eine Wirkung erzielen konnten.
- Zusätzlich wurden Hinweise angebracht, die daran erinnern sollen, das Licht auszuschalten oder die Fenster und Türen zu schließen.
 - Die Hinweise zur Beleuchtung wurden in den WCs des ausgesuchten Gebäudes und in den ausgewählten Hörsälen angebracht, da die Beleuchtung hier nicht über Bewegungssensoren geregelt ist.
 - Im untersuchten Seminarraum standen vor Anbringung von Obentürschließern (Tabelle 19: Geringinvestive Maßnahmen, Maßnahme 24b) häufig die Türen offen, was zu Wärmeverlust im Raum und erhöhter Heizungstätigkeit führte. Deshalb wurden an diese Türen Hinweise angebracht, mit der Bitte die Türen zu schließen.
 - Die Hinweise zum Fensterschließen wurden in den WCs des relevanten Gebäudes angebracht, da dort oftmals die Fenster offenstanden, obwohl die Heizung hochreguliert war:



Abbildung 15: Fensteraufkleber mit Erinnerung zur Schließung

Dieser Hinweis, das Fenster zu schließen, zeigt auch wie wichtig es ist, die Hinweise so klar wie möglich zu gestalten. So veranlasste diese Hinweisleiste beispielsweise die Nutzer bisweilen dazu, die Fenster gar nicht mehr zu öffnen. Erst ein erläuternder Hinweis, wie dieser Aufkleber zu verstehen ist, schaffte Abhilfe.

- In den Büros wurden Erläuterungen zur korrekten Bedienung der Einzelraumregler angebracht. Diese enthielten sowohl die Abbildung des Einzelraumreglers mit Angabe der Tastenfunktionen, wie sie unter dem Punkt 4.3.3.1.7 „Usability-Untersuchung“ dargestellt ist, als auch Hinweise zur Heizungsregelung. Dies betraf z. B. das morgendliche Vorheizen der Büros für eine Stunde. Gleichzeitig wurde der Ansprechpartner bei Änderungswünschen oder auftretenden Problemen angegeben.

4.3.3.3 Feedback von individuellen Verbräuchen

Um eine Verfestigung neuer Verhaltensweisen zu erreichen, wurden den Nutzern ihre nutzerspezifischen Verbrauchsdaten bezüglich Strom und Wärme anonymisiert als Feedback bekannt gegeben. Dies geschah unter Berücksichtigung des Datenschutzes.

Folgende Möglichkeiten zum Feedback wurden wahrgenommen:

- In den zweimal pro Jahr stattfindenden Schulungen in den ausgewählten Gebäudeteilen wurden den entsprechenden Mitarbeitern, den Dozenten sowie den Studierenden der Energieverbrauch des Umwelt-Campus des jeweils vorangegangenen Jahres mitgeteilt. Dabei wurden im Frühjahr/Sommer, bei den Stromschulungen, die Stromverbräuche und im Herbst/Winter, bei den Wärmeschulungen, die Wärmeverbräuche offengelegt. Zusätzlich zu den Komplettverbräuchen des Hochschulstandortes erhielten die Nutzer auch die Strom- und Wärmeverbrauchswerte ihrer genutzten Raumtypen.
 - Die Mitarbeiter des Fachbereichsverwaltungsgebäudes wurden über den Stromverbrauch, getrennt nach Beleuchtung, EDV und sonstigen elektrischen Verbrauchern, in ihren Büros informiert. Um dem Datenschutz Rechnung zu tragen, wurde hierbei die Summe aller Büros dieses Gebäudes betrachtet. Bei der Wärmeschulung wurden diese Räume noch um die Flure, die Sozialräume, die Besprechungsräume, die Technikräume und die Archive/Lager ergänzt, da auch dort Einsparpotenzial durch die Nutzer gegeben war.
 - Die Dozenten und Studierenden erhielten den Strom- und Wärmeverbrauch ihrer genutzten Hörsäle bzw. des Seminarraumes.

Diese raumtypen- und nutzerspezifischen Verbrauchswerte Strom und Wärme wurden für die jeweils vorangegangenen Messperioden aufgezeigt. Abhängig, ob sich der Energiebedarf in der jeweils aktuellen Messperiode verbessert oder verschlechtert hat, konnte daraus ein Anreiz für die Nutzer geschaffen werden, Energie einzusparen.

- Zusätzlich wurden Wärmeverbrauchsgruppen für die Büros des untersuchten Fachbereichsverwaltungsgebäudes festgelegt und der Anzahl der Büros zugeordnet, deren Wärmeverbrauch dieser Gruppe entspricht. Diese Grafik „Anzahl Büros nach Wärmeverbrauchsklassen“ wurde den entsprechenden Nutzern Anfang Dezember 2015 per E-Mail zur Verfügung gestellt, mit der Möglichkeit, unter Einhaltung des Datenschutzes, ihre eigene Verbrauchsgruppe zu erfragen. Dieses Angebot wurde allerdings nur von einem Nutzer genutzt. Die versendete Grafik ist in Abbildung 21: Feedback Wärmeenergiebedarf für Büros) zu sehen.
- Für den Seminarraum wurde eine Luftgüteampel (vgl. Abbildung 22: Luftgüteampel) entworfen, die anzeigt, wenn ein CO₂-Schwellwert überschritten wird. Hierauf wird in Abschnitt 4.3.3.4.4 näher eingegangen.

Bei Bekanntgabe der Verbräuche waren die Vorgaben des Datenschutzbeauftragten zu beachten. Daher sind weitergehende individuelle Feedback-Maßnahmen bezüglich des Energieverbrauches an die Nutzer problematisch und können nicht vom For-

schungsteam direkt, sondern nur über eine Pseudonymisierung bspw. der Betriebs-technik vorgenommen werden.

4.3.3.3.4 Befragungen/Beobachtungen

Jeweils nach den Schulungen wurden die Nutzer der ausgesuchten Gebäudeteile befragt und es wurden, zeitgleich zu den Befragungen, Verhaltensbeobachtungen in den Hörsälen und im Seminarraum durchgeführt sowie dortige Raumklimadaten erfasst.

Die Vorgehensweise und die verwendeten Materialien entsprachen dabei weitestgehend den Erstbefragungen bzw. den Erstbeobachtungen.

Bezüglich des zeitlichen Zusammenhangs zwischen den Befragungen/Beobachtungen und den angebotenen Schulungen wird auf Abbildung 5: Zeitplan des Vorhabens am Umwelt-Campus Birkenfeld verwiesen.

Nachfolgend werden die verwendeten Fragebögen im Unterschied zu den Erstbefragungen kurz erläutert und angegeben, an wen diese verteilt wurden:

- Fragebogen zu Einstellungen und Verhaltensintentionen zum Energiesparen (EVE)

Der Fragebogen, wurde, wie auch bei den Erstbefragungen, an Mitarbeiter, Dozenten und Studierende der ausgewählten Gebäudeteile verteilt.

- Fragebogen zu Umgebungsbedingungen/tatsächlichem Verhalten bezüglich Energiesparen (UVE) = Rahmenbedingungen bzw. Komfortempfinden am Arbeitsplatz

Am Umwelt-Campus wurden diese Fragebögen um die Fragen ergänzt, ob an den Informationsveranstaltungen teilgenommen wurde und ob die REGENA-Hinweise zum Energiesparen aufgefallen sind.

➤ Rahmenbedingungen am Arbeitsplatz

Dieser Fragebogen, der die Umgebungsbedingungen und das Verhalten am Arbeitsplatz bezüglich Energiesparen abfragt, wurde an die Mitarbeiter des ausgewählten Fachbereichsverwaltungsgebäudes verteilt. Zum genaueren Inhalt des Fragebogens siehe Abschnitt 4.3.3.1.6.

➤ Komfortempfinden am Arbeitsplatz

Dieser – im Vergleich zum Fragebogen „Rahmenbedingungen“ wesentlich kürzere – Fragebogen, beschäftigt sich mit dem klimatischen Empfinden der Nutzer den Hörsälen bzw. im Seminarraum. Zum genaueren Inhalt des Fragebogens wird auf Abschnitt 4.3.3.1.6 verwiesen.

Dementsprechend wurde der Fragebogen an die Studierenden und Dozenten in den ausgewählten Hörsälen und dem Seminarraum verteilt. Dabei wurde, je nach Jahreszeit, in der die Befragungen stattfanden, zwischen der Sommer- und Winterversion unterschieden.

- Beobachtungen
 - Verhaltensbeobachtungen/Erfassung Raumklimadaten
Diese erfolgten analog zu den Erstbeobachtungen (siehe Abschnitt 4.3.3.1.6).
 - Beamer/Beleuchtung
Zeitnah zu den Schulungen wurden jeweils im Herbst/Winter und im Frühling/Sommer Beobachtungen durchgeführt, ob der Beamer und die Beleuchtung zwischen den Vorlesungen und am Ende eines Vorlesungstages ausgeschaltet waren. Dabei wurde im Frühling/Sommer diese Überprüfung sowohl vor als auch nach den Strom-Schulungen durchgeführt, um einen Erfolg der Schulungen ableiten zu können. Da die Wärme-Schulungen keinen Einfluss auf das Energiesparverhalten bezüglich „Strom“ haben, wurde im Herbst/Winter lediglich eine Beobachtungsreihe durchgeführt.

Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die durchgeführten Befragungen/Beobachtungen, getrennt nach Nutzergruppen:

Tabelle 15: Befragungen/Beobachtungen Studierende

Studierende				
	1.Befragung	2.Befragung	3.Befragung	4.Befragung
Datum	Nov./Dez. 2013	Nov./Dez. 2014	Juli 2015	Dez. 2015
Ort	Hörsäle/ Seminarraum			
Fragebögen	Einstellung + Komfortempfinden	Einstellung + Komfortempfinden	Einstellung + Komfortempfinden	Einstellung + Komfortempfinden
ausgeteilt	322	122	71	76
ausgefüllt	209/207	79	66	66
Rücklauf	ca. 65 %	ca. 65 %	ca. 93 %	ca. 87 %
Beobachtungen/ Raumklima	Ja	Ja	Ja	Ja
Beamer/ Beleuchtung	s. Dozenten	s. Dozenten	s. Dozenten	s. Dozenten

Tabelle 16: Befragungen/Beobachtungen Mitarbeiter

	Mitarbeiter			
	1.Befragung	2.Befragung	3.Befragung	4.Befragung
Datum	Nov./Dez. 2013	Dez. 2014	Juni 2015	Nov. 2015
Ort	Büros/Technikum			
Fragebögen	Einstellung + Rahmenbedingung	Einstellung + Rahmenbedingung	Einstellung + Rahmenbedingung	Einstellung + Rahmenbedingung
ausgeteilt	28	30	30	29
ausgefüllt	14	10	8	8
Rücklauf	50 %	ca. 33 %	ca. 27 %	ca. 28 %
Beobachtungen/ Raumklima	-	-	-	-
Beamer/ Beleuchtung	-	-	-	-

Tabelle 17: Befragungen/Beobachtungen Dozenten

	Dozenten			
	1.Befragung	2.Befragung	3.Befragung	4.Befragung
Datum	April/Mai 2014	Nov./Dez. 2014	Juni 2015	Nov. 2015
Ort	Hörsäle/ Seminarraum			
Fragebögen	Einstellung + Rahmenbedingung	Einstellung + Komfortempfinden	Einstellung + Komfortempfinden	Einstellung + Komfortempfinden
ausgeteilt	19	30	27	33
ausgefüllt	11/10	10	9	7/6
Rücklauf	ca. 58 % / 53 %	ca. 33 %	ca. 33 %	ca. 21 % / 18 %
Beobachtungen/ Raumklima	s. Studierende	s. Studierende	s. Studierende	s. Studierende
Beamer/ Beleuchtung	Vor/nach Stromschulung April/Juni 2014	Nov./Dez. 2014	Vor/nach Stromschulung Mai/Juni 2015	Okt./Nov. 2015

Abbildung 16 zeigt die Rücklaufquoten der Fragebögen im Vergleich Mitarbeiter, Dozenten und Studierende der vier psychologischen Erhebungen. Zu berücksichtigen dabei ist, dass die Anzahl der ausgefüllten Fragebögen der Studierenden deshalb im Verhältnis zu der Anzahl der ausgefüllten Fragebögen der Mitarbeiter und Dozenten besser ist, weil dort die Fragebögen während den Beobachtungen ausgeteilt und nach der Vorlesung direkt wieder eingesammelt wurden. D. h. hier erfolgte eine direkte Ansprache der Befragten, was sich positiv auf den Rücklauf der Fragebögen auswirkte.

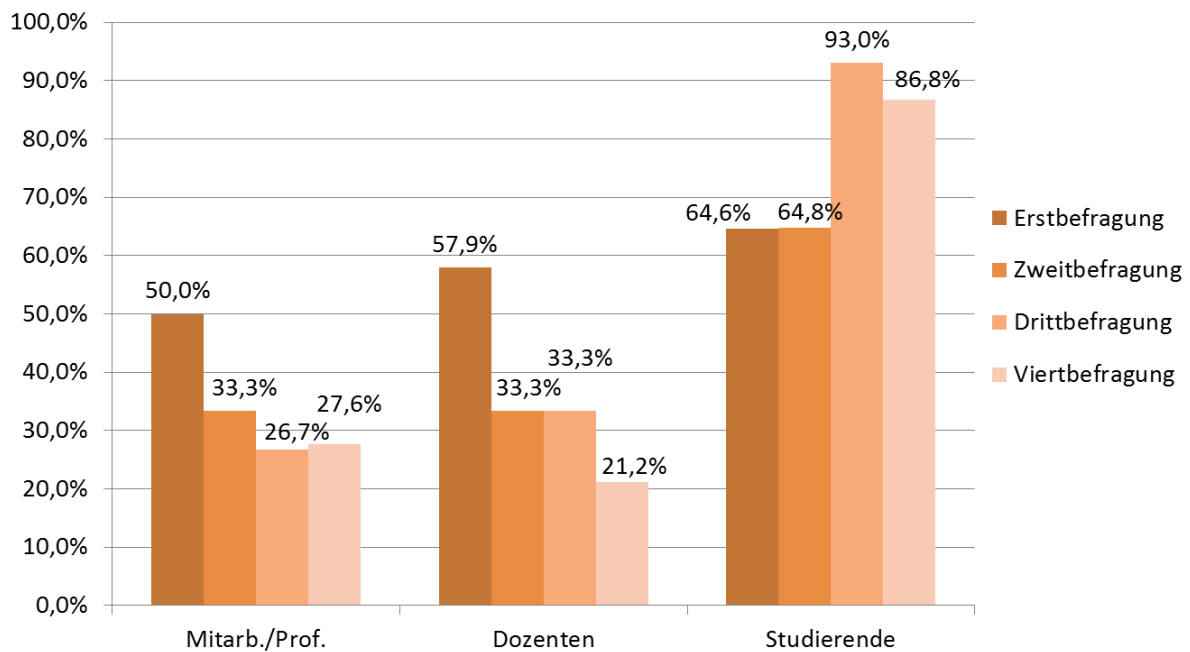


Abbildung 16: Rücklaufquote der Fragebögen

Der Rückgang der anteilmäßigen ausgefüllten Fragebögen bei den Mitarbeitern und bei den Dozenten zeigt die Schwierigkeit, die Nutzer dazu zu motivieren. Dieses mit der Anzahl der Befragungen geringer werdende Interesse deutet aber auch auf eine gewisse „Abstumpfung“ durch zu viele Befragungen hin.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse zu den durchgeführten Beobachtungen bezüglich Ausschalten des Beamers und der Beleuchtung zwischen den Vorlesungen und am Ende des Vorlesungstages:

Tabelle 18: Beobachtungsergebnisse Beamer/Beleuchtung

	Beamer	Beleuchtung	Beamer	Beleuchtung	Beamer	Beleuchtung	Beamer	Beleuchtung
	ausgeschaltet		ausgeschaltet		ausgeschaltet		ausgeschaltet	
	1.Beobachtung		2.Beobachtung		3.Beobachtung		4.Beobachtung	
Datum	April 2014		Nov./Dez. 2014		Mai 2015		Okt./Nov. 2015	
Vor Strom-Schulung bzw. schulungsunabhängig	ca. 92 %	ca. 54 %	ca. 95 %	ca. 68 %	ca. 88 %	ca. 65 %	ca. 89 %	ca. 72 %
Datum	Juni 2014				Juni 2015			
Nach Strom-Schulung	ca. 89 %	ca. 58 %			100 %	85 %		

Dabei wurden zwischen 17 und 24 Beobachtungen je Beobachtungsreihe durchgeführt. Eine Beobachtungsreihe umfasste dabei in der Summe 7 bis 9 Tage in den untersuchten drei Hörsälen und im betrachteten Seminarraum. Während diesen Tagen wurde stichprobenartig zwischen den Vorlesungen und am Ende des Vorlesungstages kontrolliert, ob der Beamer und die Beleuchtung ausgeschaltet waren. Da im November/Dezember 2014 bzw. im Oktober/November 2015 die Wärmeschulungen stattfanden, wurde hier jeweils lediglich eine Beobachtungsreihe durchgeführt.

Aus dieser Übersicht sticht die dritte Beobachtung heraus. Hier sieht man, dass die Strom-Schulung offensichtlich die Nutzer dazu motiviert hat, den Beamer und die Beleuchtung öfters auszuschalten – der Beamer wurde sogar zu 100 % zwischen den Veranstaltungen und am Ende des Vorlesungstages ausgeschaltet.

Betrachtet man allerdings den Verlauf von der ersten bis zur vierten Beobachtung, ist keine wesentliche Änderung im Verhalten der Nutzer zu erkennen. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Schulungen zwar kurzzeitig Erfolg zeigen, aber auf längere Sicht die Inhalte der Schulungen in Vergessenheit geraten bzw. die Nutzer wieder in ihre alten Verhaltensweisen zurückfallen. Hier wäre in einem Folgeschritt interessant, Ideen zu entwickeln, wie die Verhaltensweisen der Nutzer nachhaltig positiv beeinflusst werden können.

4.3.3.4 Arbeitspaket 4: Umsetzung der geringinvestiven Maßnahmen

Nach der zweiten Messperiode und vor der dritten Messperiode erfolgte die Umsetzung der geringinvestiven Maßnahmen.

Als geringinvestiv wurden Maßnahmen eingestuft, bei deren Umsetzung Hardware eingesetzt werden musste. Die hierbei installierten Geräte zum Energiesparen sollten in einem kostengünstigen Rahmen liegen. Die Materialkosten der am Umwelt-Campus Birkenfeld umgesetzten energiesparenden Maßnahmen lagen pro Stück bei maximal ca. 150,-€.

4.3.3.4.1 Geringinvestive Maßnahmen

Im Anschluss an die bisher dargestellten geringstinvestiven Maßnahmen (Abschnitt 4.3.3.2.1, siehe zudem auch Abbildung 6: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs) wurden geringinvestive Maßnahmen am Umwelt-Campus eruiert und größtenteils umgesetzt (siehe Tabelle 19). Es handelt sich hierbei um einen Ausschnitt aus der Tabelle „geringst- und geringinvestive Maßnahmen“. Der Übersichtlichkeit halber wurde auf einige Spalten verzichtet, im Anhang ist die vollständige Tabelle zu finden. Die Tabellenüberschriften und die Zeichen wurden bereits in Abschnitt 4.3.3.2.1 erläutert.

Tabelle 19: Geringinvestive Maßnahmen

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
9a	Lüftung	Drei Hörsäle: konstanter Volumenstrom für alle 3 Hörsäle (nicht getrennt und keine CO ₂ -Regelung). Problem: wird eine Bewegung über den Bewegungsmelder in einem der Hörsäle registriert, beginnt die Lüftung in allen drei zu laufen.	Einbau notwendiger Sensoren, Maßnahmen bzgl. Regelung Lüftung		☀, ☁,	Hörsaal	
9b	Lüftung		Installation CO ₂ -Sensor und CO ₂ -geführte Lüftung				
9c	Lüftung		Überarbeitung der Lüftungsanlage, damit die 3 Hörsäle getrennt belüftet werden können				√
12	Kühlung	Kälteanlage optimal eingestellt (Nutzung freier Kühlung und notwendige Systemtemperaturen korrekt)?	Überprüfung der Kälteanlagen u. ggf. Neueinstellung der Anlage (Augemerk auf Nutzung der feinen Kühlung u. notwendige Systemtemperaturen).		☁	Hörsaal	
16b	Heizung / Regelung	Unterschiedliche Regelung der Heizkörper in einem Raum (z. B. Einzelraumregler - Heizkörperthermostat) z. B. Archiv, Büro Evtl. Heizkörperthermostat hochgedreht ohne Nutzung Raum.	Büro: Heizkörper mit manuellem Heizkörperthermostat auf Bus auflegen, sodass dieser auch über den Einzelraumregler zu steuern ist.		☀	Büro	√
17	Heizung / Einzelraumregler	Kein Abgleich der Einzelraumregler, die in einem Raum angebracht sind (hier: Seminarraum). Unterschiedliche Sollwerte einstellbar.	Schaltung der Einzelraumregler (Raumthermostate) durch Betriebstechnik überprüfen lassen		☀	Seminarraum	√
18b	Heizung / Einzelraumregler	Raumthermostate nicht genutzter Räume stehen evtl. nicht auf 16 °C	Mehrere Rücksetzpunkte der Temperatur setzen (Einzelraumregler)		☀	Alle	

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	En- er- gie	Raum- typ	Sta- tus UCB
18c	Heizung / Einzelraumregler		Heizdauer nach Drücken der Präsenztaste begrenzen				
20a	Heizung	Flure, Treppenhaus: Heizkörper in den Fluren werden oft hoch- aber dann nicht mehr runtergedreht (z. B. auch Treppenhaus)	Anbringen von programmierbaren Heizkörperthermostaten		⚙	Flure, Treppenhaus	✓
20b	Heizung		Eingriffsschutz an den betreffenden Heizkörpern anbringen		⚙		
21b	Heizung / Fenster	WCs / Duschen: Dauerkippstellung der Fenster in den WCs und die Heizkörper sind aufgedreht	Eingriffsschutz an den betreffenden Heizkörpern anbringen		⚙	Nebenraum (WCs, Duschen)	
21d	Heizung / Fenster		Einbau einer autarken Heizungsregelung je nach Fensterstellung		⚙		(✓)
21e	Heizung / Fenster		Einbau eines bedarfsgerechten Lüfters		⚙		
23a	Lüftung mittels Fenster	Falsche Lüftung und deswegen höhere Heizkosten	CO ₂ -Ampel, die zeigt, wann (und wie) gelüftet werden sollte.	/	⚙	Seminarraum	✓
24b	Türen	Türen sind nicht geschlossen, z. B. Türen Seminarraum nach den Veranstaltungen bzw. in der vorlesungsfreien Zeit (hoher Wärmeverlust)	Obentürschließer		⚙	Seminarraum	✓
28	Sensoren	Sensoren Windmesser der Jalousien nicht korrekt gesetzt?	Überprüfung und evtl. Umsetzen der Sensoren		⚙	Alle	✓
30e	Beleuchtung	Beleuchtung in den Hörsälen und Seminarräumen sowie in den WCs (und Duschen) ist nicht durch Bewegungs- oder Tageslichtsensoren geregelt. Sie ist oft eingeschaltet, obwohl sie nicht benötigt wird	Installation einer entsprechenden Sensorik			Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	
30f	Beleuchtung		vorh. Leuchtmittel gegen LEDs austauschen			Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	(✓)
31a	Beleuchtung	<u>Technikum:</u> Hoher Stromverbrauch der Beleuchtung; Veraltete Beleuchtungstechnik mit hoher Leistungsaufnahme, komplette Beleuchtung oft eingeschaltet, obwohl	Einsatz von effizienterer Beleuchtungstechnik			Technikum	✓
31b	Beleuchtung		Trennung der Arbeitsplatzleuchten (nach verschiedenen Arbeitsbereichen)				

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation/ Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art	Energie	Raumtyp	Status UCB
		niemand in der Halle ist; Arbeitsplatzleuchten sind alle zusammengeschaltet					
32a	Beleuchtung/ Lichtschalter	Alte Lichtschalter funktionieren nicht richtig (Beleuchtung wird deshalb nicht immer ausgeschaltet)	Einbau neuer Schalter			Alle	
33a	Beamer	<ul style="list-style-type: none"> In verschiedenen Seminarräumen sind die Lautsprecher immer an; die Beamer ständig im Stand-by KommG: Mikrofon & Beamer (immer) an 	Steckerleiste an den Dozententisch verlegen			Hörsaal, Seminarraum	
33b	Beamer		Zeitschaltung (Zeitschaltuhr)			Kommunikationsgebäude	
38	Druckluftanlage	Druckluftanlage ist vorhanden	Prüfung, ob diese Undichtigkeiten aufweist			Technikum	√
42b	Beleuchtung/Aufzüge	Die Kabinenbeleuchtung der 3 Aufzüge (jeweils 8 Halogenstrahler) ist ständig eingeschaltet	Austausch der Halogenstrahler durch LED-Spots			Flure, Treppenhaus	(√)
43	Automaten	Heiß- und Kaltgetränkautomaten sind ständig in Betrieb	Einsatz von Zeitschaltuhren: Abschaltung der Automaten nachts sowie an Tagen, an denen der Campus geschlossen ist (auch mit Hersteller sprechen)			Flure, Aufenthaltsbereiche	
44	Untertischgeräte	Unnötiger Stromverbrauch durch Untertischgeräte	Zeitschaltuhr			Technikum, Sozialraum	(√)
46	Waschbecken / Duschen	Waschbecken und Duschen in den Gebäuden: Wasserverbrauch?	Falls nicht schon vorhanden, Durchflussbegrenzer bzw. Spar-Duschköpfe einbauen		•	Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	

4.3.3.4.2 Beschreibung ausgewählter Maßnahmen aus Tabelle 19

Maßnahme 9c: Getrennte Belüftung der drei Hörsäle

Bei Neubau der Hörsäle wurde eine Lüftungsanlage installiert, welche die Hörsäle getrennt mit Luftströmen versorgen kann, die entsprechend ihrer Nutzung erforderlich sind. Diese Einzelraumregelung wurde jedoch aufgegeben, da sich bei Versuchen, Volumenströme nach zu kalibrieren die Druckverhältnisse nicht zufriedenstellend einstellen ließen. Fortan wurden also alle drei Hörsäle zugleich mit dem 100 % Volumenstrom versorgt.

Nach Hinweisen seitens der REGENA-Mitarbeiter, eine getrennte Einzelraumregelung der Luftvolumenströme wieder aufzunehmen, wurde die Lüftungsanlage schließlich im März 2015 neu einjustiert. Die Einzelraumregelung wurde von einem externen Gebäudetechniker, nach Analyse der technischen Regelung der Volumenstromboxen, wieder erfolgreich umgesetzt.

Als zusätzliche Energiesparmaßnahme wurde aufgrund der sehr guten CO₂-Werte in den Hörsälen angedacht, die Volumenluftströme zu reduzieren. Allerdings ergab die Überprüfung, dass dies zum einen wegen der Einhaltung des Mindestvolumenluftstromes pro Person bei Vollbelegung der Hörsäle und zum anderen wegen möglicher auftretender technischer Probleme nicht mehr zu realisieren ist.

Maßnahme 18b und 18c: Mehrere Rücksetzpunkte der Temperatur und Begrenzung der Heizdauer in zeitlich begrenzt genutzten Räumen

Da es verschiedentlich vorkommt, dass Räume nur kurzzeitig genutzt werden, aber vergessen wird, die Heizung über die Einzelraumregler wieder runter zu regulieren, kam die Idee auf, die Heizdauer nach Drücken der Präsenztaste (Heizwunsch) in diesen Räumen entweder zu beschränken oder in diesen Räumen mehrere Rücksetzpunkte der Temperatur zu setzen. Räume, die davon betroffen wären, sind bspw. Archive oder Besprechungsräume. Da der Umwelt-Campus in diesem Bereich von einer Fremdfirma abhängig ist und der Aufwand für diese Umstellung relativ groß ist, waren die hierfür anfallenden Kosten nicht mehr im geringinvestiven Rahmen. Daher wurden diese Maßnahmen vorerst verworfen.

Dieses Beispiel zeigt die Wichtigkeit, autonom handeln zu können. Abhängigkeiten von Fremdfirmen bzw. durch geschlossene Gebäudeleittechniksysteme können Maßnahmen unverhältnismäßig verteuern oder sogar unrentabel werden lassen.

Maßnahme 21b: Autarke Heizungsregelung

In Räumen, die allen Nutzern des Gebäudes zur Verfügung stehen (Duschen und Toiletten) wurde festgestellt, dass sich die dort angebrachten Heizkörper mit manuellen Ventilen sehr häufig im aufgedrehten Zustand befanden. Gleichzeitig standen Fenster offen, nachdem die Räume verlassen wurden. Beides zusammen führt zu erwartungsgemäß hohem Verbrauch.

Als Gegenmaßnahme wurden in den Duschen elektronische Heizkörperventile be-

schafft und angebracht, welche in Verbindung mit Fensterkontakten dann abregeln, wenn ein Fenster geöffnet wird. Zudem wurden an diesen elektronischen Ventilen Heizzeiten und Temperaturen programmiert, die einer Benutzung der Räume entspricht (18 °C Toiletten, 20 °C Duschen).

Die verwendeten Fensterkontakte und Heizkörperventile sind aus dem Bereich Heimautomation. Eine andere Herangehensweise bestünde darin, Hinweisschilder an den Fenstern anzubringen, um die Nutzer darauf hinzuweisen, die Fenster vor Verlassen des Raumes zu schließen, wie dies beispielsweise in den WCs geschieht (s. hierzu Abbildung 15: Fensteraufkleber mit Erinnerung zur Schließung).

4.3.3.4.3 Fazit

Im Laufe des Projektes wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, die für die Umsetzung von energiesparenden Maßnahmen im öffentlichen und speziell im Hochschulbereich relevant sind.

- Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Stellen der Hochschule.
Dies ist z. B. relevant, um die Einstellungen der Gebäudeleittechnik auf dem neuesten Stand zu halten, also evtl. Raumnutzungsänderungen mit einzubeziehen. Als Beispiel kann ein Lagerraum genannt werden, welcher jetzt als Büro fungiert oder auch der umgekehrte Fall. Hier muss, um energieeffizient heizen zu können, die Nutzungsänderung bekannt sein, weil beispielsweise Büros morgens für eine Stunde vorgeheizt werden, Lagerräume dagegen nicht.
- Vermeiden von Abhängigkeiten der Hochschule von Fremdfirmen im Bereich der Gebäudeleittechnik.
Die nicht umgesetzten Maßnahmen 18b oder 18c „Mehrere Rücksetzpunkte der Temperatur oder Begrenzung der Heizdauer“ zeigt, dass solche Abhängigkeiten an sich kostengünstige Maßnahmen unnötig verteuern oder sogar unrentabel werden lassen können.
- Dokumentation des technischen Bestandes bzw. kontinuierliche Aktualisierung.
- Einfache Automationslösungen, wie bspw. Runterregulierung der Heizung bei Fensteröffnung, stärker fördern.
- Kontinuierliche Kontrolle der Verbrauchsdaten und Einrichten von Grenzwerten.
Hierzu wird auch auf die Maßnahme 10 „Abstellen der nächtlichen Lüftung“ der Tabelle 13 verwiesen. Diese Fehlfunktion der Lüftung konnte erst durch Kontrolle der Daten eruiert und behoben werden.
- Verknüpfung von Daten mit Anwesenheitszeiten der Nutzer.
Werden die Daten bspw. mit Anwesenheitszeiten gekoppelt, ist ein direktes Eingreifen bei untypischen Konstellationen möglich (z. B. angeschaltete Heizung aber keine Belegung des Raumes).

4.3.3.4.4 Feedback an Nutzer

Um Nutzern ein aktuelles Feedback zu Komfort relevanten Raumklima-Informationen zu geben, wurde an die installierte Messtechnik eine Anzeigetafel angeschlossen. Diese funktioniert als CO₂-Ampel und zeigt den Raumnutzern an, wann eine unangenehme Konzentration vorliegt und die Fenster geöffnet werden sollten. Im Weiteren wurde die Anzeige auch über eine Webseite umgesetzt, mit der sich das Klimaverhalten der gemessenen Räume im zeitlichen Verlauf beobachten lässt.

Dieser Abschnitt wird daher neben den für Feedback relevanten und sichtbaren Teilen die vorausgesetzte Technik beschreiben.

Im weiteren Verlauf wird die retrospektive Methode der Verbrauchsgruppen-Auswertung beschrieben. Auch die hierfür vorausgegangene Datenverarbeitung wird in diesem Abschnitt näher erläutert.

Verwendete Techniken

Messtechnik: REGENA-Piloten

Die Messkästchen wurden mit dem Ziel entwickelt, auch qualitative Raumdaten zur Erfolgskontrolle der REGENA-Maßnahmen zu erfassen.

Im Herbst 2013 wurden selbst konzipierte Messsysteme („REGENA-Pilot“) an den Pulten der drei Hörsäle im Glasbau sowie im Seminarraum des untersuchten Gebäudes installiert. In der Abbildung sieht man den Aufbau eines Piloten im geöffneten Gehäuse und dessen einzelnen Bestandteile.

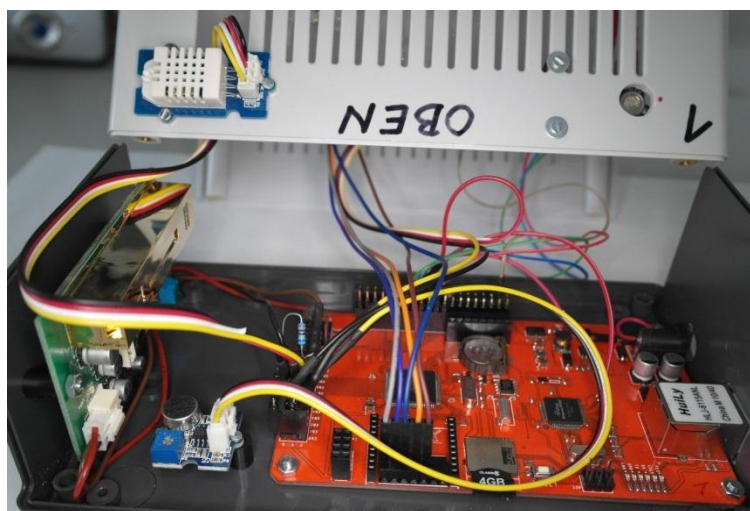


Abbildung 17: Mikroprozessorboard und Sensoren

Dieser im Kunststoffgehäuse untergebrachte Kleinstrechner ermittelt in kurzen Abständen die Raumtemperatur, -feuchtigkeit, -CO₂-Konzentration, Lautstärke und Summe flüchtiger Kohlenwasserstoffe. Die Werte wurden über den Tag auf einer Speicherkarte gesammelt und gegen ein Uhr morgens dann an die unten beschriebene Datenbank übertragen. Auf dem Foto unten sind Öffnungen für Sensoren, serielle Schnittstelle und eine Status-LED zu erkennen.



Abbildung 18: Draufsicht des geschlossenen Gehäuses eines REGENA-Piloten

Mit Hilfe dieser Daten konnte unter anderem die Raumnutzung mit der Lüftung abgeglichen werden. Dies ermöglichte energiesparende Maßnahmen umzusetzen.

Auswertungswerkzeug: BIRT Report Designer

Um den Gebäudenutzern Klima- und Verbrauchsdaten als Feedback zur Verfügung zu stellen, wurde neben der Messtechnik auch Software benötigt, mit Hilfe derer sich die gesammelten Messwerte aufbereiten und ansprechend visualisieren lassen.

Zu diesem Zweck sowie für eigene Auswertungen (vgl. Abschnitt 4.3.3.5.3) wurde die Open-Source Software BIRT² (Business Intelligence and Reporting Tools) verwendet und angepasst. Das Java-basierte Projekt stellt Werkzeuge zum Aufbereiten und zum Visualisieren von großen Datenmengen zur Verfügung. Dabei wird eine direkte Anbindung an die REGENA-PostgreSQL-Datenbank, die alle Messdaten speichert, unterstützt.

Auswertungen und Diagramme können im sogenannten BIRT-Report angelegt und abgespeichert werden. Zum Erstellen der Reporte stellt BIRT einen Report-Designer mit grafischer Benutzeroberfläche zur Verfügung, als Framework kann die Software aber auch direkt in Java für eigene Softwareprojekte verwendet werden.

² Webseite: <http://www.eclipse.org/birt/>

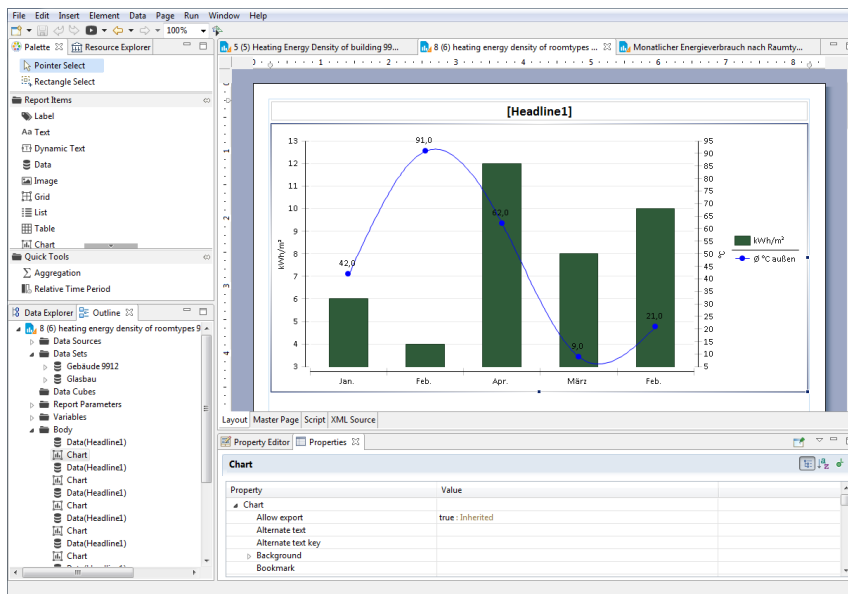


Abbildung 19: BIRT RCP-Designer

Über SQL-Abfragen an die angebundene Datenbank werden Data-Sets angelegt, welche dann als Datengrundlage zum Erstellen von Diagrammen und Grafiken verwendet werden können. Auf diese Weise konnten die für die jeweilige Auswertung relevanten Daten direkt aus der REGENA-Datenbank ausgelesen werden.

Bei der Erstellung der Diagramme gibt es zahlreiche Optionen und Konfigurationsmöglichkeiten. Dadurch ist es möglich, die Auswertungen auch sehr speziellen individuellen Anforderungen anzupassen.

BIRT unterstützt außerdem die Möglichkeit, Report-Parameter über Nutzereingaben definieren zu lassen. Diese Funktion ermöglicht das Erstellen generischer Reporte, welche die gewünschten Daten je nach Eingabe visualisieren.

Parameter

Parameters marked with * are required.

Messperiode: *
1. Messperiode

Raum-Typ: *
Büros
Büros
Flure
Sozialräume
Technik
Seminarraum
Besprechungsräume
Lager / Archiv

OK Cancel

Abbildung 20: Eingabe Reportparameter

Zusätzlich liefert BIRT ein Tomcat-Plugin, über welches Reporte auf dem REGENA-Server gerendert werden können. Somit können die auf dem Server gespeicherten Auswertungen jedem Rechner der mit dem Campusnetz verbunden ist zugänglich

gemacht werden. Die Darstellung der Reporte kann durch einen beliebigen Webbrowser erfolgen. Jeder Report kann hierfür über eine bestimmte URL aufgerufen werden.

Dadurch bietet die Technik eine komfortable Möglichkeit, Gebäudenutzern ausgewählte Reporte als Feedback zur Verfügung zu stellen. In einem nächsten Schritt könnten beispielsweise Heizkörper in Hörsälen oder öffentlichen Gebäudeteilen mit QR-Codes versehen werden, welche dem Nutzer nach dem Abscannen Informationen zum betreffenden Energieverbrauch zur Verfügung stellen.

Auch die Verbrauchsdaten einzelner Büros könnten den jeweiligen Mitarbeitern online zum Abruf bereitgestellt werden. Hierbei muss allerdings der Datenschutz berücksichtigt werden. Personenbezogene Daten dürfen nur dem entsprechenden Mitarbeiter zugänglich sein, was die Einrichtung einer solchen Feedback-Plattform erschwert. Aufgrund dieser Problematik wurden nur anonymisierte Daten als Nutzerfeedback verwendet.

Feedback-Methoden

Aufteilung Büros über Wärmeverbrauchsklassen

Um den Mitarbeitern der während dem Projekt untersuchten Büros einen Überblick über den Heizenergieverbrauch zu ermöglichen, wurde eine Grafik über den Energiebedarf pro Quadratmeter angefertigt und per E-Mail zur Verfügung gestellt. Abbildung 21: Feedback Wärmeenergiebedarf für Büros zeigt die resultierende Darstellung.

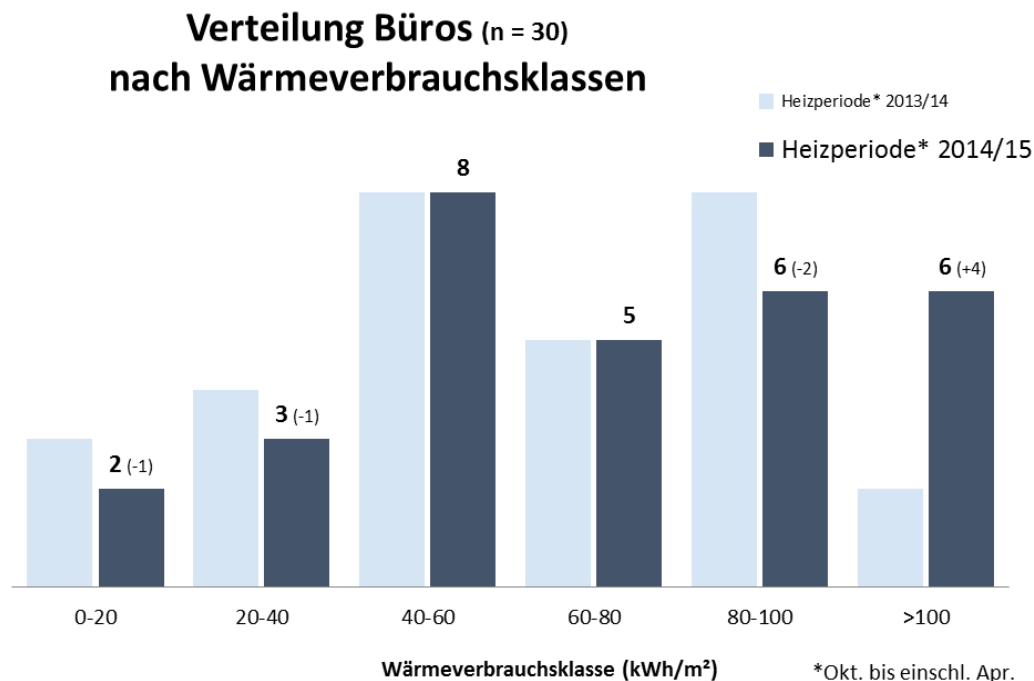


Abbildung 21: Feedback Wärmeenergiebedarf für Büros

Die Büros wurden in Verbrauchsklassen zusammengefasst, und die Anzahl der Büros in der jeweiligen Klasse angegeben. Auf diese Weise erhält der Betrachter einen Überblick über die Bandbreite und die Verteilung der unterschiedlichen Verbrauchsklassen, ohne dass ein einzelner Nutzer identifiziert werden kann. Um den Trend sichtbar zu machen, wurden zusätzlich die Werte vom Vorjahr in der Grafik dargestellt.

Wie zu erkennen ist, lagen in der Heizperiode 2014/2015 (7 Monate) die meisten Büros in einem Bereich von 40-60 kWh/m². Der jährliche Vergleichswert für Bürogebäude liegt bei 80 kWh/m²*a (BMW i 2015). Im unteren Bereich von 0-40 kWh/m² lagen insgesamt nur 5 Büros. Der geringe Verbrauch ist hier vermutlich auf geringere Belegungszeiten zurückzuführen, wie beispielsweise bei Büros von Praktikanten oder wissenschaftlichen Hilfskräften. Denkbar sind auch Einflüsse durch Urlaubs- und Krankheitstage oder Leerstand durch Mitarbeiterwechsel. Auffällig ist, dass die Anzahl der Büros im mittleren Bereich (60-80 kWh/m²) zunächst auf 5 Büros absinkt, und in den beiden höheren Klassen wieder auf 6 Büros ansteigt. In der Heizperiode 2013/2014 ist diese Lücke in der Mitte der Verteilung noch deutlicher zu erkennen. Statt einer Normalverteilung scheint es hier zwei Hauptklassen bei 40-60 kWh/m² und 80-100 kWh/m² zu geben. Dies könnte auf zwei verschiedene Hauptnutzergruppen hinweisen. Vermutlich ist hier die Unterscheidung zwischen Voll- und Teilzeitangestellten ein wesentliches Merkmal. Zusätzlich spielt auch die Lage der Büros innerhalb des Gebäudes eine Rolle, wie beispielsweise der Sonneneinfall oder der Anteil der Außenwände.

Im Vergleich zum Vorjahr haben viele Büros in der Heizperiode 2014/2015 einen höheren Wärmebedarf. Vor allem die Klasse >100 kWh/m² hat mit 4 zusätzlichen Büros den höchsten Zuwachs. In den beiden niedrigsten Verbrauchsklassen hingegen ist die Anzahl der Büros gesunken, was auf einen generellen Mehrverbrauch in dieser Heizperiode hindeutet. Dieser Mehrverbrauch könnte durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse begründet sein, da die durchschnittliche Außentemperatur in der zweiten Messperiode um ca. 1 °C gesunken ist. Eine detailliertere Analyse der Büros ist im Abschnitt 4.3.3.5.3 zu finden.

Als Nutzerfeedback wurde die Grafik per E-Mail an alle 30 Mitarbeiter versendet. Um den eigenen Verbrauch einordnen zu können, wurde interessierten Mitarbeitern außerdem die Möglichkeit gegeben, die Verbrauchsklasse des eigenen Büros zu erfragen. Diese Option hat allerdings nur ein Mitarbeiter in Anspruch genommen.

Aus Datenschutzgründen musste die Bereitstellung der Daten vom Forschungsprojekt an einen Mitarbeiter des Bereichs Betriebstechnik übertragen werden. Nur diesem ist es im Rahmen seiner Zuständigkeit erlaubt, die personenbezogenen Einzeldaten zu betreuen. Zu diesem Zweck wurden vom Mitarbeiter die Unterlagen aus der Planung und die der Datenbank zu einer realen Liste verbunden. Diese Liste ermöglicht ihm die pseudonymisierten Raumnummern der Verbrauchsauswertung in Beisein des interessierten Mitarbeiters zu entschlüsseln und ihm seine Verbrauchsdaten näher zu bringen.

Luftgüteampel / Reed-Kontakte

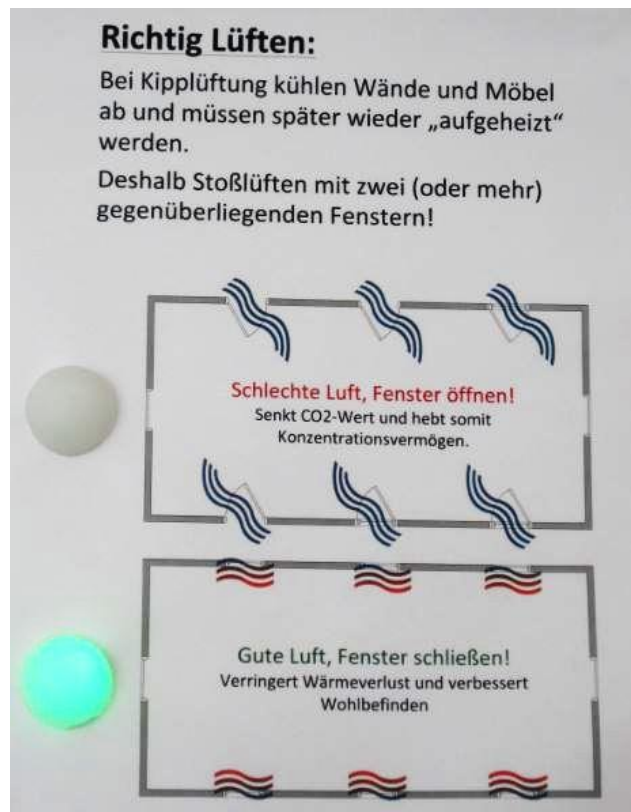


Abbildung 22: Luftgüteampel

Um die vom REGENA-Pilot gemessenen CO₂-Konzentrationen verständlich anzuzeigen, wurde eine Luftgüteampel mit LEDs entwickelt. Diese Luftgüteampel wurde Mitte Dezember 2014, zusammen mit dem Hinweis zu richtigem Lüftungsverhalten, im Seminarraum aufgehängt, weil hier gegenüberliegende Fenster zum Querlüften vorhanden sind. Die Ampel besteht aus einem grünen und einem roten Licht und ist mit dem REGENA-Pilot verbunden. Ist der CO₂-Gehalt der Luft unter einem bestimmten Schwellwert, leuchtet das grüne Licht. Steigt der CO₂-Gehalt über den vordefinierten Schwellwert an, so beginnt die rote LED-Leuchte zu blinken, welche neben dem Hinweis das Fenster zu öffnen angebracht ist.

Über Reed-Kontakte, die an den Fenstern angebracht wurden, kann ermittelt werden, ob die Ampel mit den Hinweisen wirkungsvoll ist oder nicht (d. h. werden die Fenster bei Bedarf geöffnet oder nicht). Zur Erhebung einer Nulllinie wurden die Reed-Kontakte bereits Mitte November 2014, etwa 4 Wochen vor der Luftgüteampel, montiert.

Dabei wurden an allen 6 Fenstern des Seminarraumes jeweils 2 Reed-Kontakte angebracht. Einer dient dazu, die Kippstellung der Fenster zu erkennen, der andere um die Komplett- bzw. Teilöffnung der Fenster zu erkennen. Die entsprechenden Daten werden zum Server gesendet und in der REGENA-Datenbank abgelegt. Um das Ergebnis durch evtl. geöffnete Oberlichter nicht zu verfälschen, wurden diese verriegelt.

Mittels Auswertung der Daten aus dem REGENA-Piloten und den Reed-Kontakten konnte ermittelt werden, ob die Luftgüteampel hilft, das Lüftungsverhalten der Studierenden (oder auch des Dozenten) positiv zu beeinflussen.

Zum Zeitpunkt der Luftgüteampel-Montage waren an den beiden Seminarraum-Türen noch keine Obentürschließer. Diese wurden erst später, im Zuge der geringinvestiven Maßnahmen, angebracht. Da vorher beide Türen des entsprechenden Seminarraumes häufig offen standen, wurden zusätzlich zu den Fenstern auch an die beiden Türen Reed-Kontakte angebracht. Hierdurch konnte die Häufigkeit ermittelt werden, wie oft die Türen unnötigerweise offen standen und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.

Die Installation der Reed-Kontakte sowie die Auswertung erfolgten auch im Rahmen einer studentischen Arbeit, die Bianca Becker und Tobias Manuel Poganiuch im REGENA-Kontext angefertigt haben (Becker & Poganiuch, 2014/2015).

Die folgenden beiden Grafiken zeigen, wie häufig die Fenster und Türen des Seminarraumes, jeweils über einen Tag, geöffnet wurden und wie sich daraufhin das Raumklima entwickelt hat. Die abgebildeten CO₂-Werte sind aufgrund des Sensorenmessbereichs (max. 2.000 ppm) am oberen Ende der Datenreihe abgeschnitten.

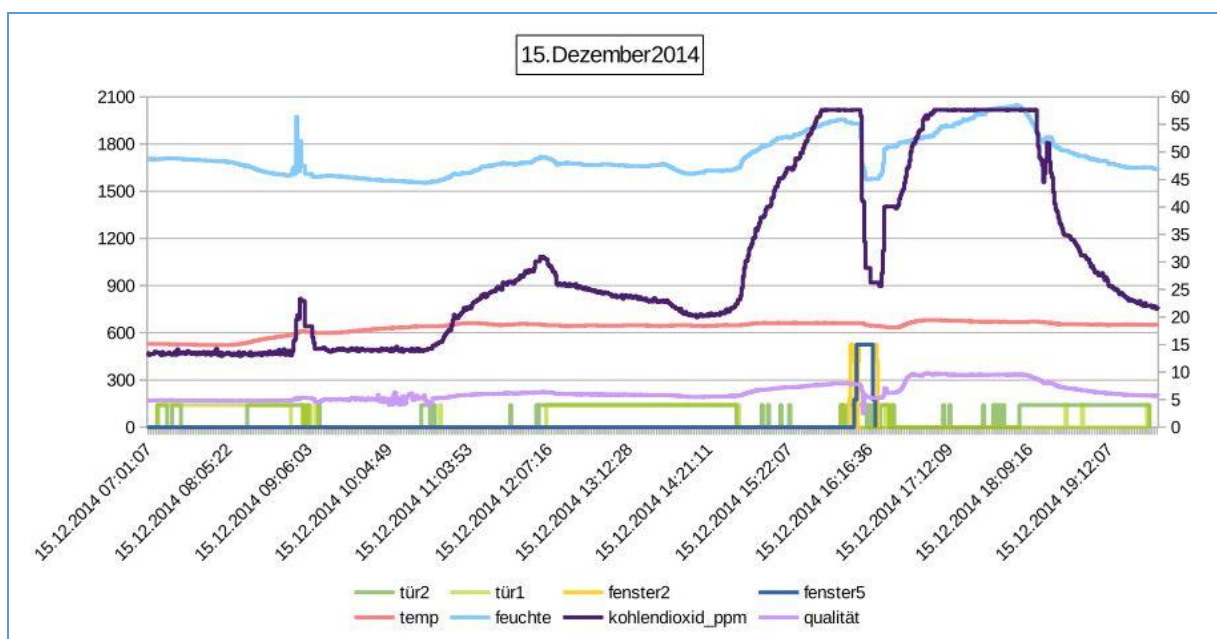


Abbildung 23: Luftgütwerte und Fenster- und Türöffnungen vor Installation der Luftgüteampel (linke Ordinate ppm, rechte Ordinate °C bzw. Luftfeuchte in %)

Abbildung 23 zeigt das Verhalten der Nutzer bezüglich Fenster- und Türöffnungen vor Anbringen der Luftgüteampel.

Abbildung 24 zeigt das entsprechende Verhalten nach Installation der Luftgüteampel.

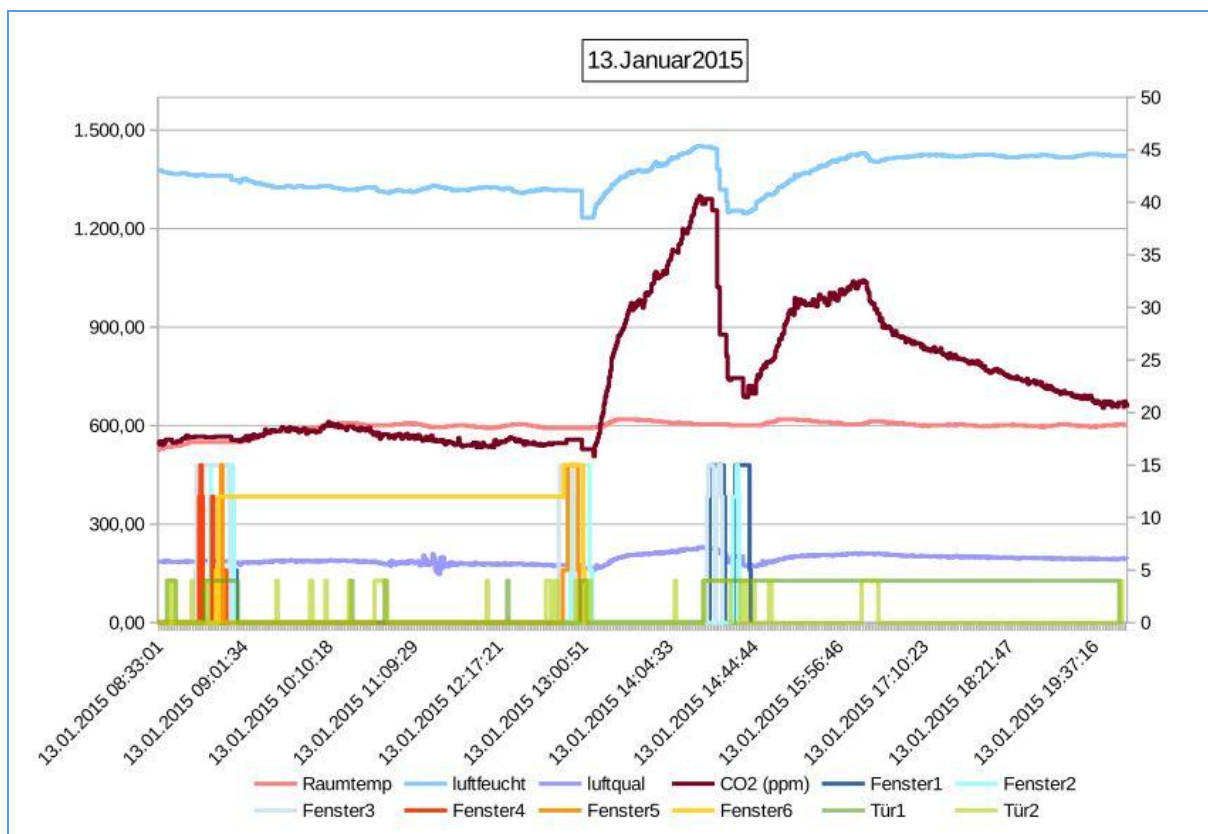


Abbildung 24: Luftgütwerte und Fenster- und Türöffnungen nach Installation der Luftgüteampel (linke Ordinate ppm, rechte Ordinate °C bzw. Luftfeuchte in %)

Dass Fenster oder Türen offen sind, erkennt man am Ausschlag der entsprechenden Linien. Im Vergleich der Grafiken (15. Dezember 2014 = vor Montage der Luftgüteampel und 13. Januar 2015 = nach Montage der Luftgüteampel) ist zu erkennen, dass am 13. Januar 2015 alle Fenster über den Tag verteilt geöffnet wurden (auch Querlüftung). Im Gegensatz dazu wurden vor Installation der Ampel lediglich zwei Fenster am späten Nachmittag geöffnet. Dies deutet darauf hin, dass die Nutzer dieses Feedback wahr- und angenommen haben.

Gleichzeitig ist der sinkende CO₂-Gehalt der Raumluft bei Öffnen der Fenster deutlich zu erkennen.

Visualisierung mit Thingspeak (REGENA-Piloten)

Seit Herbst 2015 werden die Daten der REGENA-Piloten zudem automatisiert mittels thingspeak (thingspeak.com) zur Visualisierung von Sensorwerten als Grafiken dargestellt, auf die jedes Hochschulmitglied über das Internet Zugriff hat. Dadurch kann sich jeder in Echtzeit einen Überblick über die aktuellen Luftgütwerte in diesen vier Hörsälen/Seminarräumen verschaffen und auch feststellen, ob der Raum belegt ist (sehr gut bspw. am CO₂-Wert oder auch am Geräuschpegel zu erkennen).

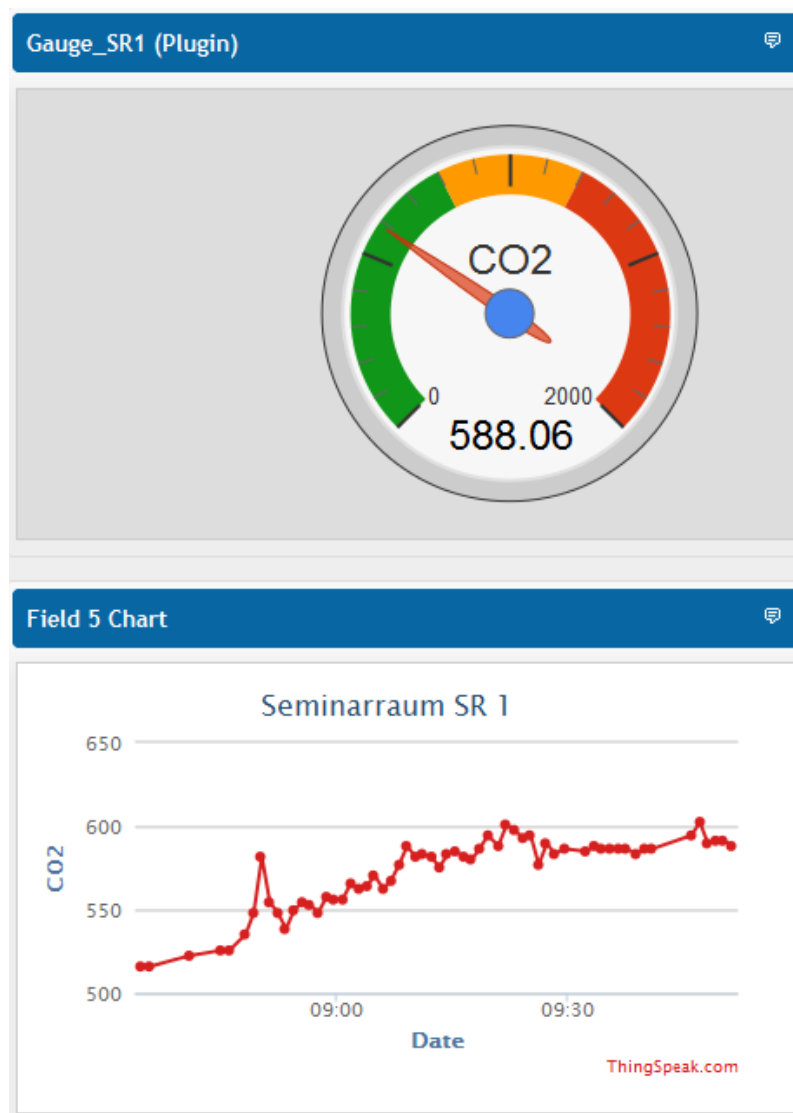


Abbildung 25: Bildausschnitt aus der thingspeak-Website des Umwelt-Campus mit aktuellem CO₂-Wert (oben) und CO₂-Verlauf in ppm

Das obere Bild zeigt den CO₂-Gehalt der Raumluft um kurz vor 10:00 Uhr. Die untere Grafik zeigt den CO₂-Verlauf bis kurz vor 10:00 Uhr. Kurz vor 9:00 Uhr (Vorlesungsbeginn) ist ein Anstieg des CO₂-Gehaltes erkennbar. Vergleichbare Verlaufsgrafiken existieren auch Lautstärke, Luftqualität, Luftfeuchte und Raumtemperatur.

Über diese Visualisierungen in den Hörsälen hinaus wurde ein im Rahmen des Projektes beschafftes CO₂-Messgerät mit integrierter Anzeige in einem Besprechungsraum installiert, um die Akzeptanz und Wirksamkeit solcher Geräte zu testen.



Abbildung 26: CO₂-Messgerät (CO₂-Wert optimal)

Diese Messeinheit zeigt mittels eines farbigen Hintergrund-Displays den CO₂-Gehalt der Raumluft an. Alle Werte, die innerhalb des Normbereichs liegen werden mit grünem Hintergrund dargestellt, bei den Werten im kritischen Bereich wird der Hintergrund rot eingefärbt und zusätzlich ertönt ein Alarmsignal. Bei den dazwischenliegenden Werten erscheint das Display gelb. Damit kann direkt erkannt werden, ob z. B. ein Fenster geöffnet werden muss. Es wurde festgestellt, dass nach der Installation zwar häufiger gelüftet wurde, sogar mittels Querlüften, um den Alarm erst gar nicht auszulösen, gleichzeitig war aber auch zu beobachten, dass das Öffnen das Gerät ausgeschaltet wurde, um nicht durch das akustische Signal gestört zu werden.



Abbildung 27: CO₂-Messgerät (CO₂-Wert schlecht)

4.3.3.5 Arbeitspaket 5: Monitoring, Auswertung und Visualisierung

Die in den Abschnitten 4.3.3.1.2 und 4.3.3.1.3 beschriebene Datenerhebung fand über einen Zeitraum von drei Jahren, unterteilt in drei Phasen, statt. Hierzu wird auch auf die Abbildung 5: Zeitplan des Vorhabens am Umwelt-Campus Birkenfeld verwiesen.

4.3.3.5.1 Monitoringphasen (begleitet durch Nutzer-Befragungen)

Monitoring 1

Innerhalb eines festgelegten Zeitraumes wurden alle relevanten Messdaten der oben genannten Räume erfasst. Dabei orientiert sich die Erfassung der Wärme- und Kälte-daten an der Kühl- bzw. Heizperiode. Die Messperiode für die Verbrauchsdaten von Strom umfasste zwei Semester (Sommer- und Wintersemester). Diese erste Phase bildete dabei die sogenannte Nulllinie, d. h. die Verbrauchsdatenerfassung der untersuchten Räume erfolgte ohne jegliche Umsetzung von Maßnahmen, die das Energieverbrauchsgeschehen beeinflussen konnten.

Monitoring 2

Die zweite Monitoringphase wurde in den darauffolgenden gleichen Zeiträumen wie bei Monitoring 1 durchgeführt, um die Vergleichbarkeit der Daten gewährleisten zu können. Im Unterschied zur ersten Phase, wurden hierbei jedoch vorher geringstinvestive Maßnahmen, wie unter 4.3.3.2.1 erläutert, zur Energieeffizienzsteigerung umgesetzt. Diese beinhalteten sowohl Feedback-Maßnahmen und Energie-Schulungen als auch technische Maßnahmen ohne Hardware-Einsatz. Nach der zweiten Monitoringphase wurden die Energieverbrauchswerte der beiden bereits durchgeführten Messperioden miteinander verglichen, um zu eruieren, ob die umgesetzten geringstinvestiven Maßnahmen messbare Effizienzsteigerungen zur Folge hatten.

Monitoring 3

In der dritten Monitoringphase, die in den darauffolgenden gleichen Monatszeiträumen durchgeführt wurde (analog Monitoringphasen 1 und 2), griffen zusätzlich die unter 4.3.3.4.1 beschriebenen geringinvestiven Maßnahmen. Da vor dieser dritten Messperiode alle Maßnahmen, sowohl technische als auch psychologische, umgesetzt wurden, wurde hier das beste Ergebnis bezüglich der Energieeinsparung erreicht.

Ergänzt und begleitet wurden alle drei Monitoringphasen mit der Befragung der Raumnutzer zu energierelevanten Gewohnheiten und Einstellungen bezüglich Energieeinsparung. Zusätzlich wurden die raumklimatischen Bedingungen in den Hörsälen/Seminarräumen erfasst sowie das Komfortempfinden der Nutzer in diesen Räumen erhoben.

4.3.3.5.2 Aufbereitung der Daten vor der Auswertung

Ein Teil der Rohdaten musste vor der Auswertung zunächst aufbereitet oder korrigiert werden. Der folgende Abschnitt beschreibt die dafür wesentlichen Schritte.

Witterungsbereinigung

Einen wesentlichen Einfluss auf den Bedarf an Heizenergie hat die vorherrschende Witterung am Standort. Um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Jahren

(oder auch Standorten) zu ermöglichen, ist eine Witterungsberreinigung der Verbrauchsdaten vorzunehmen (BMW i 2015). Am UCB liegen jedoch die erforderlichen Daten für eine langjährige Mittelwertbildung nicht vor. Daher wurden die Monitoringdaten im Vorfeld nicht witterungsberreingt. Stattdessen werden in entsprechenden Auswertungen die mittleren Außentemperaturen als Vergleich und zur besseren Einordnung der Tendenzen dargestellt.

Aufteilung von Einzel-Wärmeverbräuchen mittels HKV-Daten

Da Heizkostenverteiler den Wärmeenergiebedarf [kWh] nicht direkt zählen können, müssen die Verbrauchswerte der HKVs mithilfe der Wärmemengenzähler indirekt berechnet werden. Hierzu wurde folgende Gleichung verwendet:

$$E_{HKV} = Digits_{HKV} * \frac{E_{WMZ}}{Digits_{ges}} \text{ [kWh]}$$

Für die Berechnung des Energieverbrauchs einzelner HKVs ist also das Verhältnis zwischen dem Gesamtenergieverbrauch des Wärmemengenzählers E_{WMZ} und der Gesamtsumme der Digits aller HKVs ausschlaggebend. Somit können anteilige Verbräuche zumindest näherungsweise abgeschätzt werden, eine direkte und exakte Bestimmung des Energieverbrauchs anhand von HKV-Daten ist allerdings nicht möglich.

Um die Belastbarkeit dieses Kennwertes zu prüfen und die Genauigkeit der Berechnungen abschätzen zu können, wurde der Kehrwert des obigen Kennwertes über die drei Messperioden ermittelt. Dazu wurden monatliche Werte von Wärmemengenzähler und HKV ausgewertet. In der Abbildung unten ist das Resultat zu sehen.

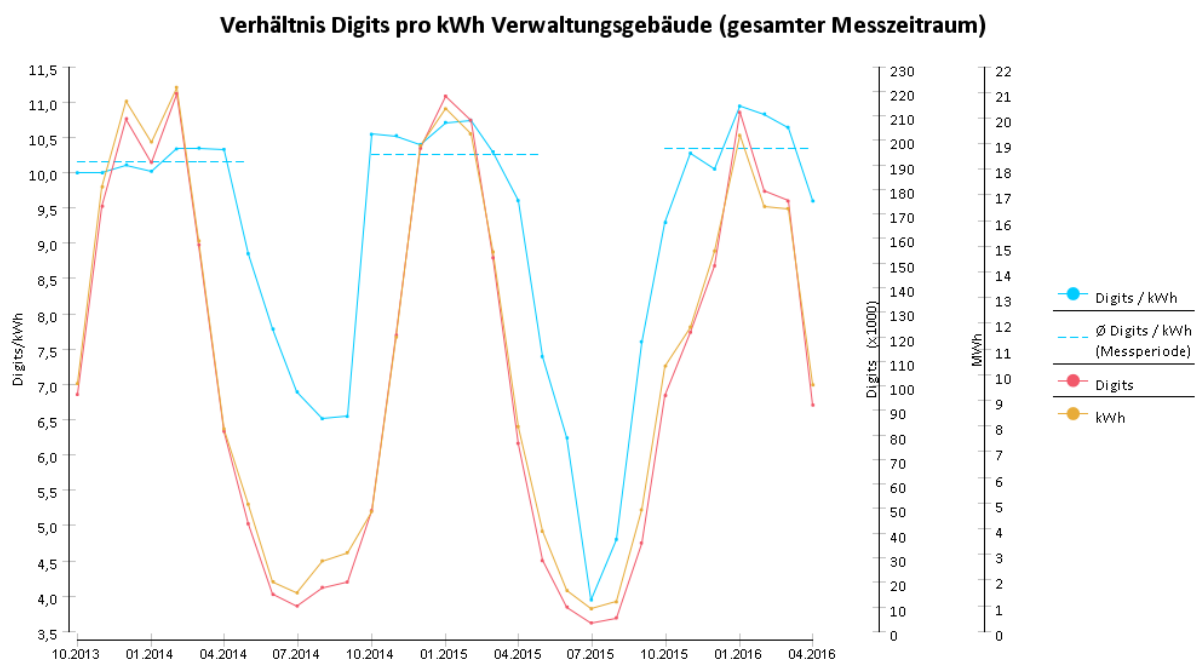


Abbildung 28: Verhältnis Digits/kWh Bürogebäude

Zu erkennen ist ein fast stetiges Verhältnis in den Messperioden und eine starke Verzerrung in den Monaten Juni bis September. Der Wärmemengenzähler misst auch bei den geringen Wärmemengen im Sommer den exakten Wärmebedarf in kWh, während ein Heizkostenverteiler erst ab einem gewissen Schwellwert anfängt Digits zu zählen. Dadurch erklärt sich das Absinken des Quotienten in den wärmeren Monaten. Generell ist das Verhältnis von Digits/kWh im Sommer durch die sinkenden Zahlen weniger robust und reagiert deutlich empfindlicher auf kleinere Wertschwankungen.

In den für die Heizperiode entscheidenden Monaten von Oktober bis April ist der Quotient, zumindest für das untersuchte Verwaltungsgebäude, deutlich beständiger. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der betreffenden Werte für das Verwaltungsgebäude sowie für den Glasbau.

Tabelle 20: Verhältnis Digits/kWh

Gebäude	Messperiode	Digits (gesamt)	kWh (gesamt)	Digits/kWh
Verwaltungsgebäude	Messperiode 1	1127410	111025	10,15
	Messperiode 2	1021530	99586	10,26
	Messperiode 3	1024917	98984	10,35
Glasbau	Messperiode 1	232543	39770	5,85
	Messperiode 2	252790	36100	7,00
	Messperiode 3	213961	28490	7,51

Auf den jeweiligen Zeitraum gemittelt, ist das Verhältnis von Digits/kWh in den drei Messperioden annähernd konstant. Somit stellt der Wert eine zuverlässige Grundlage zur Berechnung des Energiebedarfs einzelner Heizkörper anhand von HKV-Daten dar.

Lediglich beim Glasbau ist von der ersten auf die zweite Messperiode eine große Bandbreite von 5,85 bis 7,51 zu verzeichnen. Dies könnte zum einen daran liegen, dass die absoluten Werte hier niedriger sind, und das Verhältnis somit fehleranfälliger ist. Zum anderen waren zu Beginn der ersten Messperiode noch nicht alle HKV installiert. Wie im folgenden Abschnitt erläutert, liegen daher für diesen Zeitraum die HKV-Zählerstände nur näherungsweise vor.

Messwertkorrektur HKV-Werte Oktober bis November 2013

Die Inbetriebnahme der HKV-Installation fand teilweise nach dem ersten Oktober 2013 statt. Die fehlenden Messdaten von z.T. zwei bis drei Wochen wurden anhand des mittleren Anteils der HKV-Digits im darauffolgenden Monat rückwirkend interpoliert. Als Zielmarke wurde der Stand des WMZ am ersten Oktober genommen. Die Berechnung ergibt also keine Verfälschung des Gesamtverbrauchs, sondern lediglich

eine Vervollständigung der Datenlage für die Nulllinie der unterschiedlichen Räume und Raumtypen.

4.3.3.5.3 Auswertung des technischen Monitorings

Der folgende Abschnitt behandelt die Auswertung der erhobenen Messdaten. Die Grafiken wurden mit dem Software-Paket BIRT angefertigt (vgl. Abschnitt 4.3.3.4.4). Gegliedert ist der Absatz in die untersuchten Gebäude und falls möglich einzelnen Räume und deren gemessenen Energieströme. Eine Beschreibung der gemessenen Energieströme und Einrichtungen ist in Abschnitt 4.3.3.1.1 zu finden. Zunächst werden Messperioden in Summe ihrer Energiebedarfe und weiter in monatlichen Energiebedarfen dargestellt. Jede Auswertung wird näher erläutert, falls Besonderheiten zu beachten sind, werden diese ebenfalls erwähnt.

Technikum

Das am UCB untersuchte Technikum hat eine Gesamtnutzungsfläche von 378 m² und ist zum großen Teil eine als Glasbau ausgeführte Halle mit maschinenbautechnischen Geräten wie CNC-Fräsen, Industrierobotern und Drehmaschinen. Daran angrenzend sind kleinere Werkstatträume für Elektrotechnik und andere vorbereitende Metallverarbeitungsprozesse, Messräume und Betriebsleitungsräume.

Strombedarf

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den elektrischen Energiebedarf des Technikums in den jeweiligen Messperioden. Der Gesamtbedarf setzt sich zusammen aus dem Energieverbrauch der Lüftungsanlage und den restlichen Verbrauchern (Steckdosen, Maschinen, Beleuchtung etc.).

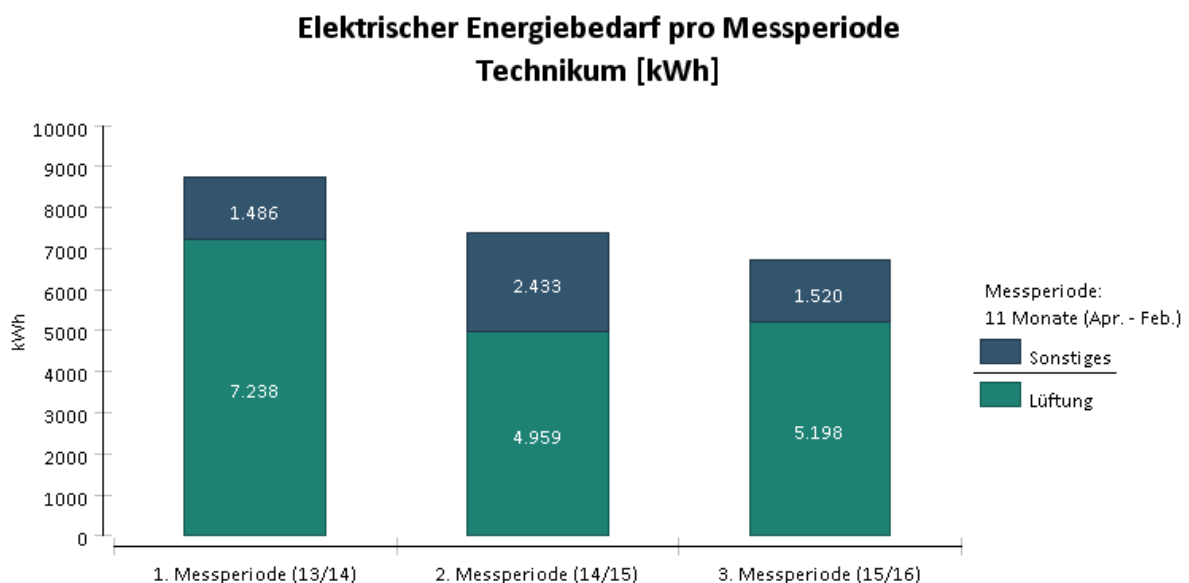


Abbildung 29: Elektrischer Energiebedarf Technikum pro Messperiode (kWh)

Zur Reduzierung des Bedarfs durch Beleuchtung wurden die Mitarbeiter sensibilisiert und entsprechende Hinweisschilder platziert (vgl. Tabelle 13: Geringstinvestive Maßnahmen, Maßnahme 31c). Gegen Ende der zweiten Messperiode wurden außerdem alte Leuchtmittel durch effizientere ersetzt (vgl. Tabelle 19: Geringinvestive Maßnahmen, Maßnahme 31a). Der Erfolg dieser Maßnahmen ist durch die unregelmäßige Nutzung sowie den Einsatz von großen Maschinen allerdings nur schwierig zu beurteilen. Zudem ist deutlich zu erkennen, dass die Lüftung den größten Teil des Stromverbrauchs ausmacht.

Dennoch ist insgesamt über die drei Messperioden ein stetiger Rückgang des Strombedarfs zu erkennen. Von fast 9.000 kWh ist der Verbrauch in der letzten Messperiode auf unter 7.000 kWh gesunken.

Wärmebedarf

Dieser Abschnitt behandelt die Auswertungen der wärmebezogenen Messdaten des Technikums. Die Wärmeversorgung setzt sich aus Heizstrahlern an der Decke, die über ein Zeitprogramm geregelt werden und aus der Lüftung, die manuell zugeschaltet werden kann, zusammen. Eine Übersicht über den flächenspezifischen Wärmebedarf in den drei Messperioden bietet Abbildung 30: Wärmebedarf Technikum pro Messperiode.

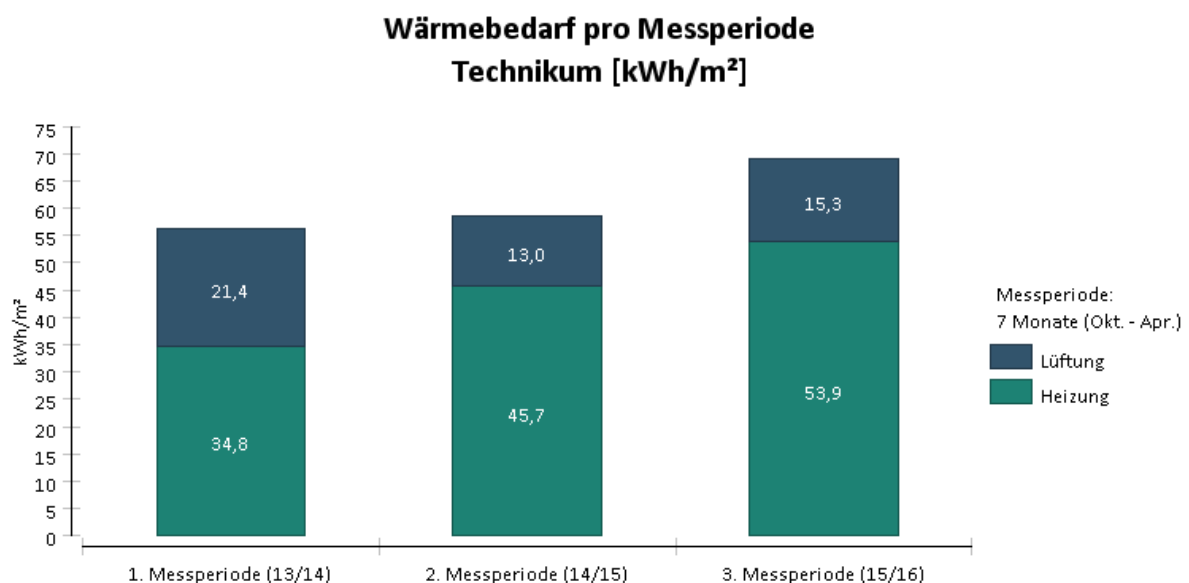


Abbildung 30: Wärmebedarf Technikum pro Messperiode

Wie zu erkennen ist, steigt der Gesamtverbrauch über die drei Messperioden stetig an. Zwar ist der Verbrauch der Lüftungsanlage von der ersten bis zur dritten Messperiode um etwa 30 % zurückgegangen, die Einsparungen werden aber durch den Mehrverbrauch bei der Heizung aufgehoben. Abbildung 31 zeigt eine Übersicht über die monatlichen Verbräuche und den entsprechenden durchschnittlichen Außentemperaturen.

Monatlicher Wärmebedarf Technikum [MWh]

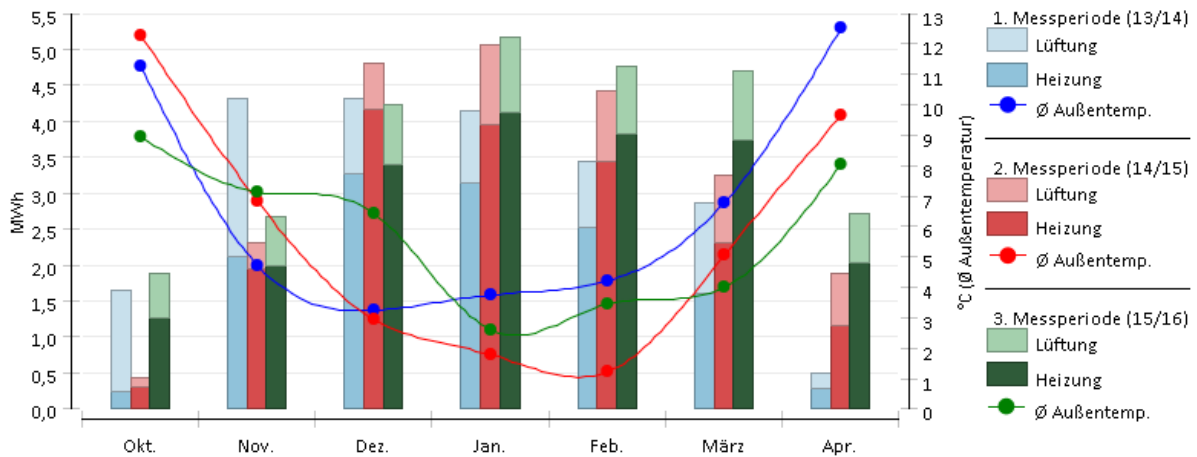


Abbildung 31: Wärmebedarf Technikum

In den meisten Fällen entspricht der Verlauf des Wärmebedarfs den Erwartungen in Bezug auf den Verlauf der Außentemperatur. Außergewöhnlich ist jedoch, dass der Verbrauch in Messperiode 1 und in Messperiode 3 im Dezember nahezu identisch war, obwohl es in Messperiode 3 deutlich wärmer war. Dies lässt auf einer erhöhte Nutzung des Technikums in diesem Zeitraum schließen. Außerdem ist der hohe Anteil der Lüftung im Oktober und November der ersten Messperiode auffällig. Trotz weiterer Untersuchungen, konnte hierfür im Nachhinein keine Ursache mehr festgestellt werden.

Glasbau mit Hörsälen

Der Gebäudekomplex Glasbau ist ein überdachter Außenbereich mit gewächshausähnlichem Aufbau. Darin befinden sich drei Hörsäle mit je 101m² und einem galerieartigen Aufenthaltsbereich mit der gleichen Grundfläche auf Hörsaal 2. Diese Fläche ist weiter unten als Flur in der Auswertung aufgeführt.

Strombedarf Seminarräume:

Abbildung 32 zeigt den elektrischen Energiebedarf der Hörsäle über die drei Messperioden.

Elektrischer Energiebedarf pro Messperiode Summe Hörsäle (nach Bedarfsart) [kWh/m²]

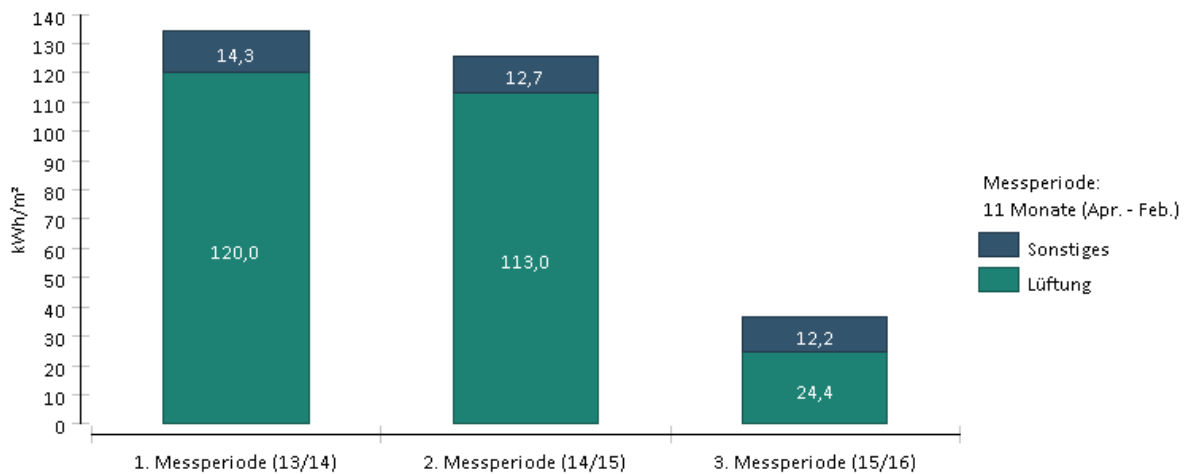


Abbildung 32: Elektrischer Energiebedarf Hörsäle pro Messperiode

Dafür wurde der Einzelverbrauch der drei Hörsäle in den jeweiligen Messperioden aufsummiert. Dazu zählen die Beleuchtung, der Beamer sowie die Steckdosen. Berücksichtigt wird dabei auch die gemeinsame Lüftungsanlage, da sie zur Vollklimatisierung verwendet wird.

Deutlich zu erkennen ist die hohe Einsparung der dritten gegenüber den vorangegangenen Messperioden. Im Vergleich zur ersten Messperiode ist der Verbrauch um ca. 73 % zurückgegangen. Vor allem bei der Lüftungsanlage, welche den Großteil des Bedarfs ausmacht, konnte der Energiebedarf reduziert werden (vgl. Abschnitt 4.3.3.2.2, Maßnahme 10 und Abschnitt 4.3.3.4.2, Maßnahme 9c). Auch bei den sonstigen Verbrauchern ist ein leichter Rückgang zu erkennen.

Beim Vergleich der einzelnen Hörsäle sind keine bedeutenden Unterschiede zu verzeichnen. Abbildung 33 zeigt die Verteilung des Energiebedarfs der sonstigen Verbraucher über die drei Hörsäle. Die Lüftung wird nicht dargestellt, da diese über eine gemeinsame Anlage betrieben wird.

Bedarf elektr. Energie Vergleich Hörsäle 1-3 (ohne Lüftung) [kWh]

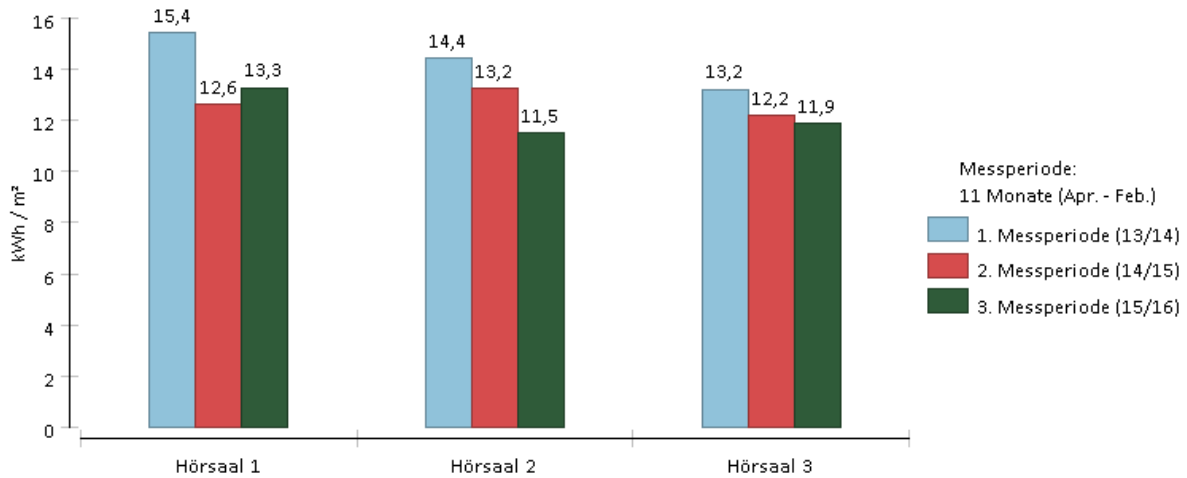


Abbildung 33: Strombedarf Hörsäle (ohne Lüftung)

Da die Hörsäle topologisch identisch aufgebaut sind, entspricht die gleichmäßige Bedarfsverteilung den Erwartungen. Die geringen Unterschiede zwischen den Hörsälen können auf unterschiedliche Belegungszeiten beruhen, zudem ist der Tageslichteinfall in den drei Hörsälen leicht unterschiedlich (bedingt durch unterschiedliche Lage im Gebäude).

Über die drei Messperioden ist außerdem ein leichter Abwärtstrend beim Energiebedarf erkennbar. Lediglich in Hörsaal 1 ist von der zweiten auf die dritte Messperiode eine geringe Zunahme des Energiebedarfs zu verzeichnen.

Wärmebedarfe

Wärmebedarf pro Heizperiode (7 Monate) Summe Hörsäle 1-3 [MWh]

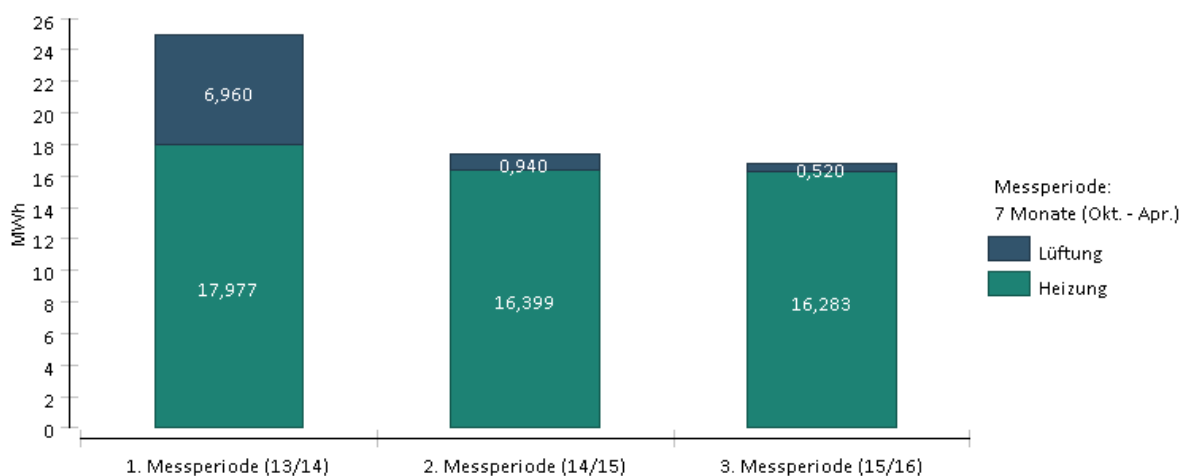


Abbildung 34: Wärmebedarf Hörsäle 1-3

Hohe Veränderungen sind in den Wärmeanteilen der Lüftung zu erkennen. In den Anteilen der Heizung ist erwartungsgemäß lediglich eine geringe Veränderung sichtbar. Zurück zu führen ist letzteres auf die Lage der Hörsäle ohne starke unmittelbare Klimaeinflüsse. Außerdem werden die Heizkörper i. d. R. lediglich zum morgendlichen Vorheizen der Hörsäle und als Auskühlschutz genutzt.

Bezüglich der Einsparungen im Bereich der Lüftung wird auf Abschnitt 4.3.3.5.4 verwiesen, unter dem die Maßnahmen mit Einsparpotenzial näher erläutert werden.

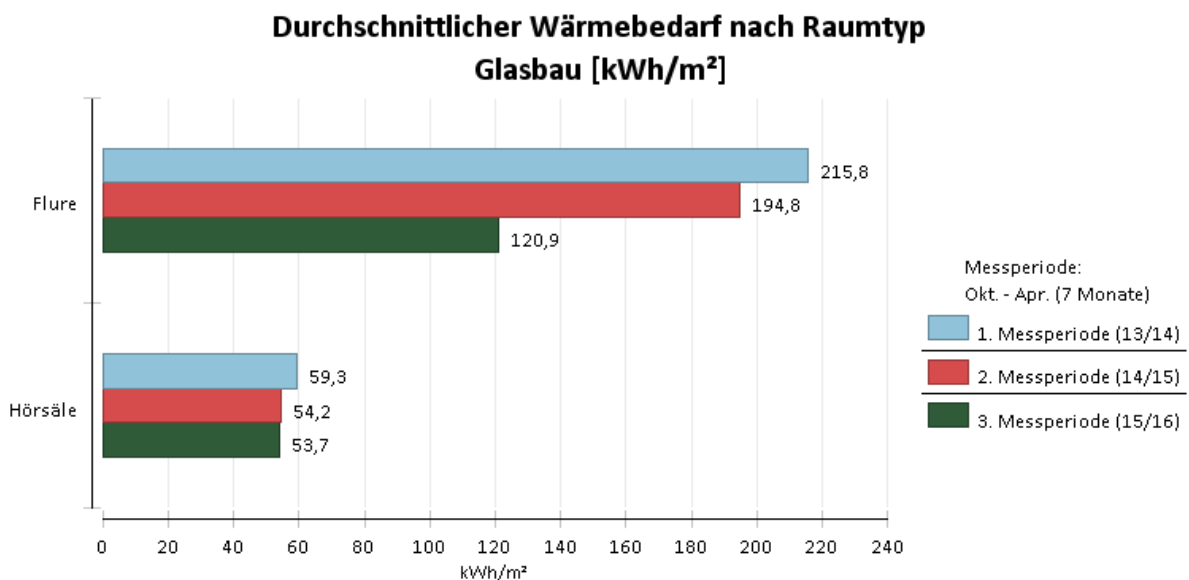


Abbildung 35: Wärmebedarf der Raumtypen im Glasbau

Ein sehr hoher spezifischer Verbrauch ist im Bereich Flure erkennbar. Die Nutzfläche dieses Bereichs ist gegenüber dem letztlich beheizten Volumen jedoch verhältnismäßig klein (etwa 1:20). Die Ursache für den hohen relativen Wärmeverbrauch liegt darin begründet, dass dieser Bereich zum einen galerieartig konzipiert ist, und zum anderen durch Glasfassaden sowie einem Glasdach begrenzt wird. Dies lässt in den Wintermonaten eine größere Auskühlung zu, was mit einem höheren Wärmeenergiebedarf verbunden ist. Zusätzlich sorgte dort eine Außentür, die oftmals offen stand, für zusätzliche Auskühlung. Zu Anfang der zweiten Messperiode wurde deshalb ein gut sichtbares Hinweisplakat mit der Aufforderung, die Tür zu schließen, angebracht.

Kältebedarf

Neben dem Energiebedarf zum Beheizen der Hörsäle wurde auch der Bedarf zur Kühlung in den wärmeren Monaten gemessen. Abbildung 36 zeigt den Verbrauchsverlauf der Kältemaschine über die Messperioden als Balkendiagramm. Die zusätzliche Linie zeigt die durchschnittliche Außentemperatur in der jeweiligen Messperiode.

Energiebedarf Kälte (7 Monate) Summe Hörsäle 1-3 [MWh]

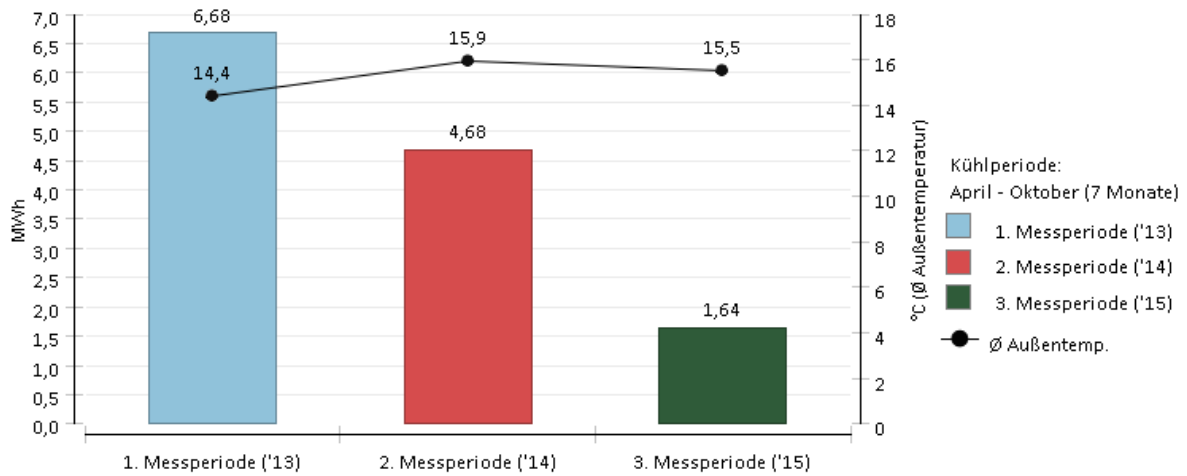


Abbildung 36: Energiebedarf Kälte Hörsäle 1-3

Über alle drei Messperioden ist eine stetige Abnahme des Energiebedarfs der Kühlungsanlage zu erkennen. Im Vergleich zur Basislinie ist in der dritten Messperiode trotz höherer Durchschnittstemperatur ein starker Rückgang des Bedarfs um ca. 75 % auf 1,64 MWh festzustellen.

Abbildung 37 zeigt die Aufteilung des Energiebedarfs über die Monate der Messperiode.

Energiebedarf Kälte (mit Außentemperatur) Summe Hörsäle 1-3 [kWh] (7 Monate)

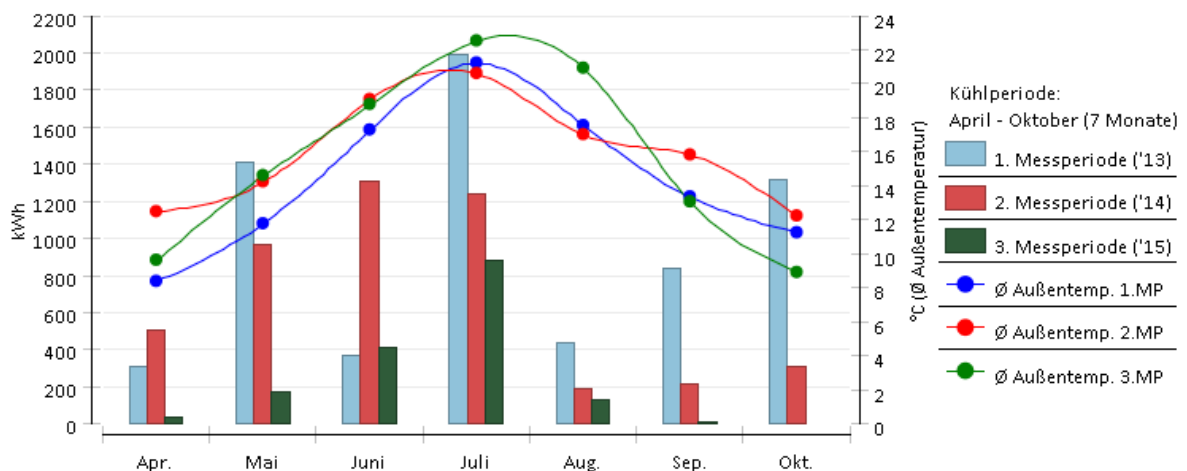


Abbildung 37: Monatlicher Energiebedarf Kälte

Erwartungsgemäß folgt der Energiebedarf in Messperiode 2 und Messperiode 3 im Groben dem Verlauf der Außentemperaturen. In Messperiode 1 ist ein klarer Zusammenhang nicht erkennbar, was darauf zurückzuführen sein kann, dass die ur-

sprüngliche Steuerung im Wesentlichen nicht der Nutzung entsprach. Vor der dritten Messperiode Kälte wurde die nächtliche Lüftung deaktiviert (vgl. Absatz geringstinvestive Maßnahmen, Absatz 4.3.3.2.2, Maßnahme 10) und die Belüftung wurde so überarbeitet, dass eine getrennte Belüftung der drei Hörsäle möglich wurde (vgl. geringinvestive Maßnahmen, Absatz 4.3.3.4.2, Maßnahme 9c).

Fachbereichsverwaltungsgebäude

Das im Projekt ausgewählte Gebäude beherbergt überwiegend Verwaltungsbüros eines Fachbereichs. Ebenfalls sind auch die üblichen anderen Räume einer Verwaltung zu finden; etwa Besprechungsräume, Teeküche, Toiletten, Lager und Archive. Zusätzlich befindet sich im gleichen Gebäude ein Seminarraum, der in den Vorlesungsbetrieb eingebunden ist. Die Gruppierung der Raumtypen ist unter 4.3.1 beschrieben. Eine Übersicht über die Flächenanteile der einzelnen Raumtypen bietet Abbildung 38: Flächenanteile Verwaltungsgebäude.

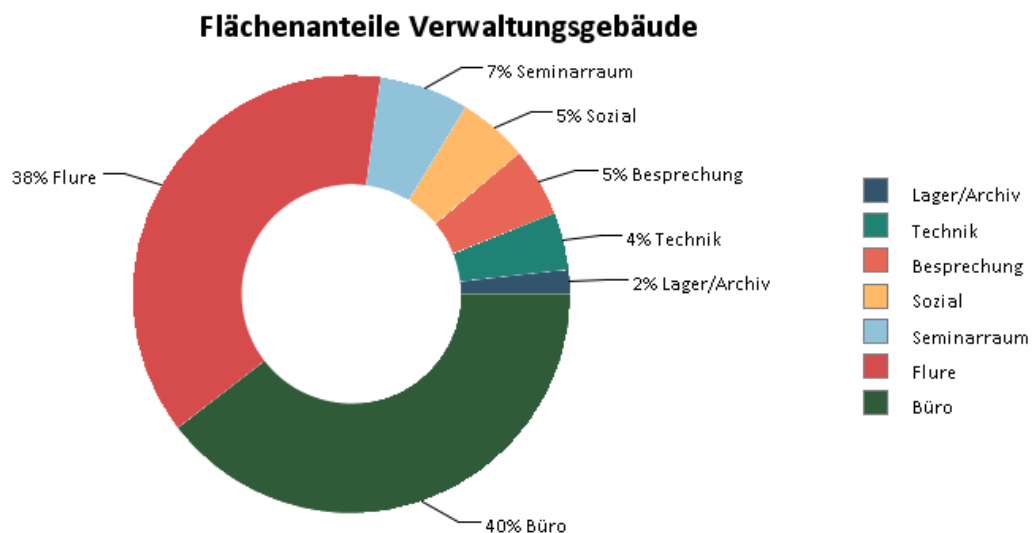


Abbildung 38: Flächenanteile Verwaltungsgebäude

Strombedarf

Die folgende Grafik zeigt einen Überblick über den Gesamtstromverbrauch aller Büros über die drei Messperioden.

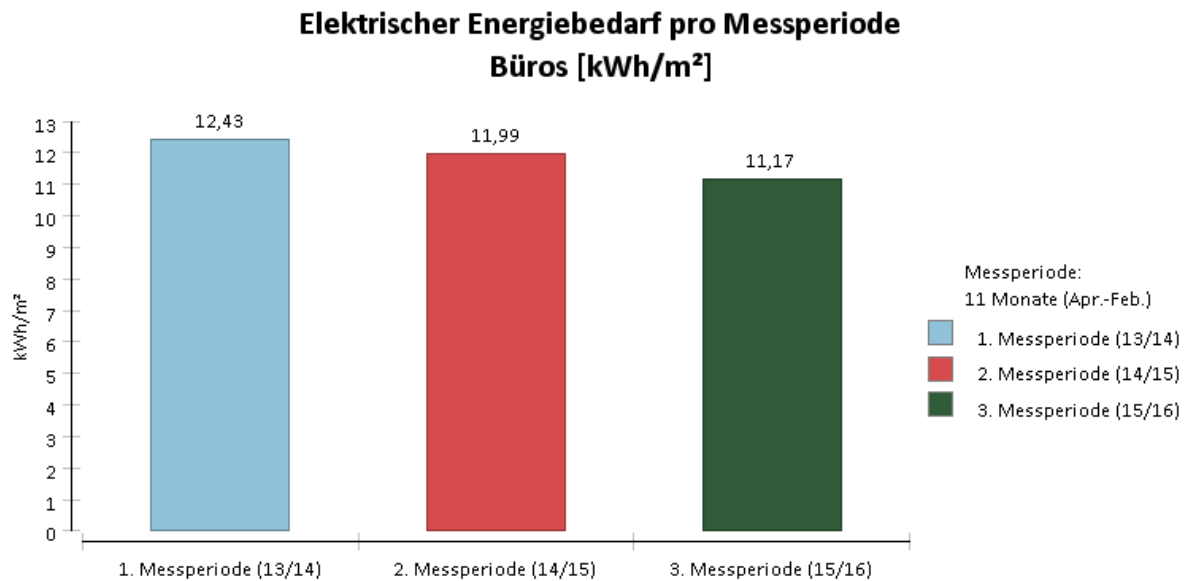


Abbildung 39: Elektrischer Energiebedarf Büros

Über die Messzeiträume ist ein leichter Rückgang des Energiebedarfs ersichtlich. Im Vergleich zur Basislinie hat sich der Bedarf in der letzten Messperiode um ca. 10 % reduziert. Dass am Umwelt-Campus im Strombereich, gerade Beleuchtung betreffend, die Einsparpotenziale nicht in einem größeren Rahmen liegen, liegt daran, dass die Automatisierung hier schon fortgeschritten ist (z. B. Bewegungsmelder und Tageslichtsensoren schon vorhanden). Abbildung 40 zeigt den Anteil der verschiedenen Verbraucher am Gesamtverbrauch (Beleuchtung, EDV, sonstige elektrische Anschlüsse).

Elektrischer Energiebedarf nach Verbrauchsart Büros [kWh]

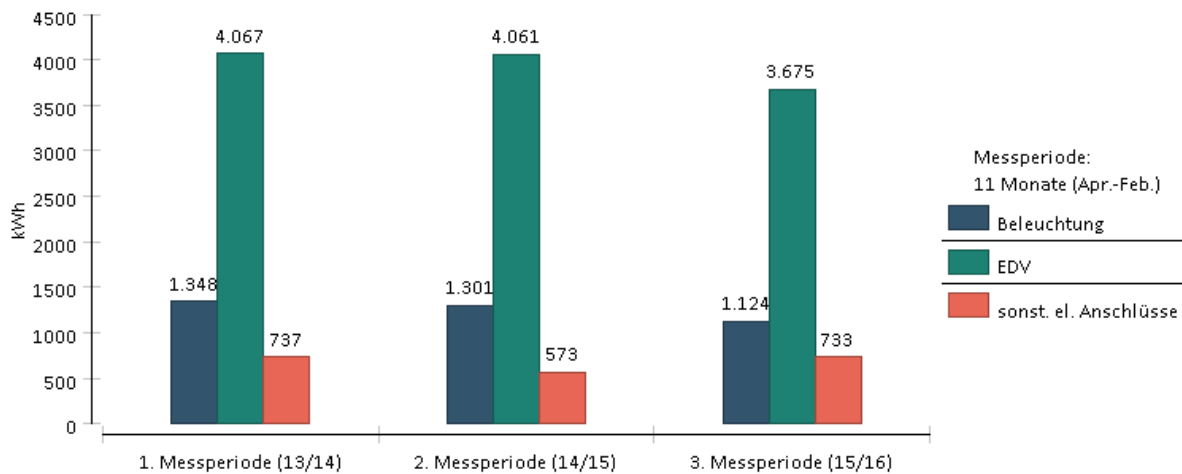


Abbildung 40: Elektrischer Energiebedarf Büros nach Verbrauchsart

Die Verteilung des Energiebedarfs bleibt über die Messperioden weitestgehend konstant, wobei leichte Einsparungen bei der Beleuchtung und den EDV-Steckdosen erkennbar sind, welche den größten Teil des Verbrauchs ausmachen.

Beim ebenfalls im Fachbereichsverwaltungsgebäude gelegenen Seminarraum ergibt sich in der Verteilung ein anderes Bild. Wie in Abbildung 41 zu erkennen, hat hier die Beleuchtung den größten Anteil am Gesamtverbrauch.

Elektrischer Energiebedarf nach Verbrauchsart Seminarraum [kWh]

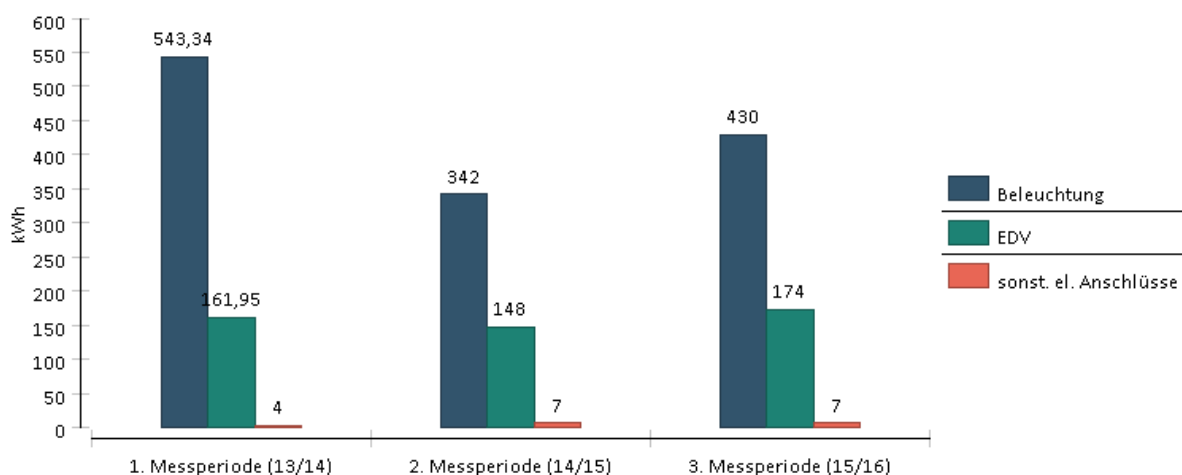


Abbildung 41: Elektrischer Energiebedarf Seminarraum nach Verbrauchsart

Der Energiebedarf durch EDV und sonstige elektrische Anschlüsse ist über die Messzeiträume nahezu identisch. Nur bei der Beleuchtung sind deutliche Veränderungen erkennbar. Zwar ist der Verbrauch von der zweiten auf die dritte Messperiode

hier leicht gestiegen, im Vergleich zur Basislinie kann trotzdem ein leichter Rückgang um ca. 110 kWh verzeichnet werden. Da die Beleuchtung im Seminarraum nicht über Tageslicht- oder Bewegungssensoren geregelt ist, sind die Schwankungen neben den unterschiedlichen Nutzungen auf das Nutzerverhalten zurückzuführen.

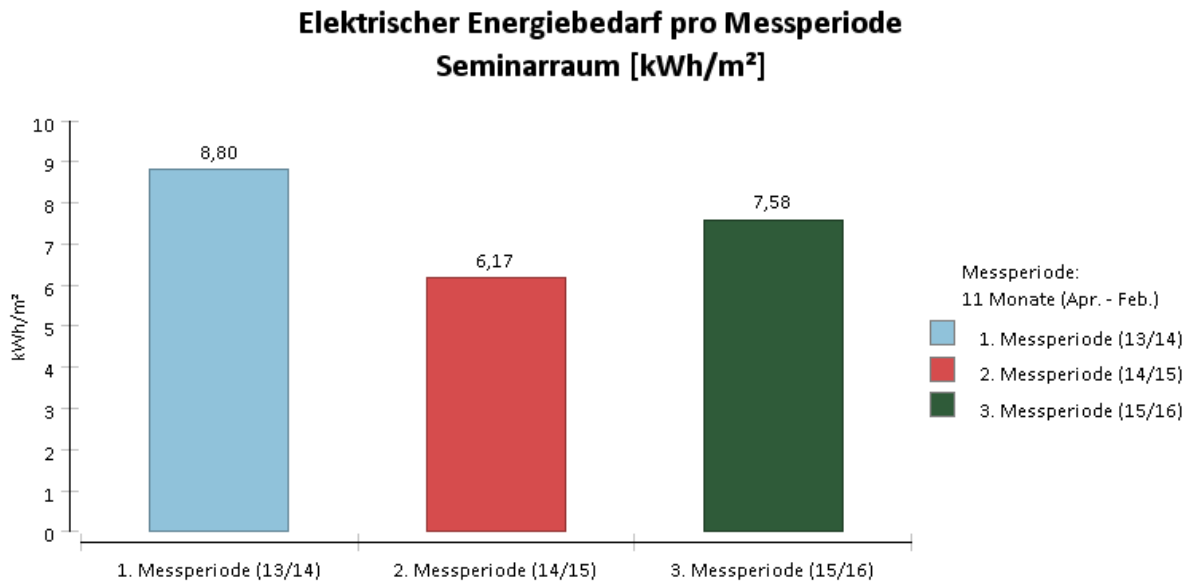


Abbildung 42: Elektrischer Energiebedarf Seminarraum pro Messperiode

Abbildung 42 zeigt den flächenbezogenen Gesamtstromverbrauch des Seminarraums (vgl. auch Abbildung 32)

Wärmebedarf

Die gemessene Wärmeversorgung beruht ausschließlich auf Heizkörpern, die in Büros, Besprechungsräumen und Archiven über Einzelraumregler gesteuert werden.

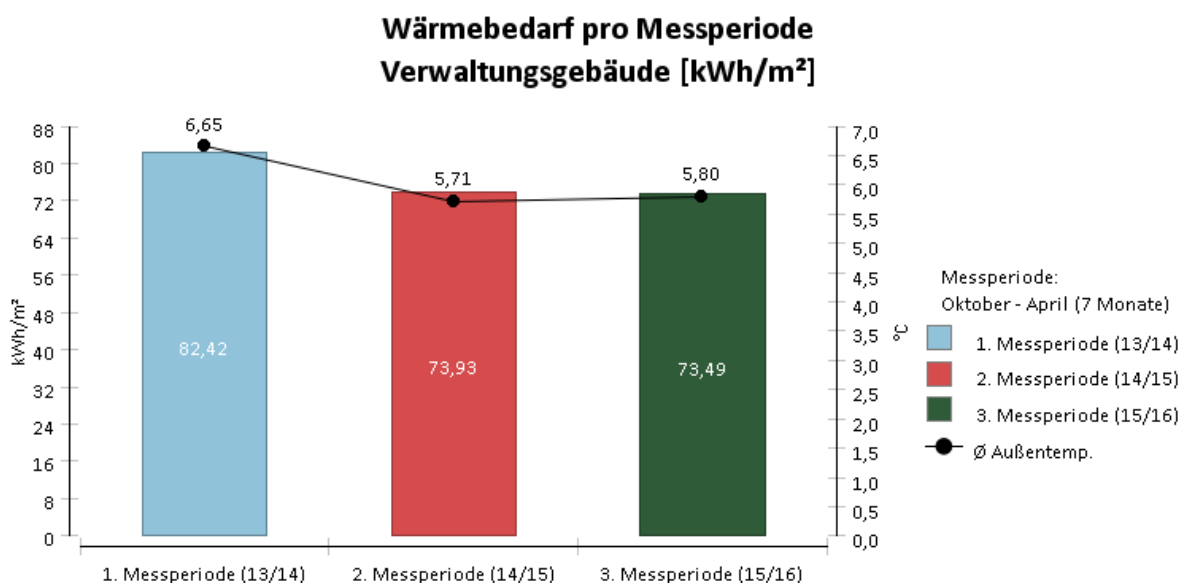


Abbildung 43: Wärmebedarf des untersuchten Verwaltungsgebäudes

Über das gesamte Gebäude ist zwischen der ersten und der dritten Messperiode trotz niedrigerer Außentemperatur ein gesunkener Wärme-Energiebedarf von ca. 11 % zu erkennen.

Büros

Als Raumtyp mit dem größten Flächenanteil im Verwaltungsgebäude (vgl. Abbildung 38: Flächenanteile Verwaltungsgebäude) werden im Folgenden die Büroräume gesondert betrachtet. Abbildung 44: Wärmebedarf je Messperiode der Büros gibt eine Übersicht über die Wärmebedarfsentwicklung bezüglich der drei Messperioden.

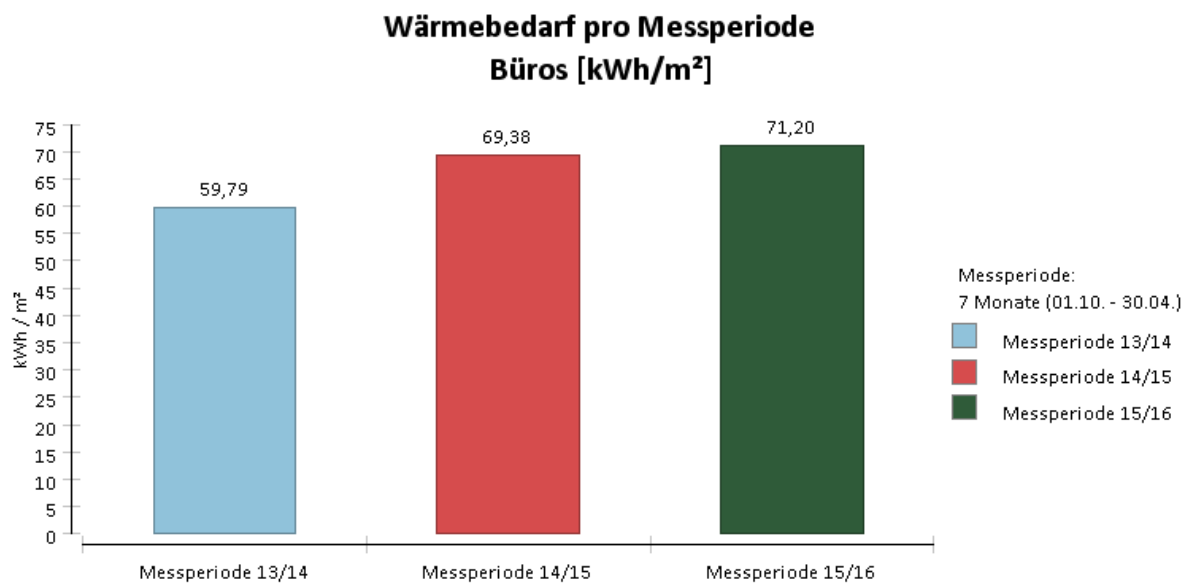


Abbildung 44: Wärmebedarf je Messperiode der Büros

Entgegengesetzt zum Gesamtbedarf im Verwaltungsgebäude, welcher über die Messperioden abnimmt (vgl. Abbildung 43: Wärmebedarf des untersuchten Verwaltungsgebäudes), steigt der Wärmebedarf bei den Büroräumen.

Monatlicher Wärmebedarf Büros [kWh]

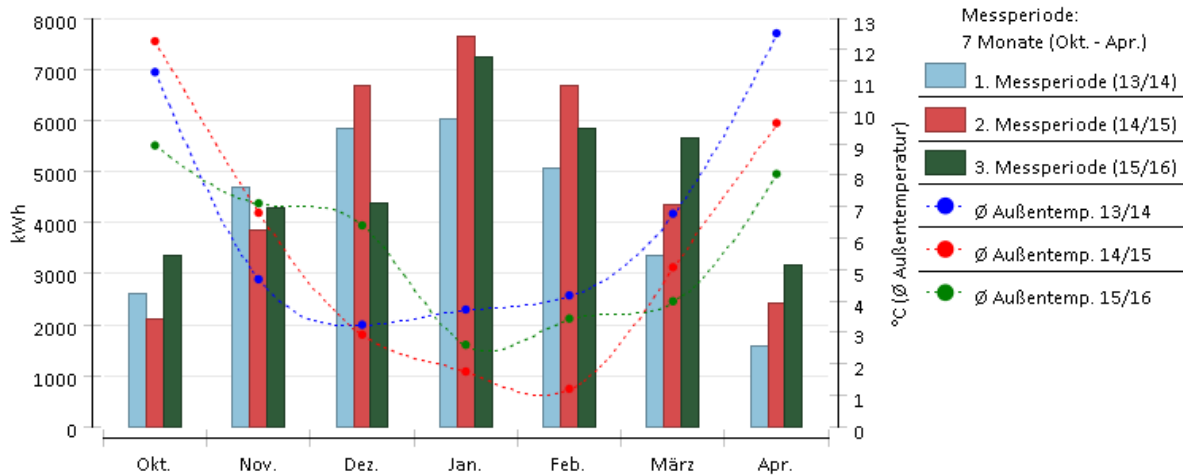


Abbildung 45: Büros - monatlicher Wärmebedarf

In fast jedem Monat folgt der Wärmeenergiebedarf im Groben dem Verlauf der Außentemperaturen. Lediglich im November liegt der Verbrauch der dritten Messperiode trotz wärmeren Temperaturen leicht über dem der zweiten Messperiode. Die Werte liegen hier jedoch sehr nah beieinander.

Leichte Verbrauchsunterschiede können auch durch Veränderungen in den Belegungszeiten verursacht werden. Im Vergleich zum Einfluss der Außentemperatur können diese allerdings vernachlässigt werden, da sich bei der Mitarbeiteranzahl über die Messperioden nur geringe Änderungen ergeben haben.

Da Büros im Vergleich zu anderen Raumtypen sehr regelmäßig genutzt werden, wird bei niedrigeren Außentemperaturen die Heizung vermutlich direkt entsprechend eingestellt. Dies könnte erklären, warum Büros einen stärkeren Zusammenhang zur Außentemperatur zu haben scheinen als sonstige Raumtypen wie Lager oder Flure, bei denen trotz niedrigerer Außentemperaturen Einsparungen erzielt werden konnten (vgl. Abbildung 47).

Seminarraum und sonstige Raumtypen

Der Seminarraum am Rande des Gebäudekomplexes ist häufiger für Blockseminare genutzt als andere Seminarräume des Standorts. Die folgende Abbildung zeigt den spezifischen Wärmebedarf in den Messperioden.

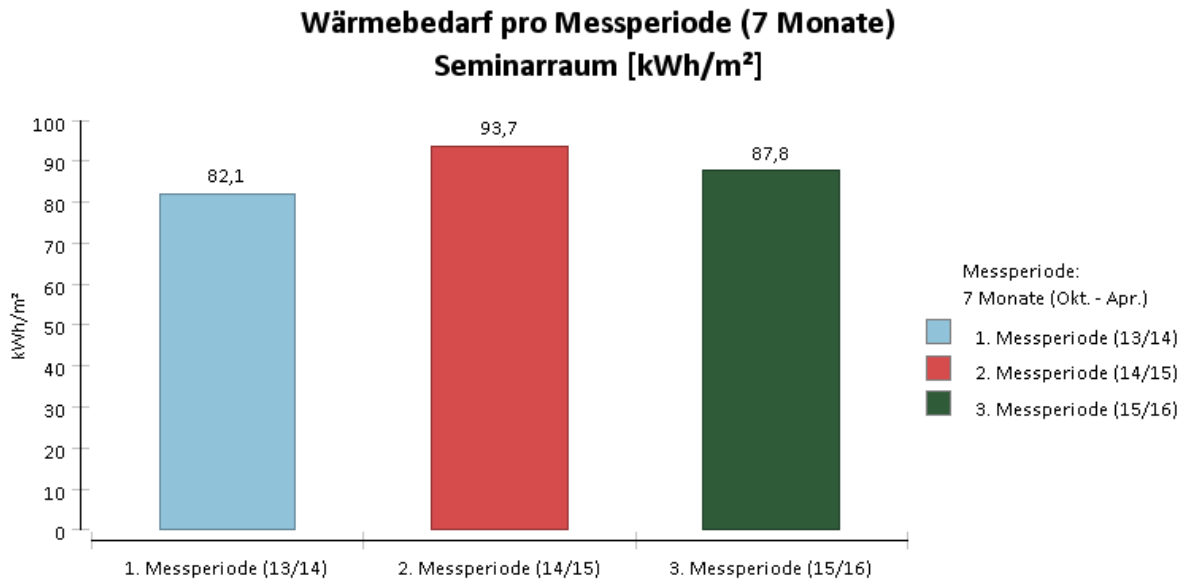


Abbildung 46: spezifischer Wärmebedarf je Messperiode Seminarraum

Eine Absenkung der benötigten Wärme im dritten Messzeitraum lässt darauf schließen, dass die davor eingesetzten Maßnahmen einen messbaren Einfluss auf den Wärmebedarf haben. Vor der dritten Messperiode wurden Obentürschließer an die beiden Seminarraum-Türen angebracht, da festgestellt wurde, dass diese beiden Türen oftmals offen standen (vgl. Absatz 4.3.3.4.1, Maßnahme Nr. 24b). Die jetzt geschlossenen Türen, haben einen sichtbaren Einfluss auf den Wärmeenergieverbrauch des Raumes.

In Abbildung 47 sind die Raumtypen entsprechend ihres spezifischen Wärmebedarfs je Messperiode in einer Rangliste vom höchsten bis zum geringsten Bedarf dargestellt.

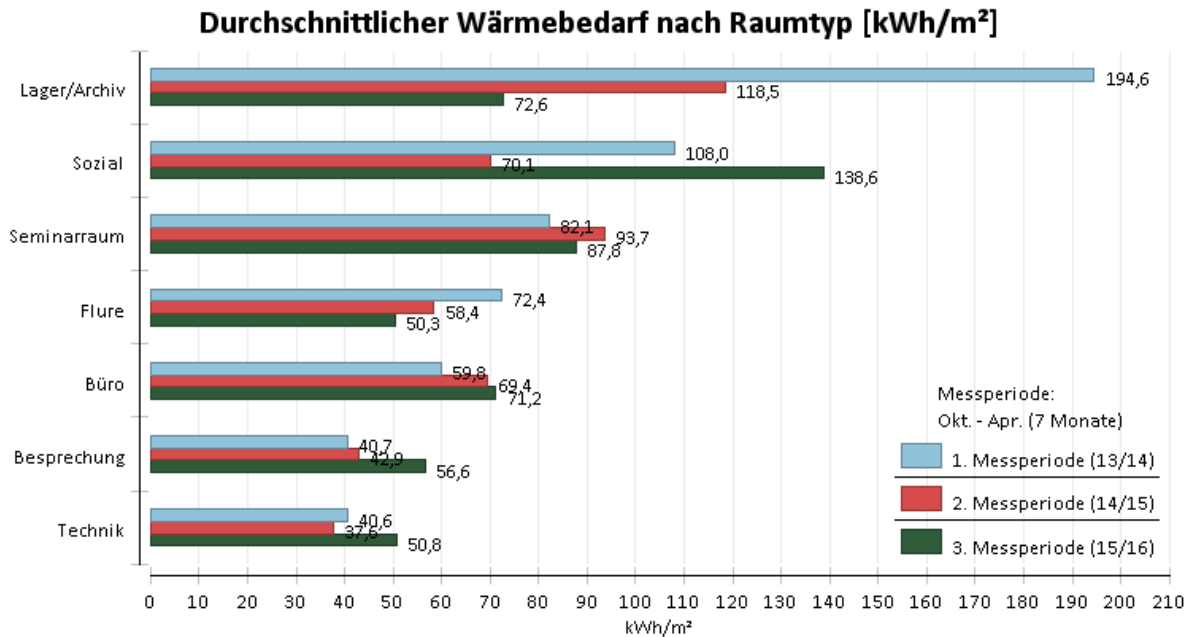


Abbildung 47: Rangliste der spezifischen Wärmeverbräuche je Messperiode nach Raumtyp

Erwartungsgemäß sind Top-Verbraucher durch die Maßnahmen zu einem geringeren spezifischen Verbrauchswert gekommen. Dabei sind beispielhaft die installierten programmierbaren Heizkörperthermostate in verschiedenen Fluren oder die Arretierung der Heizkörperthermostate bspw. in den Lagern zu nennen. Weiterhin kritisch sind die Werte der Kategorie Sozial, in der die Teeküche und die WCs enthalten sind.

Gesamtverbräuche am Umwelt-Campus Birkenfeld

Tabelle 21 zeigt vergleichend zu den REGENA-Messergebnissen die Verbräuche für den gesamten Hochschulstandort Umwelt-Campus Birkenfeld (bezogen auf Kalenderjahre).

Tabelle 21. Gesamtverbräuche Umwelt-Campus Birkenfeld 2013 bis 2015

Energienutzung UCB	2013	2014	2015
Wärmebedarf	2.040.507	1.534.520	1.527.594
Strombedarf	1.026.337	1.001.189	940.513
Kältebedarf	183.007	221.427	238.171
Gesamtenergiebedarf (kWh)	3.249.851	2.757.136	2.706.278

4.3.3.5.4 Fazit 2: Maßnahmen mit Einsparpotenzial

Gesamteinsparungen1026337

Im Gesamtzeitraum wurden in der Summe signifikante Einsparungen erreicht. Folgende Auswertungen und Grafiken zeigen die Ergebnisse im Einzelnen.

Wärmebedarf

Trotz einer geringeren Außentemperatur in der zweiten und dritten Messperiode konnten absolute Einsparungen erzielt werden (vgl. Abbildung 48).

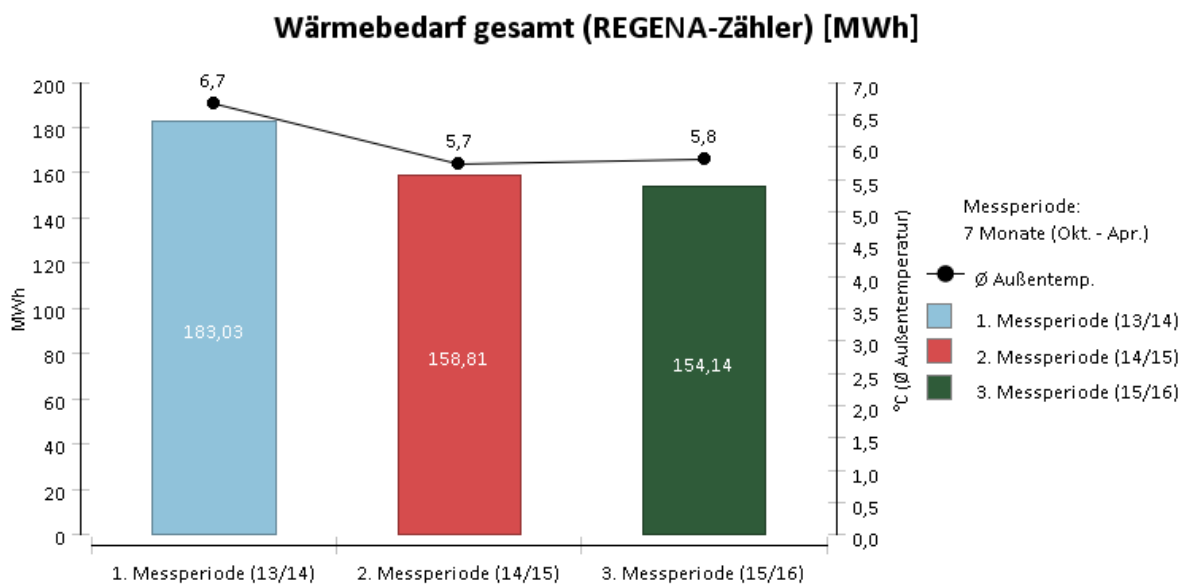


Abbildung 48: Gesamtbedarf Wärme aller gemessenen Gebäude nach Messperiode

Über die drei betrachteten Gebäude (Technikum, Glasbau und Verwaltungsgebäude) ist zwischen der ersten und der dritten Messperiode trotz niedrigerer Außentemperatur ein um ca. 29 MWh gesunkener Wärme-Energiebedarf zu erkennen. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 16 %.

Die größten Anteile der Einsparung gehen auf die Maßnahmen im Verwaltungsgebäude und den Hörsälen zurück, wie in Abbildung 49 zu sehen.

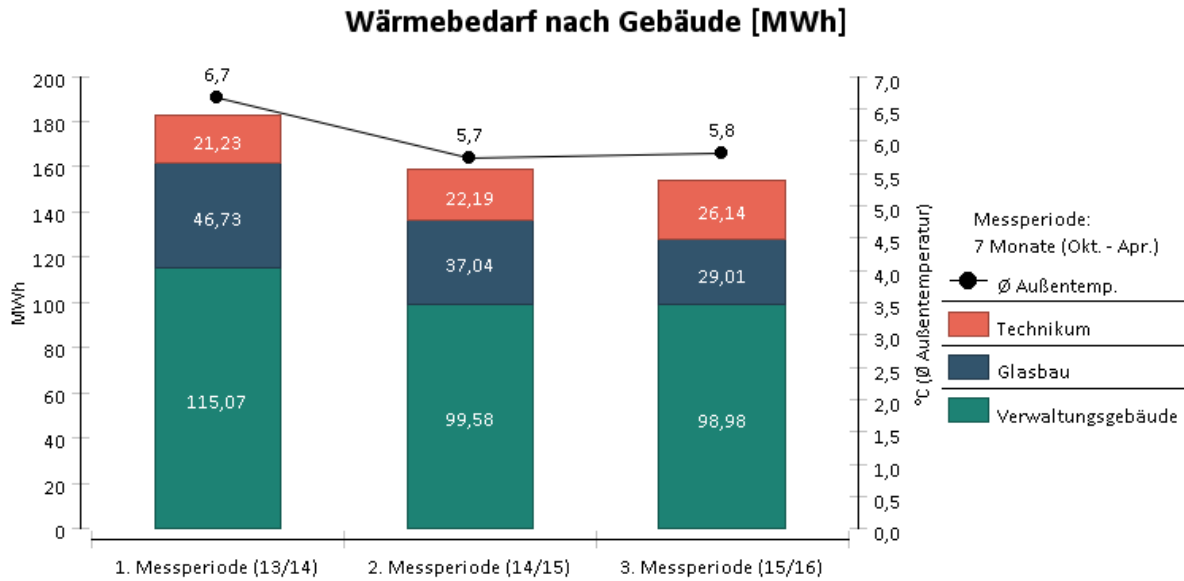


Abbildung 49: Bedarf Wärme nach Gebäuden je Messperiode

In den beiden Gebäuden mit großer Anzahl umgesetzter Maßnahmen ist nachher erwartungsgemäß Wärme effizienter verwendet worden.

Strombedarf

Im Vergleich der drei untersuchten Gebäude zeigt sich, dass der Strombedarf in der ersten und zweiten Messperiode im Glasbau am größten ist. Begründet ist dies durch die Raumluftechnik in den dortigen Hörsälen. Entsprechend ist hier die Veränderung des elektrischen Energiebedarfs in der dritten Messperiode am größten (Abbildung 50).

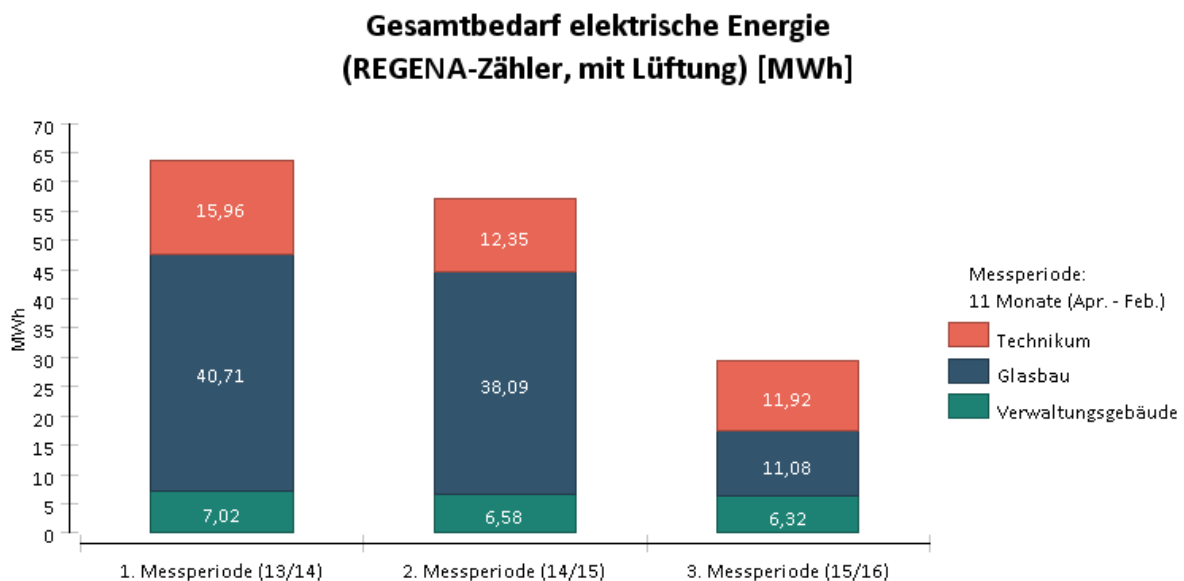


Abbildung 50: Gesamtbedarf elektrische Energie

Das enorme Einsparergebnis in der Summe von ca. 34 MWh (entspricht einer Reduzierung des Strombedarfs um ca. 54 %) ist vor allem auf das Abstellen der nächtlichen Lüftung sowie die Umstellung auf getrennte Belüftung der drei Hörsäle (Glasbau) zurückzuführen. Diese Maßnahmen wurden in Abschnitt 4.3.3.2.2 und Abschnitt 4.3.3.4.2 näher erläutert.

Kältebedarf

Der Gesamtbedarf entspricht hier ausschließlich dem Bedarf der Hörsäle und ist bereits im Abschnitt Glasbau Kälte hinreichend erklärt.

Einzelmaßnahmen und Ergebnisse

Abschaltung nächtliche Lüftung (s. Tabelle geringstinvestive Maßnahmen, Nr. 10, Absatz 4.3.3.2.1):

Die nächtliche Lüftung wurde relativ zu Anfang der zweiten Messperiode Wärme deaktiviert. Abbildung 51 verdeutlicht das erreichte Einsparpotenzial bezüglich des Wärmebedarfs.

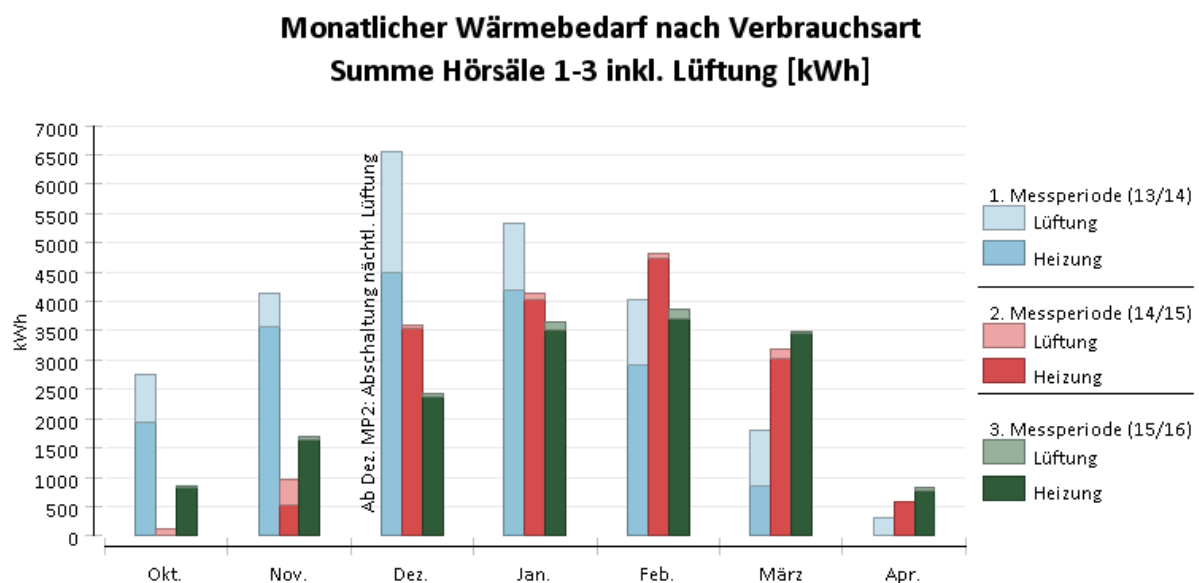


Abbildung 51: Monatlicher Wärmebedarf Hörsäle

Im Folgenden werden die Energieeinsparungen aufgrund der Deaktivierung der nächtlichen Lüftung am 02.12.2014 in den drei Hörsälen näher betrachtet. Um eine Überschneidung mit der Einsparung, die sich aus der Trennung der Belüftung ab März 2015 ergibt, zu vermeiden, werden folgende Vergleichszeiträume herangezogen: 01.12.2013 bis 28.02.2014 und 01.12.2014 bis 28.02.2015. Kälte wird dabei nicht berücksichtigt, da die Daten in der kalten Jahreszeit erhoben wurden.

Fazit Deaktivierung der nächtlichen Lüftung:

Der Strombedarf der Lüftungsanlage ist im Vergleich der betrachteten drei Monate von 9.993,0 kWh auf 6.274,2 kWh gesunken. D. h. der Strombedarf ist um ca. 37 % gesunken.

Gleichzeitig ist der Lüftungswärmeverbrauch im Vergleich dieser drei Monate von 4.330,0 kWh auf 240,0 kWh gesunken. Diese Wärmebedarfseinsparung von ca. 94 % ist umso erfreulicher, wenn man die Außentemperaturen betrachtet, die im Vergleichszeitraum Dezember 2014 bis Ende Februar 2015 im Durchschnitt um ca. 1,7 °C niedriger waren als im Vorjahreszeitraum.

Getrennte Belüftung der drei Hörsäle (s. Tabelle geringinvestive Maßnahmen, Nr. 9c, Abschnitt 4.3.3.4.1):

Durch die Optimierung der Lüftungsanlage können die drei Hörsäle seit März 2015 getrennt belüftet werden. Vorher startete die Lüftung in allen drei Hörsälen, sobald eine Bewegung in einem der drei Hörsäle verzeichnet wurde. Dies war unabhängig davon, ob die anderen Räume belegt waren oder nicht.

Im Folgenden wird die resultierende Einsparung des Strombedarfs gezeigt. Die Lüftungswärme wird aufgrund von Messfehlern, die aufgrund extern durchgeführter Arbeiten in diesem Zeitraum entstanden sind, nicht untersucht. Ebenso wird auf „Kälte“ verzichtet, weil die Messzeiträume lediglich Wintermonate umfassen.

Da lediglich in den drei Monaten von Dezember 2014 bis Ende Februar 2015 die nächtliche Lüftung deaktiviert aber die getrennte Belüftung der drei Hörsäle noch nicht realisiert war, können lediglich diese Zeiträume zum Vergleich herangezogen werden. Weil in beiden zu vergleichenden Zeiträumen die nächtliche Lüftung bereits deaktiviert war, kann die Veränderung des Energiebedarfs auf die getrennte Belüftung zurückgeführt werden.

Fazit getrennte Belüftung der drei Hörsäle:

Im Vergleich der untersuchten Messzeiträume von 01.12.2014 bis 28.02.2015 und 01.12.2015 bis 28.02.2016 ist der Strombedarf der Lüftungsanlage von 6.274,2 kWh auf 1.674,0 kWh gesunken. Dies entspricht einer Stromeinsparung von ca. 73 %.

Summe Maßnahmen „Abstellen nächtliche Lüftung“ und „Getrennte Belüftung der drei Hörsäle“:

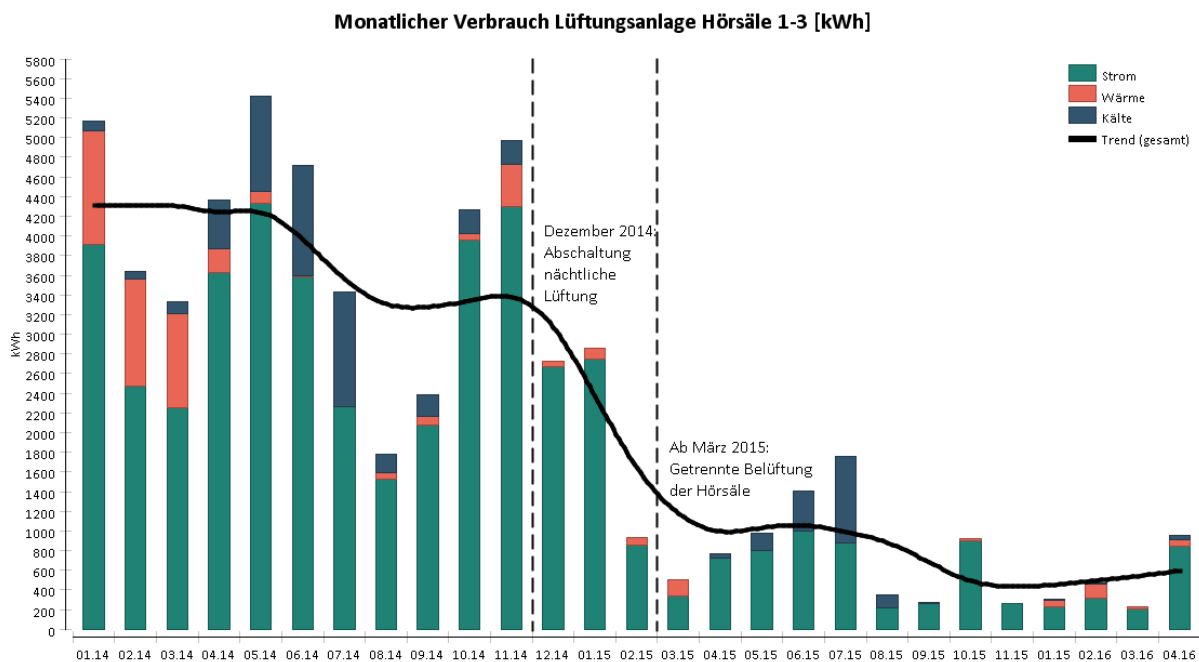


Abbildung 52: Monatlicher Verbrauch Lüftungsanlage Hörsäle 1-3

Abbildung 52 zeigt den monatlichen Verbrauch der Lüftungsanlage von Januar 2014 bis einschließlich April 2016. In dieser Grafik sind die beiden umgesetzten Maßnahmen „Lüftung“ durch eine gestrichelte Linie kenntlich gemacht. Deutlich zu erkennen sind die auf die Maßnahmen folgenden Energieeinsparungen bezüglich der Lüftung.

Die Berechnungen ergaben, dass am Umwelt-Campus mit diesen beiden Maßnahmen (Abstellen der nächtlichen und Trennung der Belüftung) im Jahr ca. 30.000 kWh Strom der Lüftungsanlage eingespart werden kann. Dazu kommen noch die Einsparungen von Wärme und Kälte.

Im Folgenden erfolgt eine nähere Untersuchung bezüglich der erreichten Einsparungen des Kälte-, Wärme- und Strombedarfs, die sich aus der Deaktivierung der nächtlichen Lüftung und der getrennten Belüftung der drei Hörsäle ergeben haben. Dafür werden im Vergleich jeweils die Monate April bis Ende November herangezogen, also acht Monate.

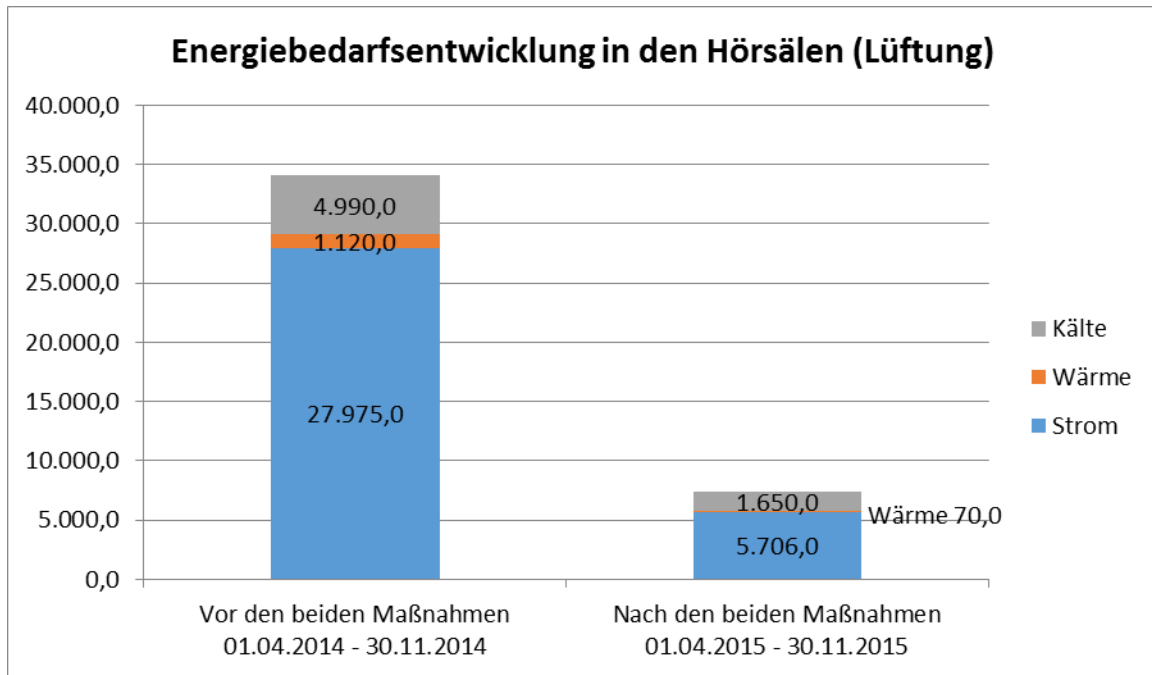


Abbildung 53: Energiebedarfsentwicklung in den Hörsälen aufgrund der beiden Maßnahmen "Lüftung"

Fazit Deaktivierung der nächtlichen Lüftung und getrennte Belüftung der drei Hörsäle:

Abbildung 53 zeigt, dass der Strombedarf der Lüftungsanlage in den acht Vergleichsmonaten von 27.975,0 kWh auf 5.706,0 kWh gesunken ist. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 80 %, die durch die beiden Maßnahmen im Vergleichszeitraum erreicht werden konnte.

Der Wärmebedarf ist durch die beiden Maßnahmen „Lüftung“ im Vergleichszeitraum um ca. 94 %, von 1.120,0 kWh auf 70 kWh gesunken. Der Einfluss der Außentemperaturen ist aufgrund ähnlicher Durchschnittstemperaturen der Vergleichszeiträume vernachlässigbar.

Auch der Kältebedarf ist aufgrund der Deaktivierung der nächtlichen Lüftung und der Trennung der Belüftung der drei Hörsäle im Vergleichszeitraum gesunken. Lag der Kältebedarf im ersten Messzeitraum noch bei 4.990,0 kWh, sank er im vergleichenden darauffolgenden Zeitraum auf 1.650,0 kWh. D. h. durch die Deaktivierung der nächtlichen Lüftung und die Trennung der Belüftung konnte der Kältebedarf im Vergleichszeitraum um ca. 67 % gesenkt werden.

Programmierbare Heizkörperthermostate (s. Tabelle geringinvestive Maßnahmen, Nr. 20a, Absatz 4.3.3.4.1):

Mitte März 2014 wurden die manuellen Heizkörperthermostate an fünf Heizkörpern durch programmierbare ersetzt:

- vier Heizkörper der Verbindungsflure (zwei im Erdgeschoss und zwei im Obergeschoss) zum nächsten Gebäude
- ein Heizkörper im Flur des Erdgeschosses zu den Duschen

Über die vorher montierten manuellen Heizkörperthermostate konnte sowohl von Mitarbeiter als auch von Studierenden die gewünschte Temperatur von „1“ bis „5“ eingestellt werden. Dies sollte durch die programmierbaren Heizkörperthermostate vermieden werden. Durch die Betriebstechnik wurde hier die Solltemperatur festgelegt.

Da diese Maßnahme gegen Ende der ersten Messperiode umgesetzt wurde, können die hiermit erreichten Einsparungen durch den direkten Verbrauchsvergleich der ersten und zweiten Messperiode ermittelt werden. Dazu wurden die Verbrauchswerte dieser fünf Heizkörper über die Heizkostenverteiler je Messperiode ermittelt.

Die folgende Grafik zeigt die Verbräuche für die jeweiligen Messperioden.

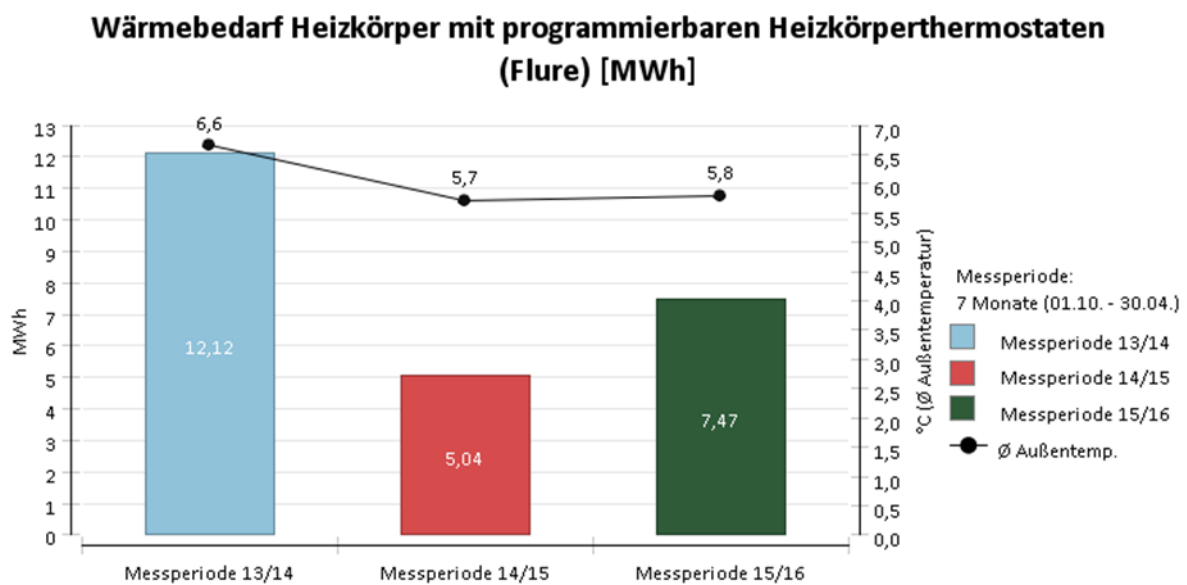


Abbildung 54: Wärmebedarf Heizkörper mit programmierbaren Heizkörperthermostaten (Umstellung ab der 2. Messperiode)

Trotz geringerer Außentemperaturen in Messperiode 2 ist es durch das Ersetzen der manuellen durch programmierbare Heizkörperthermostate gelungen, den Wärmeverbrauch bei diesen fünf Heizkörpern in der zweiten Messperiode um ca. 58 % zu senken. Die dritte Messperiode zeigt einen Anstieg des Verbrauches im Vergleich zur zweiten Messperiode. Dies könnte daran liegen, dass ein programmierbares Heizkörperthermostat defekt war (dies wurde erst im Februar 2016 festgestellt). Der Nachteil dieser Thermostate liegt darin, dass die Ventile komplett geöffnet werden, sobald die Thermostate funktionsuntüchtig sind. Dies gilt bspw. auch bei entleerten Batterien. Daher ist eine regelmäßige Kontrolle dieser Geräte notwendig. Gleichzeitig sollte darauf geachtet werden, dass die Batterien der programmierbaren Heizkörperthermostate nicht durch Unbefugte entfernt werden können.

Arretierung manueller Heizkörperthermostate (s. Tabelle 13: Geringstinvestive Maßnahmen, Nr. 20c, Absatz 4.3.3.2.1):

Teilweise wurden an verschiedenen Heizkörpern die Heizkörperthermostate lediglich durch Stifte arretiert. Diese Maßnahme wurde z. B. in folgenden Fluren und Treppenhäusern umgesetzt:

- vier Heizkörper des großen Treppenhauses (zwei im Erdgeschoss und zwei im Obergeschoss)
- ein Heizkörper im Flur des Obergeschosses zu den WCs

Da im Bereich des großen Treppenhauses auch für Studierende die Möglichkeit besteht, zu arbeiten, wurden diese Thermostate ursprünglich oftmals auf „5“ gedreht, aber nicht wieder runterreguliert. Da dies zu einem unnötig hohen Heizenergieverbrauch führte, wurden die Heizkörperthermostate mittels den Arretierstiften auf „2“ (ca. 16 °C) begrenzt, d. h. ein Weiterdrehen des Thermostates ist nur durch Entfernen des Arretierstiftes möglich.

Da diese Maßnahme im Oktober 2014, also relativ zu Beginn der zweiten Messperiode umgesetzt wurde, können die hiermit erreichten Einsparungen durch den direkten Verbrauchsvergleich der ersten und zweiten Messperiode ermittelt werden. Dazu werden die Verbrauchswerte dieser fünf Heizkörper über die Heizkostenverteiler je Messperiode ermittelt.

Abbildung 55 zeigt die Verbräuche für die jeweiligen Messperioden.

Wärmebedarf Heizkörper mit Arretierung der Heizkörperthermostate (Flure) [MWh]

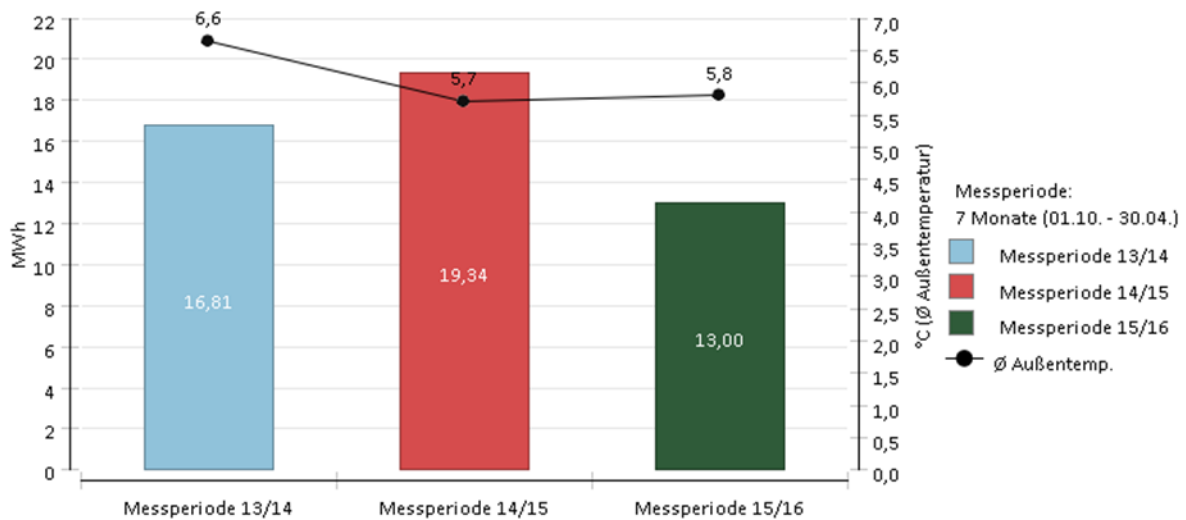


Abbildung 55: Wärmebedarf Heizkörper mit Arretierung der Heizkörperthermostate (ab der 2. Messperiode)

Das Ergebnis dieser Auswertung ist etwas überraschend. Die zweite Messperiode (hier rot gezeichnet) zeigt einen um ca. 15 % höheren Heizenergieverbrauch als die erste Messperiode. Auch wenn die niedrigere Außentemperatur im Vergleich zur ersten Messperiode berücksichtigt wird, ist dieser Trend ungewöhnlich. Aus der Grafik ist auch zu erkennen, dass der Verbrauch in der darauffolgenden dritten Messperiode

de stark absinkt. Hier wurde eine Einsparung zur ersten Messperiode von ca. 23 % erreicht und gegenüber der zweiten Messperiode von ca. 33 %.

Dies könnte daran liegen, dass im Februar 2016, also während der dritten Messperiode, zusätzlich die Heizkörperthermostate der hier betrachteten Heizkörper durch programmierbare Heizkörperthermostate ersetzt wurden. Wie aus Abbildung 54 ersichtlich, wird der Heizenergieverbrauch durch Einsatz von programmierbaren Heizkörperthermostaten gesenkt.

Empfehlung: Bei der Arretierung der Thermostate auf eine Stufe ist entsprechend auf die benötigte Raumtemperatur zu achten. In einem Treppenhaus oder Flur reicht eine geringere Raumtemperatur als bspw. in Büros. Zusätzlich muss hier auch regelmäßig überprüft werden, ob die Arretierstifte tatsächlich noch ihre Funktion erfüllen, um langfristig eine Einsparung zu erreichen.

Bedienhinweise Einzelraumregler und Wärme-Informationsveranstaltungen (s. Tabelle geringstinvestive Maßnahmen, Nr. 49a und 49b, Absatz 4.3.3.2.1):

Obwohl die Usability-Untersuchung (vgl. Abschnitt 4.3.3.1.7) bezüglich den Einzelraumreglern gezeigt hat, dass die Probanden die Geräte auch intuitiv bedienen können, wurden in den untersuchten Büros Bedienhinweise im Bereich der Einzelraumregler angebracht, die auch die Ansprechpartner bei Störungen oder Änderungswünschen bezüglich der Voreinstellungen (Vorheizen Büros) enthielten. Neben dem Ziel der besseren Bedienbarkeit der Geräte sollten auch die Optionen wie das Vorheizen der Büros zu bestimmten Zeiten bekanntgemacht werden.

Neben diesen Hinweisen wurden auch Wärme-Informationsveranstaltungen, wie in Abschnitt 4.3.3.3.1 erläutert, angeboten. Diese beinhalteten auch das korrekte Lüftungsverhalten, welches auch zur Reduzierung des Wärmebedarfs beitragen kann.

Diese beiden Maßnahmen waren die einzigen Möglichkeiten der Nutzer, Wärmeenergie in den Büros einzusparen. Da beide Maßnahmen vor bzw. relativ zu Beginn der zweiten Messperiode umgesetzt wurden, kann der Erfolg anhand des Vergleiches erste und zweite Messperiode „Wärme“ abgeschätzt werden.

Wie die Abbildung 44: Wärmebedarf je Messperiode der Büros zeigt, ist der Wärmebedarf in den Büros in der zweiten und dritten Messperiode um ca. 16 % gegenüber der ersten gestiegen. Auch wenn man die in der zweiten und dritten Messperiode um ca. 14 % und 13 % geringere Außentemperatur berücksichtigt, ist ein geringer Anstieg des Heizenergieverbrauches zu verzeichnen. Dies kann bedeuten, dass die Nutzer ihr Heizverhalten trotz der Bedienhinweise oder der Wärme-Informationsveranstaltungen nicht geändert haben.

Strom-Informationsveranstaltungen (s. Tabelle geringstinvestive Maßnahmen, Nr. 30b sowie Nr. 49b, Absatz 4.3.3.2.1):

Die Strom-Schulungen wurden sowohl für die Mitarbeiter der untersuchten Büros als auch für die Dozenten und Studierende in den Hörsälen und im Seminarraum angeboten (s. Absatz 4.3.3.3.1). In den Büros ist die Beleuchtung über Bewegungssenso-

ren und Tageslichtsensoren geregelt, in den Hörsälen und Seminarräumen nicht. Deshalb wird hier lediglich der Strombedarf in den Hörsälen bzw. im Seminarraum betrachtet, weil diese durch den Nutzer beeinflusst werden. Es wird zum einen die Änderung des Strombedarfs kurz nach der Strom-Schulung (Zeitspanne eine Woche) und längerfristig danach aufgezeigt. Das Ergebnis soll Aufschluss darüber geben, wie lange eine solche Veranstaltung bei den Nutzern nachwirkt.

Dabei bedeutet „zeitnah“, dass die Stromverbräuche im Zeitraum von einer Woche vor den ersten Strom-Informationsveranstaltungen mit den Stromverbräuchen im Zeitraum von einer Woche nach den ersten Strom-Informationsveranstaltungen verglichen werden.

Die ersten Stromschulungen für Dozenten und Studierende wurden im Zeitraum vom 11.06. bis zum 26.06.2014 angeboten. Da die vorlesungsfreie Zeit am 07.07.2014 begann, wird für die Verbrauchsentwicklung lediglich ein Zeitraum von einer Woche betrachtet.

Bei der längerfristigen Auswertung werden als Vergleich die Stromverbräuche während eines Zeitraumes von zwei Monaten vor den ersten Strom-Informationsveranstaltungen mit einem Zeitraum von zwei Monaten nach den letzten Strom-Informationsveranstaltungen verglichen. Dabei wurden die Zeiträume so gewählt, dass die Vergleichsdaten außerhalb der Semesterferien erfasst wurden und in beiden Fällen die gleichen Monate untersucht wurden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den zeitlichen Zusammenhang der Auswertungen zu den angebotenen Stromschulungen.

Tabelle 22: Zeitliche Abhängigkeit der Stromverbrauchsmessungen zu den Stromschulungen

Langfristige Messung (vorher)	Kurzfristige Messung (vorher)	Erste Stromschulung	Kurzfristige Messung (nachher)	Zweite (letzte) Stromschulung	Langfristige Messung (nachher)
01.10.2013-30.11.2013	30.05.2014-06.06.2014	11.06.2014-26.06.2014 (Studierende u. Dozenten Hörsäle + Dozenten Seminarraum)	27.06.2014-04.07.2014	04.06.2015-15.06.2015 (Studierende u. Dozenten Hörsäle + Dozenten Seminarraum) /30.06.2015 (Studierende Seminarraum)	01.10.2015-30.11.2015
2 Monate	1 Woche		1 Woche		2 Monate

Zunächst wird die Strombedarfsentwicklung in den drei Hörsälen betrachtet.

Abbildung 56 zeigt den Stromverbrauch je Hörsaal zeitnah vor und nach der ersten Strom-Informationsveranstaltung.

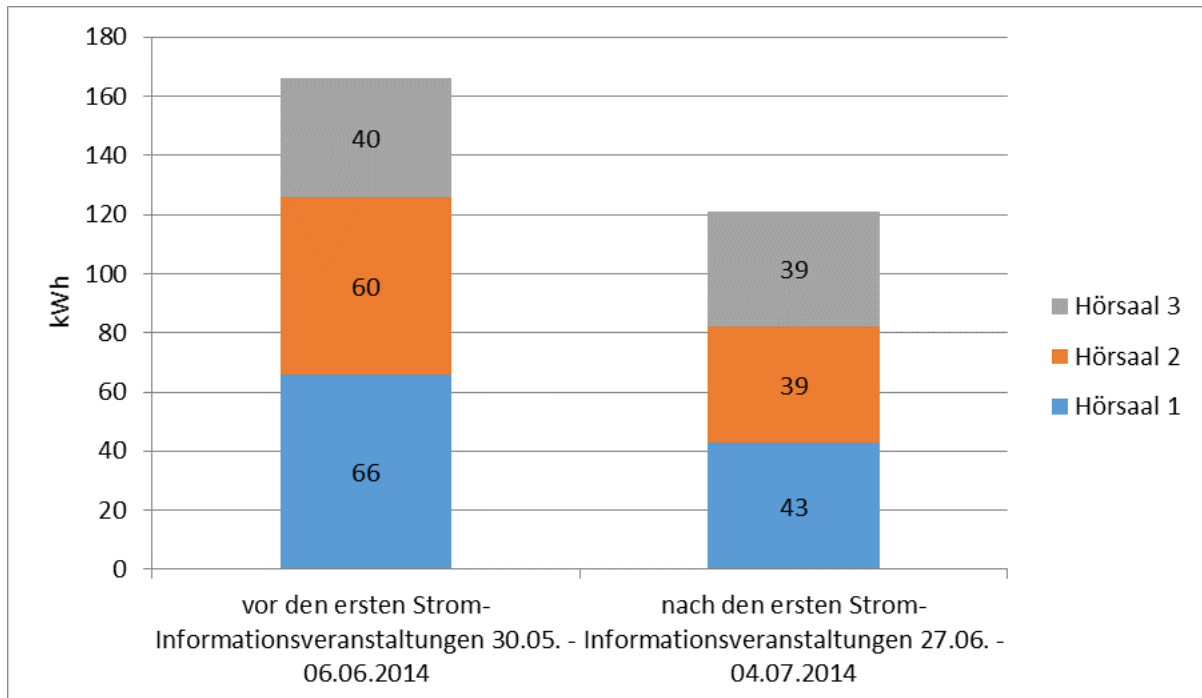


Abbildung 56: Strombedarfsentwicklung in den Hörsälen zeitnah vor und nach der ersten Strom-Informationsveranstaltung

Im zeitnahen Vergleich ist in der Summe für die drei Hörsäle nach den Veranstaltungen eine Energieeinsparung von ca. 27 % zu verzeichnen. Darin enthalten sind die Beleuchtung, die Steckdosen und die EDV sowie der Beameranschluss.

Abbildung 57 zeigt, dass bei der längerfristigen Auswertung im Zeitraum von zwei Monaten, jeweils vor den ersten und nach den letzten Strom-Informationsveranstaltungen für den Strombedarf in den Hörsälen nur noch eine Stromeinsparung von ca. 3 % zu verzeichnen ist.

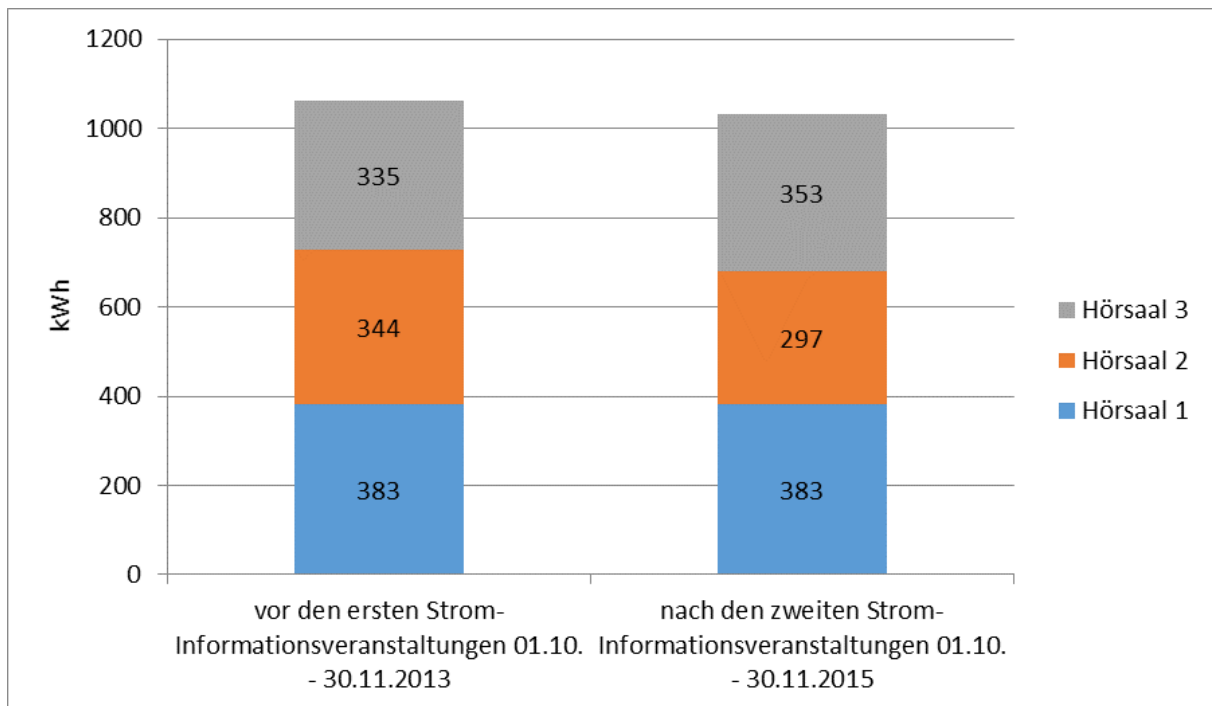


Abbildung 57: Strombedarfsentwicklung in den Hörsälen längerfristig vor der ersten und nach den zweiten Strom-Informationsveranstaltungen

Das Ergebnis überrascht hier nicht. Kurz nach den Strom-Informationsveranstaltungen fühlen sich die Nutzer noch in der Verantwortung energiebewusst zu handeln, indem bspw. das Licht gelöscht wird (vgl. Energieeinsparung von 27 %).

Die Messungen, die ca. 3 Monate nach den Strom-Informationsveranstaltungen durchgeführt wurden, zeigen, dass die Nutzer vermutlich wieder in alte Gewohnheiten zurückfallen (vgl. Stromeinsparung von ca. 3 %) und bspw. das Licht nicht beim Verlassen des Raumes löschen. Allerdings muss erwähnt werden, dass der Beginn eines neuen Semesters, evtl. mit anderen Studierenden als den bereits Geschulten, hierbei ebenfalls einen Negativeinfluss haben könnte.

Dennoch zeigt Abbildung 58, dass der Strombedarf in den drei Hörsälen abnimmt. Dies ist gerade nach den Strom-Informationsveranstaltungen, die jeweils im Juni stattfanden, zu erkennen.

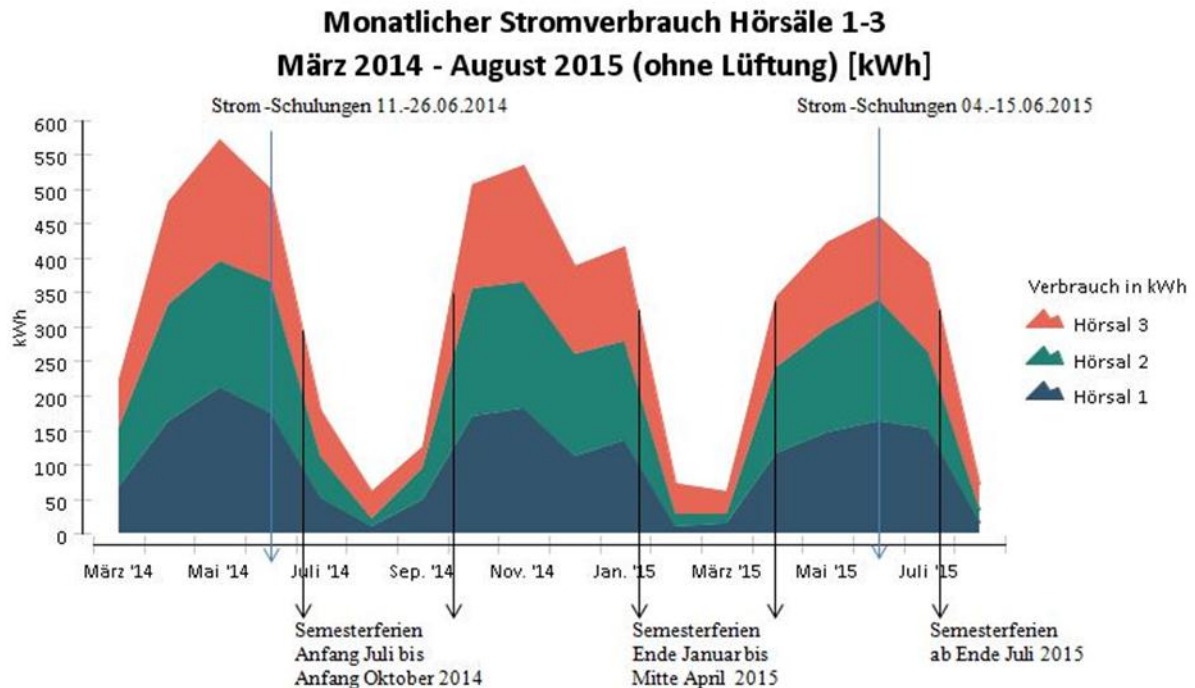


Abbildung 58: Monatlicher Stromverbrauch in den drei Hörsälen

Im Vergleich zu den Hörsälen wird im Folgenden gezeigt, wie sich der Strombedarf im Seminarraum aufgrund der Stromschulungen verändert hat. Hier wurden bei der ersten Schulung im Juni 2014 lediglich die Dozenten per Mail bezüglich Energiesparen informiert. Bei der zweiten Strom-Schulung im Juni 2015 wurden auch die Studierenden vor Ort über Energiesparmaßnahmen den Stromverbrauch im Seminarraum informiert. Hierbei werden die gleichen Zeiträume für die Stromverbrauchsermittlung zugrunde gelegt.

Abbildung 59 zeigt den Stromverbrauch des Seminarraumes, getrennt nach Stromverbrauchern, zeitnah vor und nach den ersten Strom-Informationsveranstaltungen.

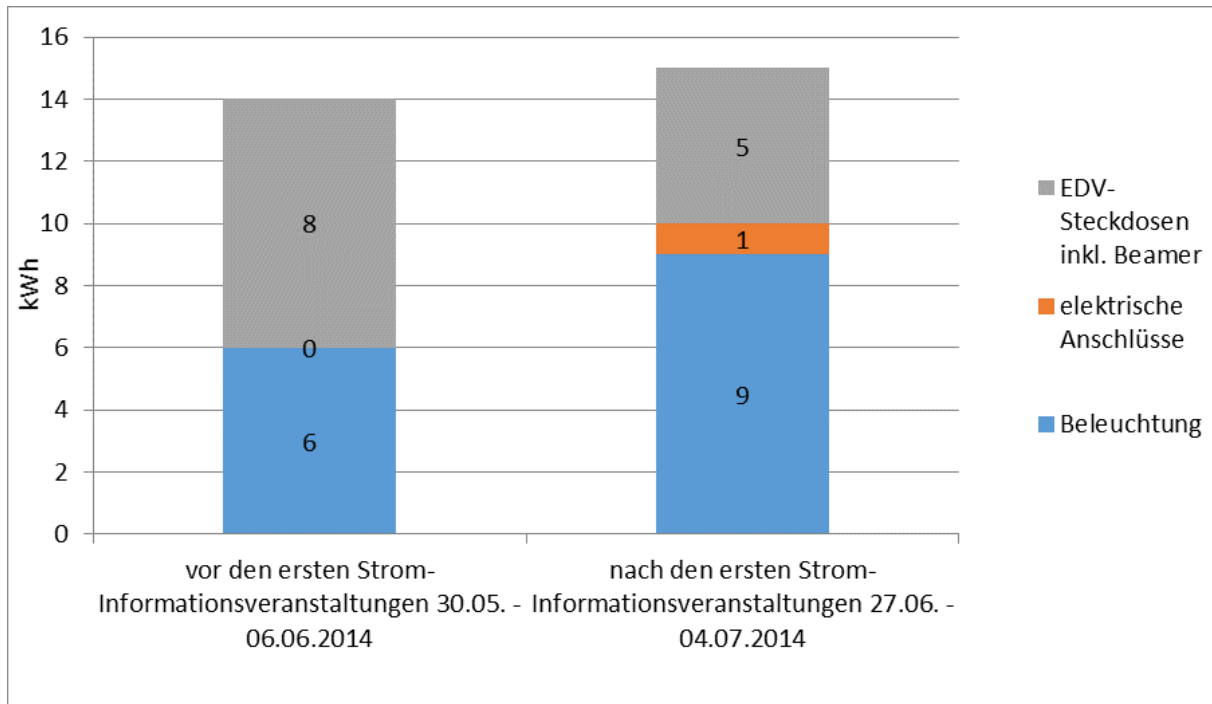


Abbildung 59: Strombedarfsentwicklung im Seminarraum zeitnah vor und nach den ersten Strom-Informationsveranstaltungen

Im zeitnahen Vergleich ist nach den Veranstaltungen sogar ein Energiemehrverbrauch von ca. 7 % zu verzeichnen. Darin enthalten sind die Beleuchtung, die Steckdosen und die EDV sowie der Beameranschluss. Zu bedenken ist, dass hierbei lediglich die Dozenten geschult worden sind.

Abbildung 60 zeigt, dass bei der längerfristigen Auswertung im Zeitraum von zwei Monaten, jeweils vor den ersten und nach den letzten Strom-Informationsveranstaltungen für den Strombedarf eine Einsparung von ca. 19 % zu verzeichnen ist. D. h. hier ist sogar der gegenteilige Effekt als bei den Hörsälen zu erkennen, wobei diese Einsparung lediglich durch die Beleuchtung erreicht wird. Zu berücksichtigen hierbei ist, dass die zweite Strom-Informationsveranstaltung für Dozenten und Studierende angeboten wurde. Da aber die Messung nach den Semesterferien erfolgte, ist nicht auszuschließen, dass die Studierenden hier gewechselt haben.

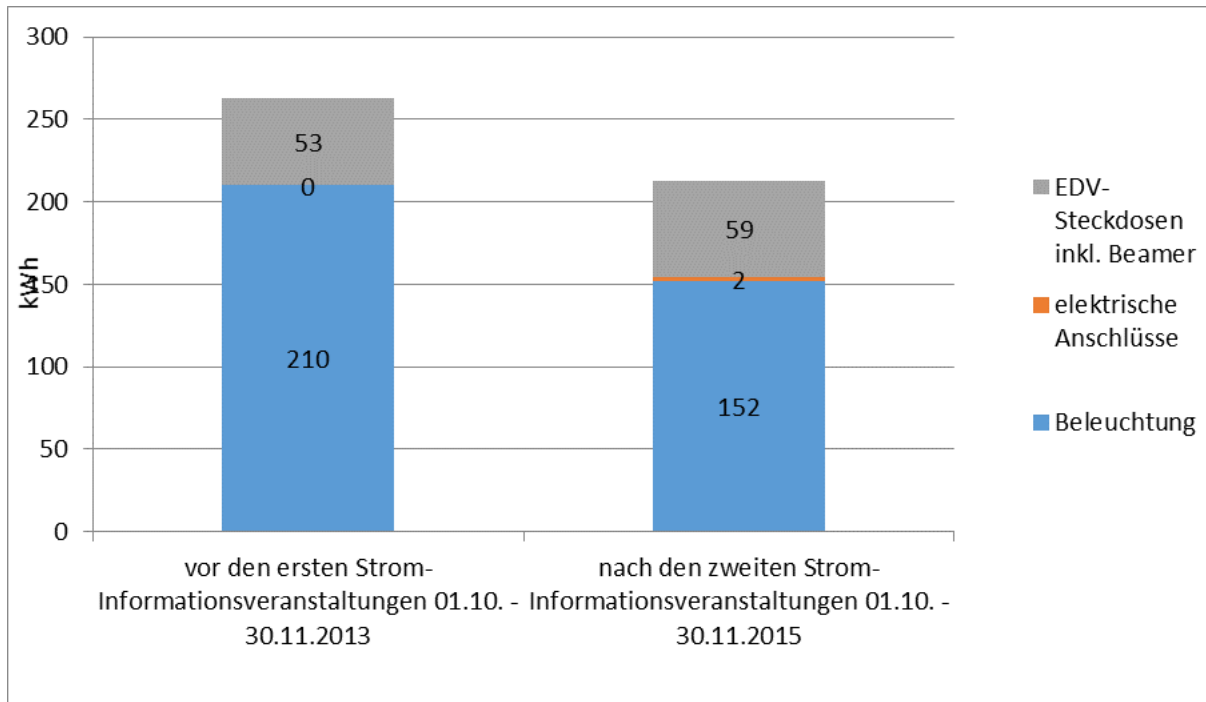


Abbildung 60: Strombedarfsentwicklung im Seminarraum längerfristig vor der ersten und nach den zweiten Strom-Informationsveranstaltungen

Betrachtet man nur die Hörsäle, könnte das Fazit lauten, dass die Schulungen nur kurzfristig Erfolg zeigen, aber die Nutzer irgendwann wieder in alte Verhaltensmuster fallen, d. h. die Gewohnheiten der Nutzer werden durch solche Veranstaltungen nicht durchbrochen.

Umso erstaunlicher ist das Ergebnis im Seminarraum. Hier ist direkt nach der Strom-Informationsveranstaltung sogar ein Strom-Mehrverbrauch zu erkennen. Umso überraschender, dass die längerfristige Betrachtung hier ergab, dass Strom eingespart wurde (ca. 19 %). Dies könnte folgende Ursachen haben:

- Im Seminarraum wurden über die erste Informationsveranstaltung lediglich die Dozenten, nicht aber die Studierenden, geschult. Die Schulungen erfolgten per E-Mail. Evtl. haben nicht alle angeschriebenen Dozenten die Informationen gelesen oder die Hinweise wurden nicht berücksichtigt. Zusätzlich fällt bei der zeitnahen Erhebung der Einspar-Effekt durch die Studierenden weg.
- Der Seminarraum fasst wesentlich weniger Studierende als die Hörsäle. Unabhängig von etwaigen Schulungen fühlen sich dadurch die Studierenden eher verantwortlich bspw. das Licht auszuschalten als bei größeren Gruppen. Dies könnte die Einsparung über den Zeitraum von zwei Monaten, gemessen ca. drei Monate nach den letzten Strom-Informationsveranstaltungen, erklären.
- Durch die Raumgegebenheiten und die geringere Anzahl Studierender verlässt hier evtl. der Dozent als letztes den Raum und löscht das Licht. Dies geschieht allerdings unabhängig von evtl. durchgeführten Informationsveranstaltungen bezüglich Stromeinsparung, wie die zeitnahe Untersuchung zeigt.

- Der Strombedarf im Seminarraum ist von vorne herein schon relativ gering. Deswegen fällt eine mögliche Einsparung auch geringer aus als bei Räumen mit hohen Verbräuchen.

Hinweise zum Licht ausschalten (s. Tabelle geringstinvestive Maßnahmen, Nr. 30a, Absatz 4.3.3.2.1):

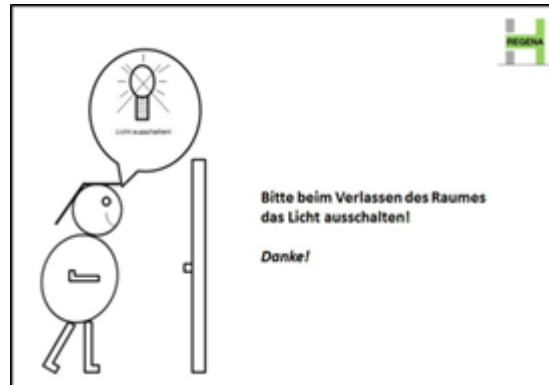


Abbildung 61: Hinweis zum Licht löschen

Die Hinweise zum Löschen des Lichtes wurden Ende September 2014 in den drei Hörsälen angebracht. Zwar wird der Strombedarf in den Hörsälen nicht separat für die Beleuchtung erfasst, trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass die Beleuchtung der größte Energieverbraucher in den Hörsälen ist. Sonstige Stromverbraucher sind lediglich ein Beamer und ein Overheadprojektor. Ferner sind zwei Steckdosen an der Rückwand und eine an der Tür des Hörsaals vorhanden, die entsprechend den durchgeführten Beobachtungen kaum genutzt werden.

Um eine Änderung des Strombedarfs feststellen zu können, wurde der Verbrauch über einen Messzeitraum von Oktober 2013 bis Ende Februar 2014 (ohne Hinweise zum Licht löschen) mit dem Verbrauch von Oktober 2014 bis Ende Februar 2015 (mit Hinweisen zum Licht löschen) ermittelt. Die Zeiträume wurden so gewählt, um zum einen die dunkleren Monate (Herbst- und Wintermonate) zu berücksichtigen und zum anderen, um Überschneidungen mit den Auswirkungen der Strom-Informationsveranstaltungen zu vermeiden.

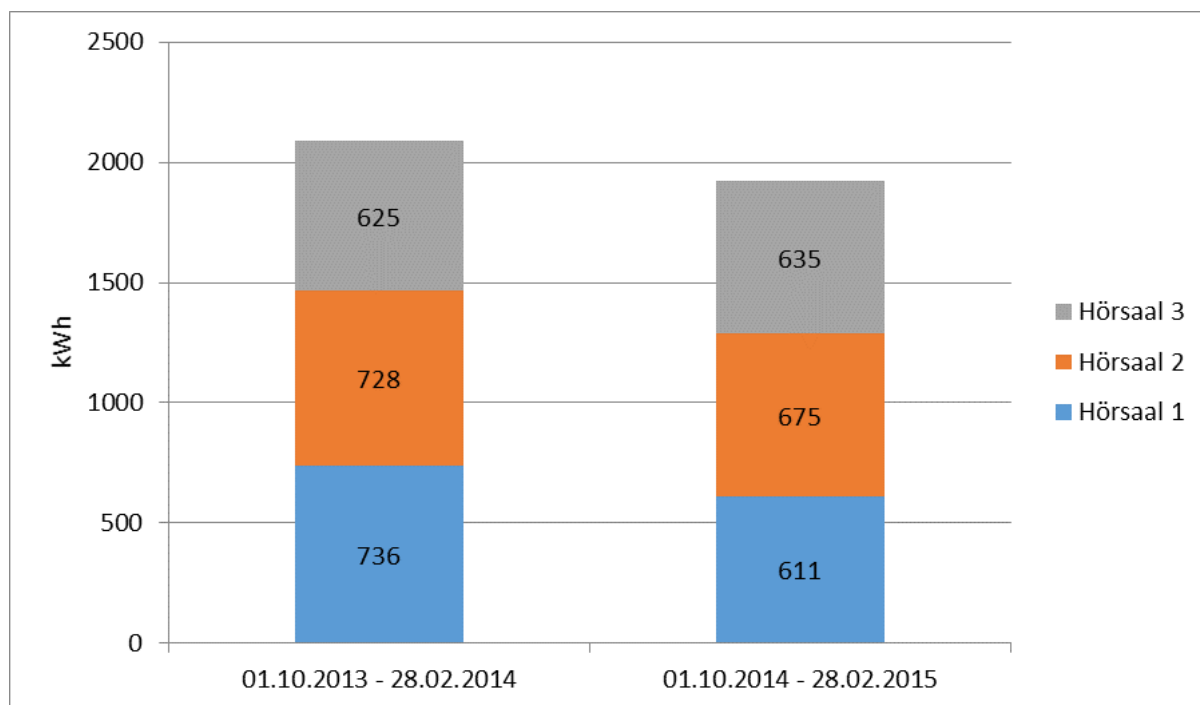


Abbildung 62: Strombedarfsentwicklung in den Hörsälen in Abhängigkeit von Hinweisen zum Löschen des Lichts

Nach dem Anbringen der Hinweise wurde in den drei Hörsälen in der Summe ca. 8 % Strom eingespart. Alle drei Hörsäle sind gleich konzipiert, allerdings ist der Tageslichteinfall, bedingt durch ihre Lage im Gebäude, leicht unterschiedlich. Trotzdem ist die Aufteilung auf die drei Hörsäle überraschend: Im Hörsaal 1 wurde über diesen Zeitraum ca. 17 % eingespart, im Hörsaal 2 ca. 7,3 % und im Hörsaal 3 wurde ein Mehrverbrauch von ca. 1,6 % verzeichnet. Das bedeutet, dass nicht verallgemeinernd geschlussfolgert werden kann, dass Energiesparhinweise erfolgversprechend sind. Vielmehr liegt der Schluss nahe, dass die Erfolgsaussichten der Hinweise nutzungs- und nutzerabhängig sind und Hinweise zum Energiesparen alleine nicht ausreichen.

Austausch vorhandener Beleuchtungsmittel im Technikum gegen LEDs (s. Tabelle geringinvestive Maßnahmen, Nr. 31a, Absatz 4.3.3.4.1):

Im untersuchten Technikum waren bis Oktober 2015 dreißig Leuchtstoffröhren mit jeweils 58 W eingebaut. Im Zeitraum von Oktober bis Ende Dezember 2015 wurden diese gegen LED-Röhren mit jeweils 25 W ausgetauscht.

Die Beleuchtung im Technikum ist aufgrund fehlender Trennung der Arbeitsplatzleuchten fast ständig eingeschaltet. Wird eine tägliche Arbeitszeit von 8 Stunden angenommen, an denen die Beleuchtung angeschaltet war und werden 220 Arbeitstage/Jahr zugrunde gelegt, ergibt sich durch den Austausch der Leuchtstoffröhren eine Stromeinsparung von ca. 1.742 kWh/Jahr. Werden Stromkosten von 0,18 €/kWh angesetzt, können mit dieser Maßnahme ca. 314 € pro Jahr gespart werden. Berück-

sichtigt man die Kosten der neuen LEDs (hier gesamt ca. 1.000 € brutto), so amortisiert sich der Austausch in ca. 3 Jahren (ohne Berücksichtigung der Arbeitskosten).

Im Technikum war zusätzlich zum Austausch der vorhandenen Beleuchtungsmittel auch die Trennung der Schaltkreise für die Arbeitsplatzbeleuchtung vorgesehen. Allerdings wurde diese energiesparende Maßnahme aufgrund des zu großen Aufwandes nicht umgesetzt.

Austausch vorhandener Beleuchtungsmittel in den Aufzügen gegen LEDs (s. Tabelle geringinvestive Maßnahmen, Nr. 42b, Absatz 4.3.3.4.1):



Abbildung 63: Kabinenbeleuchtung Aufzüge

Die Kabinenbeleuchtung der drei Aufzüge des Umwelt-Campus ist aus Sicherheitsgründen ständig eingeschaltet. Alle drei Aufzüge waren ursprünglich mit 8 Halogenstrahlern ausgestattet. In einem wurden diese bereits durch LEDs ersetzt. Auch in den übrigen beiden Aufzügen sollen die Halogenstrahler durch LEDs ersetzt werden.

Die folgende Tabelle verdeutlicht das Einsparpotenzial, wenn alle drei Aufzüge auf LEDs umgerüstet werden:

Tabelle 23: Einsparpotenzial bei Austausch Beleuchtungsmittel in den Aufzügen

Energieeinsparpotenzial bei Austausch der Halogenstrahler gegen LED-Spots	
Anzahl Leuchtmittel	24 Stück
Leistung Halogenstrahler	20 W
Leistung eines vergleichbaren LED-Spots	1 W
Energieverbrauch der Halogenstrahler	4.204,8 kWh/a
Energieverbrauch der LED-Spots	210,24 kWh/a
Mögliches Einsparpotenzial	3.994,56 kWh/a

Bei Stromkosten von 0,18 €/kWh können mit dieser Maßnahme ca. 719 € pro Jahr eingespart werden.

Zusätzliches Einsparpotenzial birgt eine „intelligente“ Kabinenbeleuchtung: Das Kabinenlicht der Aufzüge ist ständig eingeschaltet, auch wenn die Aufzüge nicht genutzt werden. Laut dem Hersteller kann die Kabinenbeleuchtung jedoch "zu einem vordefi-

nierten Zeitpunkt nach der letzten Anforderung des Aufzugs automatisch deaktiviert werden. Bei der nächsten Anforderung des Aufzugs wird die Beleuchtung dann wieder automatisch eingeschaltet und der Fahrgast kann die Kabine sicher betreten." (KONE GmbH, kein Datum)

4.3.3.6 Zusammenfassende Energiebilanz der Untersuchungszeiträume

Tabelle 24 stellt die Verbräuche über die verschiedenen Messzeiträume zusammenhängend dar. Zu erkennen ist, dass insgesamt 27 % Energie eingespart werden konnten, dabei 16 % im Bereich der Wärme, 54 % im Bereich Strom und 75 % im Bereich Kälte.

Tabelle 24. Energieverbräuche und Einsparungen während der Messperioden

Messperiode	Energieart	Messperiode I 2013/2014 (Nulllinie)	Messperiode II 2014/2015		Messperiode III 2015/2016		Gesamt- bilanz
				I: II		II: III	
Okt.-Apr.	Wärmebedarf	183.030	158.810	-13%	154.140	-3%	-16%
Apr.-Feb.	Strombedarf	63.690	57.020	-10%	29.320	-49%	-54%
Apr.-Okt.	Kältebedarf	6.680	4.680	-30%	1.640	-65%	-75%
Gesamtenergiebedarf (kWh) REGENA- Messbereich	alle	253.400	220.510	-13%	185.100	-16%	-27%

4.3.4 Darstellung des REGENA-Modells

Basierend auf den dargestellten Arbeitsergebnissen wurde ein „REGENA-Modell“ entwickelt, welches als qualitatives Struktur- und Vorgehensmodell wesentliche Schritte zur energetischen Optimierung von Hochschulgebäuden im gering- und geringstinvestiven Bereich beschreibt.

Das Modell ist auf andere Hochschulen und öffentliche Gebäude bzw. Verwaltungsgebäude übertragbar und enthält Bestandteile:

- Strukturmodell der Hochschule

Nicht-Wohngebäude wie Hochschulen sind zum einen geprägt durch heterogene Raumnutzung (Büros, Hörsäle, Seminarräume, Lager etc.), zum anderen aber auch durch unterschiedliche Nutzergruppen und heterogene Entscheidungshierarchien, unterschiedliche Gebäudeleittechnik etc. Faktisch liegt hier eine Mischung aus Schul-, Forschungs-, Verwaltungs- und auch Produktionsbetrieb vor. Der jeweilige Aufbau dieser Struktur ist für die Umsetzung der energiesparenden Maßnahmen von Bedeutung, da darüber die entsprechenden Ansprechpartner und die Relevanz der Maßnahmen definiert werden können.

- Prozessmodell

Das Prozessmodell legt – beispielhaft für das REGENA-Modell in Abbildung 5 dargestellt – die Vorgehensweise bei einer geplanten energetischen Verbesserung im Gebäudebereich dar. Typischerweise wechseln sich hier intensive Monitoring- mit Maßnahmenphasen ab, bei gleichzeitigen ständigen Messen der Grundverbräuche. Um die Maßnahmen, die für Nicht-Wohngebäude relevant sind, darzustellen, wurde die Tabellenform gewählt. Dies hat den Vorteil, dass die Maßnahmen übersichtlich und getrennt nach verschiedenen Kriterien aufgelistet sind und die Auswahl über Filter eingeschränkt bzw. dem jeweiligen Bedarf angepasst werden kann.

- Anleitung zur Verwendung der Tabelle

Der Maßnahmentabelle wurde eine Anleitung beigelegt, die zeigt, wie die Tabelle zu handhaben ist. Diese stellt die Vorgehensweise für das Finden von Maßnahmen dar, die die gewünschten Kriterien erfüllen.

Nachfolgend ist das REGENA-Modell, bestehend aus Strukturmodell, Prozessmodell = Maßnahmentabelle und deren Anleitung zur Verwendung, schematisch dargestellt.

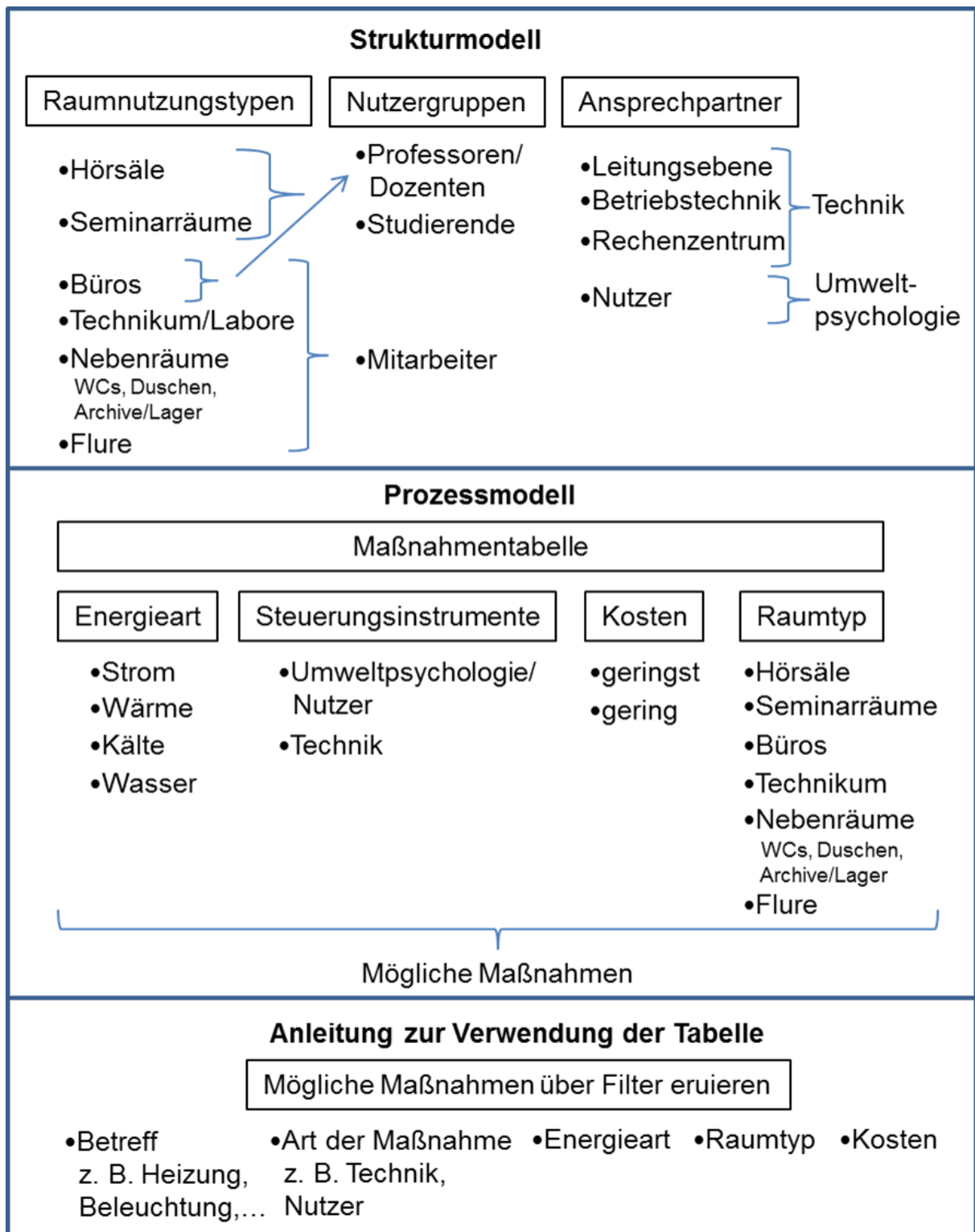


Abbildung 64 Schematische Darstellung des REGENA-Modells

4.3.5 Verwertung der Ergebnisse

4.3.5.1 Wissenschaftliche und fachöffentliche Verwertung

4.3.5.1.1 Veröffentlichungen des Umwelt-Campus Birkenfeld – nach Beitragsart sortiert

Pressemitteilungen

- Triererischer Volksfreund, 13. August 2012
- Localbook Idar-Oberstein, 20. August 2012
- Freisener Nachrichten, 23.08.2012
- Nahe-Zeitung, 29. August 2012
- Birkenfelder Anzeiger, KW 35 2012
- Stadtfacette Idar-Oberstein, KW 35 2012
- Monatsblatt Hoppstädten-Weiersbach, September 2012
- Zeitungsartikel „Erste Ergebnisse REGENA“ (Nahe-Zeitung), 06. August 2013

Hochschulinterne Beiträge

- 2. Ausgabe der Campino-Zeitung (Ende Mai 2013)
- Ausgabe 1/2016 der Campino-Zeitung (Mai 2016)
- Nachhaltigkeitsbericht UCB 2013
- Nachhaltigkeitsbericht UCB 2014

Weitere Veröffentlichungen

- Umweltforschungsdatenbank UFORDAT, Dezember 2012

Fachkonferenzen / Tagungsbände

- Nur Tagungsband
 - 19. Stralsunder Symposium „Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik“ am 08. bis 10. November 2012
 - Arns, Sebastian; Ebner, Iris; Eigenstetter, Monika; Gollmer, Klaus; Jähn, Verena; Michels, Rainer; Naumann, Stefan; Groß, Bodo (2012): REGENA: „Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation“. In: Luschtinetz, Thomas; Lehmann, Jochen (Hrsg.): Nutzung Regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik 2012, Stralsund 2012, S. 7-9
- Vortrag und Tagungsband
 - 20. Stralsunder Symposium „Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik“ am 07. bis 09. November 2013
 - Christian, Andrea; Naumann, Stefan; Gollmer, Klaus-Uwe; Michels, Rainer; Ebner, Iris; Kohoun Tsafack, Isidore Willy; Koch, Patrick; Eigenstetter, Monika; Jähn, Verena; Arns, Sebastian; Groß, Bodo: Monitoring und Modellbildung zur energetischen Betriebsoptimierung in Nichtwohngebäuden – das Forschungsprojekt „REGENA“. In: Luschtinetz, Thomas, Lehmann, Jo-

- chen (Hrsg.): Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik 2013, 20. Energie-Symposium, 07.-09. November 2013, Stralsund, S. 31-36.
- Jähn, Verena; Eigenstetter, Monika; Christian, Andrea; Ebner, Iris; Gollmer, Klaus-Uwe; Kohoun Tsafack, Isidore Willy; Koch, Patrick; Michels, Rainer; Naumann, Stefan; Arns, Sebastian; Groß, Bodo: REGENA „Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation. Teilprojekt: Verhaltensbasierte Interventionen und Monitoring“. In: Luschtinetz, Thomas, Lehmann, Jochen (Hrsg.): Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik 2013, 20. Energie-Symposium, 07.-09. November 2013, Stralsund, S. 88-95
 - EnviroInfo 2013 in Hamburg am 04. September 2013
 - Kohoun Tsafack , Isidore Willy; Christian, Andrea; Naumann; Stefan; Gollmer, Klaus-Uwe; Ebner, Iris; Michels, Rainer; Koch, Patrick; Guldner Achim; Eigenstetter, Monika; Jähn, Verena, Arns, Sebastian; Groß, Bodo: Resource Efficiency in Buildings through Automation and User Integration (REGENA). In: Bernd Page, Andreas G. Fleischer, Johannes Göbel, Volker Wohlgemuth (Eds.): EnviroInfo2013 – Environmental Informatics and Renewable Energies. 27th International Conference on Informatics for Environmental Protection, p. 484-491 September 2013
 - Workshop „Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel (UINW 2016) im Rahmen der Informatik 2016 in Klagenfurt (akzeptierter Beitrag)
 - Naumann, Stefan; Christian, Andrea; Göttert, Christoph; Gollmer, Klaus-Uwe; Michels, Rainer; Rüffler, Stefan: Energieeinsparungen im Gebäudebetrieb durch visualisiertes Feedback an Nutzer: Datenerfassung und Datenvisualisierung in Nicht-Wohngebäuden. In: Heinrich C. Mayr, Martin Pinzger (Hrsg.): INFORMATIK 2016, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2016
 - Posterbeitrag und Tagungsband
 - EnOB-Symposium 2014 „Energieinnovationen in Neubau und Sanierung“, 20. bis 21. März 2014 in Essen
 - Posterbeitrag
 - Konferenz „Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz: ein (Bildungs-) Thema für alle!“ am 22.09-23.09.2015 in Berlin
 - Vierte BilRess-Netzwerkkonferenz „Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz“ am 08.03.2016 in Frankfurt
 - Vorträge
 - 7. Forum Energie „Energieeffizienter Campus“ (HIS-HE), 23. – 25.06.2014 in Clausthal-Zellerfeld

- EnOB: MONITOR-Workshop „Wissenschaftliches Monitoring energieoptimierter Gebäude“ am 26. und 27. Februar 2015 in Kassel
- Öffentliche Veranstaltungen
 - Tag der offenen Tür am Umwelt-Campus Birkenfeld am 25. Mai 2013
 - Tag der offenen Tür am UCB am 24. Mai 2014
 - Tag der offenen Tür am UCB am 30. Mai 2015
 - Tag der offenen Tür am UCB am 21. Mai 2016
 - Info-Tag für Studierende am UCB am 04.03.2016
 - „Euro-Umwelt-Festival“ am Erbeskopf, 13. Juli 2013
 - Aktionswoche: „RLP- Ein Land voller Energie“, vom 25. September bis 02. Oktober 2013
 - Aktionstag am Umwelt-Campus Birkenfeld am 01.10.2013
 - Aktionswoche: „RLP- Ein Land voller Energie“, vom 20. bis 27. September 2014
 - Aktionstag am Umwelt-Campus Birkenfeld am 25. September 2014
- Weitere Projektvorstellungen
 - Study-Semester 2014
 - Vorstellung des Forschungsprojektes im Study-Semester ausländischer Studierender am 17.11.2014 (SUTEC)
 - Study-Semester 2015
 - Vorstellung des Forschungsprojektes im Study-Semester ausländischer Studierender am 03.11.2015 (SUTEC)
 - Leitfaden Energieeffizienz vom Polizeipräsidium Westpfalz (ca. Juli 2015)
 - China-Reise des Präsidenten der Hochschule Trier im September 2015
 - Darstellung REGENA auf der Internetseite ISS (Website UCB); 11.07.2012
 - Blogbeitrag REGENA; 24.07.2012
 - Telefoninterview Radio Idar-Oberstein; 21.08.2012
 - Blogbeitrag REGENA „Erste Ergebnisse“; 31.07.2013
 - Beitrag Energiebericht; 18.07.2013
 - REGENA-Campus-Beitrag; 18.07.2013

4.3.5.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Neben den Verwertungsgesprächen mit Partnern außerhalb des Verbundes sind folgende Verwertungen der Projektergebnisse zu erwarten.

❖ Direkte Verwertung

Die dargestellten Maßnahmen wurden am Umwelt-Campus Birkenfeld nicht nur erarbeitet, sondern größtenteils auch dort umgesetzt. Die Maßnahmen, deren Rentabilitätsprüfung, speziell für den Umwelt-Campus, positiv ausfiel, wurden nicht nur in den während REGENA untersuchten Gebäudeteilen umgesetzt, sondern auch am kompletten Standort Umwelt-Campus Birkenfeld. Als Beispiel ist hier die Installation von programmierbaren bzw. begrenzbaren Heizkörperthermostaten in den Fluren und Treppenhäusern zu nennen.

❖ Indirekte Verwertung

Das REGENA-Modell, dessen Schwerpunkt die Maßnahmentabelle bildet, kann anderen Hochschulen zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig werden auch die übrigen Ergebnisse bzw. Erkenntnisse des Forschungsprojektes verbreitet. Dies kann beispielsweise über die Hochschulinformations-Systeme (HIS) erfolgen. Darüber hinaus kann auch das Netzwerk „Klimagerechte Hochschule“, „Netzwerk N“³ sowie die „Arbeitsgemeinschaft der Technischen Abteilungen an wissenschaftlichen Hochschulen“ (ATA) zur Verbreitung genutzt werden.

Auch Kommunen und andere öffentliche Körperschaften sowie Städte- und Gemeindebünde können die Maßnahmentabelle zur Anwendung in öffentlichen Gebäuden, insbesondere im Schulbereich, anwenden.

Durch die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen sind Kostenreduktionen und somit Entlastungen im Globalhaushalt der Hochschulen sowie der Städte und Gemeinden zu erwarten. Zusätzlich resultiert daraus auch eine CO₂-Einsparung. Ferner können die Ergebnisse den Architekturbüros, den Entwicklern von Haus- und Gebäudeleittechnik sowie deren Installateuren zur Verfügung gestellt werden. Beispielsweise sind gerade die Erkenntnisse bezüglich der elektronischen Heizkostenverteiler für die Entwickler interessant, weil diese auf Grundlage der Erkenntnisse die Geräte weiterentwickeln bzw. optimieren könnten. Auch die Erkenntnisse und Optimierungsvorschläge bezüglich der Einzelraumregler sind für diese Verwertungspartner von Bedeutung.

Für die Gebäudeplaner sind die planungsrelevanten Hinweise in der Maßnahmentabelle von Interesse, da hierüber die Energieeffizienz von Gebäuden gesteigert werden kann.

Ferner können die Schulungsmaterialien beispielsweise Energieberatern zur Verfügung gestellt werden.

Die gebäudetechniknahen IT-Dienstleister aus dem Produktbereich Smart Metering können die erarbeiteten Konzepte zur Datenübertragung bei Energieverbrauchsmesstechnik nutzen und die Visualisierungskonzepte für eigene IT-Produkte weiterentwickeln.

4.3.5.3 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Die Ergebnisse aus dem REGENA-Forschungsprojekt können in vielfacher Hinsicht von anderen Stellen genutzt werden. Da die Maßnahmen zur Energieeinsparung relativ einfach und kostengünstig umzusetzen sind, kann davon ausgegangen werden, dass das REGENA-Modell von den angedachten Verwertungspartnern auch genutzt wird. Zusätzlich ist hierbei auch von Vorteil, dass es möglich ist, einzelne Maßnahmen aus der Liste auszuwählen, die für das jeweilige Gebäude relevant sind. Damit können relativ zeitnah nach Projektende verschiedene Maßnahmen, insbesondere an anderen Hochschulen, umgesetzt werden.

³ (<https://plattform.netzwerk-n.org/>)

Über den Hochschulbereich hinaus ist geplant, die geringst- und geringinvestiven Maßnahmen in anderen Nicht-Wohngebäuden umzusetzen. Deshalb sind auch die Kommunen, Städte und Gemeinden mittel- bis langfristig vorgesehene Verwertungspartner.

Da die eruierten Maßnahmen nicht nur geringst- bzw. geringinvestiv sind, sondern auch nachhaltig die Energieeffizienz von Gebäuden steigern, werden auch mittel- bis langfristig Architekten bzw. Entwickler der Haustechnik die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt zu nutzen wissen.

Im Bereich der Messtechnik hat das Projekt auch gezeigt, dass gerade im Bereich der elektronischen Heizkostenverteiler eine technische Optimierung sinnvoll ist. Die Erhöhung der Genauigkeit, die Anzeige der Batteriekapazität oder die Möglichkeit diese auszutauschen oder aufzuladen, sind Potenziale, die für Firmen nicht nur in technischer Hinsicht interessant sind.

Die Erkenntnisse im Bereich der Datenübertragung können helfen, diese schon in der Planungsphase, zu vereinfachen. Hier ist beispielsweise die Beachtung einer einheitlichen Datenübertragungstechnik zu nennen. Diese Erkenntnis kann mittel- bis langfristig von gebäudeleittechniknahen IT-Dienstleistern verwendet werden. Hierzu wird auch auf Abschnitt 6.3.2.4.3 verwiesen.

4.3.5.4 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Durch die Umsetzung der geringst- und geringinvestiven Maßnahmen an anderen Hochschulen lassen sich dort Kosten einsparen und damit eine Entlastung des Globalhaushaltes der Hochschulen erreichen. Die Ersparnis kann für andere Zwecke, beispielsweise in der Lehre und Forschung, eingesetzt werden. Diese Entlastung kann relativ zeitnah nach Projektende mit den entsprechenden Verwertungspartnern erreicht werden.

Auch die Haushalte der Kommunen, Städte und Gemeinden können durch die energiesparenden Maßnahmen in Nichtwohngebäuden mittel- bis langfristig entlastet werden. Dabei ist sowohl die Sanierung des Bestandes als auch die Planungsphase bei Neubauten relevant.

Aufgrund der Erkenntnisse, die im Laufe des Forschungsprojektes im Bereich der elektronischen Heizkostenverteiler gewonnen wurden, können die Geräte optimiert werden. Die Vermarktung der weiterentwickelten Geräte wäre mittel- bis langfristig auch von finanzieller Bedeutung für deren Hersteller (siehe auch Abschnitt 6.3.2.4.3).

5 Projektbericht Hochschule Niederrhein (03ET1070B)

Abschlussbericht

FuE-Vorhaben: Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation (REGENA)

**Berichtsteil des Teilvorhabens des Verbundpartners Hochschule Niederrhein,
Standort Krefeld-Süd, A.U.G.E.-Institut**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET1070A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtsteils liegt bei den Autoren.

Projektlaufzeit: 01.06.2012 - 31.05.2016

Projektleitung an der Hochschule Niederrhein: Prof. Dr. Monika Eigenstetter

Verantwortliche Autoren:

Monika Eigenstetter, Verena Jähn

Unter Mitarbeit von Ekatarina Jäger, Judith Darteh und Peter Potthast

Herausgeber:

Hochschule Niederrhein, Standort Krefeld-Süd

A.U.G.E.-Institut

Reinarzstr. 49

47805 Krefeld

Hinweis: Zur besseren Lesbarkeit wird im Text nur die männliche Form verwendet, hiermit sind selbstverständlich auch Nutzerinnen, Mitarbeiterinnen, Dozentinnen und Professorinnen gemeint. Für Studenten und Studentinnen wird die Form „Studierende“ verwendet.

Krefeld, den 10.10.2016

5.1 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben an der Hochschule Niederrhein durchgeführt wurde

5.1.1 Gebäudebeschreibung: allgemein und technische Ausrüstung

Die Hochschule Niederrhein gründete sich 1971 aus einem Zusammenschluss von insgesamt 13 „Staatlichen höheren Fachschulen“ und einer Werkkunstschule im Raum Krefeld-Mönchengladbach. Die Hochschule Niederrhein hat drei Standorte in Krefeld und Mönchengladbach: Sie verteilt sich in Krefeld auf zwei Standorte im Stadtgebiet (Campus Krefeld Süd und Campus Krefeld West), während sich die Fachbereiche und Einrichtungen in Mönchengladbach auf einem gemeinsamen Campus befinden. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden ausschließlich Gebäude des Campus Krefeld Süd betrachtet. Die zu betrachtenden Gebäude und Räume am Campus Krefeld Süd wurden nach möglichst hoher Ähnlichkeit mit dem Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier als Projektpartner ausgewählt.

Die Beheizung am Campus Krefeld Süd erfolgt durch Fernwärme. Die Hauptzuleitung führt über ein Laborgebäude (Gebäude I) über das Gebäude B in den Heizungskeller. Über einen Wärmetauscher wird die zugeführte Wärme in einen Sekundärkreis übertragen. Darüber werden die Wassererwärmung und die Versorgung der Lüftungsanlagen gespeist. Die Heizungs- und Lüftungsanlagen werden über ein Gebäudeleitsystem gesteuert, jedoch ohne Aufzeichnung zur Fernüberwachung gebäudetechnischer Parameter. Es erfolgte keine systematische Auswertung, um den Energieverbrauch der Hochschule zu quantifizieren und daraus Maßnahmen abzuleiten.

Eigentümer der meisten Gebäude der Hochschule Niederrhein ist der Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein Westfalen (BLB NRW). Der BLB NRW ist Eigentümer fast aller Liegenschaften des Landes und vermietet seine Immobilien an Landesbehörden und -einrichtungen. Er sieht sich selbst als „großer Immobiliendienstleister“. Bei Umbauten innerhalb der Hochschule sind mehrere Abteilungen beteiligt: das Dezernat Bau- und Gebäudemanagement, die Hochschulleitung und die Beschaffungsabteilung. Wenn die Planung der Hochschule bauliche Veränderungen vorsieht, so müssen diese zumindest haushaltsrechtlich vom Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes NRW genehmigt werden. Meist wird der Bau- und Liegenschaftsbetrieb an den Bauvorhaben beteiligt (Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen, 2008).

Die meisten Bestandsgebäude am Campus Krefeld Süd wurden in den vergangenen 15 Jahren nach und nach saniert und mit zusätzlichen Stromzählern vom BLB NRW nachgerüstet. Jedoch blieb an einigen Stellen die Dokumentation dieser Sanierungsmaßnahmen unzureichend. Kundige Ansprechpartner standen mit dem Beginn des Projektes seitens des BLB NRW nicht mehr zur Verfügung. Dadurch, dass Eigentümer und Betreiber nicht zusammenfallen, entsteht eine Verteilung von Verantwortung und Verantwortungsdiffusion. Dies hatte Auswirkungen auf den Verlauf des Projektes. Details dazu werden in Kapitel 5.1.3 näher erläutert.

5.1.2 Kompetenzen der ausführenden Stelle

Das Institut für Arbeitssicherheit, Umweltschutz, Gesundheitsförderung und Effizienz (A.U.G.E.) der Hochschule Niederrhein forscht zur Optimierung von Betriebsabläufen unter den Aspekten Arbeits-, Umwelt-, Gesundheitsschutz und Ethik. Die interventionsbasierten Projekte der letzten Jahre umfassen die Entwicklung von Leitfäden zu Usability, Arbeitsgestaltung, Projekte zu Prozessmanagement und die Unterstützung innovationsförderlicher und ethischer Unternehmenskulturen. Dabei wird den Arbeiten stets ein soziotechnischer Systemansatz zugrunde gelegt, d. h. ein Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation.

Die Kompetenzen des Instituts (angewandte Forschung und Beratungsangebote) liegen auf den Gebieten der Arbeitsgestaltung, Ergonomie, Gesundheit und Organisationsentwicklung, um nur die wichtigsten beispielhaft zu nennen. Darüber hinaus sind am A.U.G.E. Institut die Forschungsschwerpunkte „Umweltschutzanalytik und Umwelttechnologien“ des Landes Nordrhein-Westfalen angesiedelt. Ziel des Instituts ist ein ganzheitlicher Blick auf die Gestaltung von Arbeitssystemen zur Verbesserung der Gesundheit von Beschäftigten, Erhöhung der Zuverlässigkeit der technischen Systeme, einer umweltverträglichen Prozessoptimierung sowie einem effektiven Prozessmanagement. Das A.U.G.E. Institut verfügt über vielfältige Kontakte zu Unternehmen, wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen sowie intermediären Organisationen (z. B. Sozialversicherungsträgern, Arbeitgeber- und Arbeitnehmerverbänden oder berufsständischen Vereinigungen).

Das Institut wird geleitet durch die Professorin Dr. Monika Eigenstetter (Arbeits- und Organisationspsychologie), die zu sozialer Verantwortung in Organisationen, Usability und Unternehmenskultur lehrt und forscht. Professor Dr. Thomas Langhoff (Human Resources) und Professor Dr. Jürgen Schram (Instrumentelle Analytik) sind stellvertretende Institutsleiter. Fünf weitere professorale und wissenschaftliche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind am Institut beschäftigt.

5.1.3 Ausgangssituation an der Hochschule Niederrhein: Die Erhebung des Ist-Zustandes

Die Lücke zwischen Eigentümer und Betreiber im Wissensmanagement

Aus der Bauphase der Hochschule Niederrhein in den 1960er Jahren liegen die Unterlagen im Archiv der Gebäudetechnik nicht vollständig vor. Es wurden am betrachteten Standort Campus Krefeld Süd innerhalb der letzten 15 Jahre fünf neue Gebäude errichtet und Bestandsgebäude teilweise anders genutzt als zuvor, ohne, dass eine Dokumentation erfolgte. Zudem fanden in den letzten 15 Jahren zahlreiche Umbauten und Sanierungsarbeiten am Campus statt. Auch hier lagen und liegen nicht in allen Fällen vollständige Aufzeichnungen zu durchgeführten Änderungen vor. Eine genaue Bestandsaufnahme erfolgte daher mithilfe von Begehungen vor Ort, deren Ergebnisse in die Projektdokumentation übernommen wurden. Erst die daraus erarbeiteten Pläne waren ausreichend für die Durchführung von REGENA.

Zur Unterstützung vieler Projektmaßnahmen bedurfte es der freiwilligen Mitarbeit durch die Beschäftigten der Gebäudetechnik und des Gebäudemanagements. Da parallel zum Projekt umfangreiche Baumaßnahmen an der Hochschule Niederrhein am Standort Campus Krefeld Süd, aber auch am Campus Mönchengladbach durchgeführt wurden, war deren zeitliche Verfügbarkeit eingeschränkt. Da REGENA Projektcharakter hatte, war zudem eine systematische Einbindung in das Hochschulmanagement nicht vorgesehen.

Stromverbrauchserfassung: erneuter Aufbau von Messstrukturen

Die zu Projektbeginn im Juni 2012 in allen Gebäuden als gesichert angenommene gebäudescharfe Überwachung zur Erfassung von Energieverbrauchsdaten an der Hochschule Niederrhein stellte sich zur Überraschung der Beteiligten (Gebäudemanagement, Forschungsteam, BLB NRW) als lückenhaft und nicht ausgereift heraus. Zwar waren zu Projektbeginn 30 Unterzähler zur Stromverbrauchserfassung sowie drei Zähler des Energieversorgers am Campus Krefeld Süd der Hochschule Niederrhein verbaut. Eine systematische Erfassung der Daten und ein Monitoring bestand zu Beginn des Projektes aber nicht. Die Mehrzahl der Unterzähler war im Jahr 2011 im Zuge umfangreicher Sanierungsarbeiten am Campus Krefeld Süd nachgerüstet worden. Eine automatisierte Fernauslesung von Stromzählern mit der vorhandenen Ausrüstung war zu diesem Zeitpunkt nicht möglich und vom Bauherrn nicht vorgesehen. Für die monatliche händische Ablesung durch Personal der Hochschule war keine Routine vorhanden.

Zur gebäudescharfen Energieerfassung sollten die Zählerstände addiert werden, so dass durch Summenbildung der Gesamtverbrauch ermittelt werden konnte. Es stellte sich heraus, dass eine Dokumentation der Zählerstruktur fehlte. So war unklar, welche Verbraucher an welche Strom-Unterverteilungen angeschlossen waren und welche Gebäudebereiche durch die verbauten Zähler erfasst wurden. Mehrere Nachfragen beim damaligen Bauherrn, dem Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen (BLB) blieben ohne Erfolg, da keine Unterlagen mehr verfügbar waren und der seinerzeit zuständige Sachbearbeiter bereits im Ruhestand war. Die ausführende Fachfirma, die damals die Nachrüstung mit Zählern vorgenommen hatte, gab an, alle Unterlagen aus der Hand gegeben zu haben.

Im Zuge des Projektes REGENA wurde eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Stromzähler vorgenommen. Dazu wurde der Standort des Zählers festgehalten und Betriebselektroniker der Hochschule übernahmen die Aufgabe, daran angeschlossene Unterverteilungen mit ihren Verbrauchern zu überprüfen. Bei der Bestandsaufnahme der vorhandenen Stromzähler fiel auf, dass in der Vergangenheit bei Ablesungen der Messgeräte die hinterlegten Wandlerfaktoren nicht berücksichtigt worden waren. Somit war keine der bis dahin erfolgten Ablesungen für die Arbeiten im Projekt verwertbar.

Um die Stromverbrauchsdaten einzelner Gebäudeteile in der Verwaltung separat erfassen zu können, wurde eine Nachrüstung mit zehn weiteren Stromzählern vorgenommen. Für die Erfassung des Stromverbrauchs der Beleuchtung in drei ausge-

wählten Hörsälen, einem Labor und einem Seminarraum wurden im Januar 2013 vier Drehstromzähler und ein Steckmodul beschafft und in schon vorhandene Schaltschränke eingebaut. Aufgrund interner Verwaltungsprozesse nahmen diese Arbeiten einige Monate in Anspruch. Parallel dazu wurde im Rahmen des Projektes eine monatliche Routine zur Ablesung aller Stromzähler am Campus etabliert. Die Werte werden seit August 2014 manuell abgelesen und in einer Excel-Tabelle verwaltet. In einem Tabellenblatt werden von den Technikern lediglich die Ablesewerte eingetragen. Es sind sämtliche Wandlerfaktoren der zugehörigen Zähler hinterlegt, sodass der tatsächliche monatliche Verbrauch automatisiert berechnet wird. Darüber hinaus werden in der Datei monatliche Abweichungen zum Vormonatswert, kumulierte Jahreswerte und durchschnittliche Tagesverbräuche sichtbar. (Für die Analyse der Zählerstruktur bedanken wir uns bei Prof. Dr. Uwe Großmann und Wladimir Gartfelder.)

Nach dem Einbau der zusätzlichen Stromzähler im Sommer 2014 wurden vom Projektpartner IZES an den Stromzählern der Hörsäle, des Labors, des Seminarraums sowie an zehn Stromzählern zur Erfassung des Stromverbrauches im Verwaltungsgebäude A INES-Boxen zur Fernübertragung der Daten nach Saarbrücken eingebaut. Die Standorte der relevanten Messstellen zur Fernübertragung der Stromverbrauchsdaten sind in Tabelle 25 abgebildet. Da Stromkreis 35 in Gebäude A keinerlei Verbrauch aufwies, wurde dieser nicht weiter betrachtet. Weitere Angaben zur Spezifikation der INES-Boxen und zum Einbau können den Ausführungen des Projektpartners IZES in Kapitel 6.3.1.2 entnommen werden.

Tabelle 25: INES-Boxen zur Erfassung des Stromverbrauchs in Räumen der Hochschule Niederrhein

Raum	Beschreibung	Messgerät	Messgröße	Bemerkungen
Gebäude A	Bürogebäude	INES-Box 20002246	Energieverbrauch pro Stromkreis	9 Stromkreise für das Gebäude, (5 Haupt- & 4 Netzersatzkreise)
B 10	Vorlesungsraum	INES-Box 20007377	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
20022582	Hörsaal	INES-Box 20022582	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
20001081	Hörsaal	INES-Box 20001081	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
20009035	Hörsaal	INES-Box 20009035	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
IE 24	Maschinenlabor	INES-Box 20007351	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes

Verbrauchserfassung Wärmeenergie: Ergänzende Messstrukturen

Für die Erfassung der Verbräuche von Wärmeenergie am Campus Krefeld Süd lagen zu Projektbeginn ebenfalls unvollständige Dokumentationen vor. Vergangenheitsbezogene Energieverbrauchsdaten konnten nicht herangezogen werden. Am Campus waren elf Wärmemengenzähler vorhanden, davon erfassten drei den Verbrauch von Lüftungsanlagen, die anderen acht erfassten Heizwärme. Auch hier war nicht in allen Fällen eine Zuordnung der Zähler zu bestimmten Gebäuden oder einzelnen Gebäudeteilen möglich. Um nicht sämtliche Heizkreise am Campus prüfen zu müssen, was zeitlich zu aufwändig gewesen wäre, wurden lediglich die vom Projektteam ausgewählten und für das Forschungsvorhaben relevanten Gebäudeteile betrachtet.

Betrachtet wurden Teile des Verwaltungsgebäude A, Hörsäle im Gebäude F, ein Seminarraum im Gebäude B und das Labor I.

Für das Gebäude F gibt es einen Wärmemengenzähler für Heizwärme, der die Beheizung des Gesamtgebäudes erfasst. Eine gesonderte Erfassung der Heizwärme für die drei Hörsäle, deren Verbrauch im Projekt betrachtet werden soll, war mit der gegebenen Technik nicht möglich. Weiterhin gibt es einen Wärmemengenzähler für das Gebäude F, welcher den Lüftungswärmeverbrauch für alle drei Hörsäle zusammen erfasst. Dieser Zähler verfügte aber nicht über die erforderlichen Schnittstellen, um eine Fernablesung über INES-Boxen zu ermöglichen. Hier war lediglich eine monatliche manuelle Ablesung möglich.

Für den zu betrachtenden Laborraum I wurden im August 2013 drei Wärmemengenzähler neu beschafft und verbaut: Zwei davon wurden in die Leitungen der Thermo-luft-Erhitzer in der Maschinenhalle eingebaut und ein weiterer in die Heizungsleitung im Keller. Die jeweiligen Heizenergie-Verbrauchsdaten wurden mit zwei INES-Boxen nach Saarbrücken übertragen.

Zur Erfassung der Wärmeenergie im Verwaltungsgebäude A wurden im August 2013 ebenfalls zwei Wärmemengenzähler neu beschafft und verbaut. Die Standorte der relevanten Messstellen zur Fernübertragung der Wärmeverbrauchsdaten sind Tabelle 26 zu entnehmen. Diese wurden im Keller in die Leitungsstränge der Heizung eingebaut und erfassen den Heizenergieverbrauch unterteilt in die Ost- und Westseite des Gebäudes.

Tabelle 26: Messstellen Wärmeenergie an der Hochschule Niederrhein

Raumbezeichnung	INES Serien-Nr.	Messstelle(n)
IE24 (Empore)	20013631	2x Landis + Gyr Wärmemengenzähler
IK37	20002030	Zenner Wärmemengenzähler
AK22	20007773	2x Landis + Gyr Wärmemengenzähler

Heizkostenverteiler zur Zuordnung der Heizenergie zu Raumtypen im Gebäude A

Der gesamte Wärmeverbrauch im Gebäude A wird über die INES-Box 20007773 erfasst. Die beiden vorhandenen Heizstränge, mit den Bezeichnungen Ost und West, sind mit jeweils einem separaten Wärmemengenzähler ausgerüstet.

Zur differenzierten Bewertung des Wärmeverbrauchs verschiedener Raumnutzungsgruppen wurden im März 2014 Heizkostenverteiler an den Heizkörpern des Gebäudes A angebracht. Es wurde eine Zuordnung der Heizkostenverteiler zu den gewählten Raumnutzungsgruppen Büros, Besprechungsräume, Flure und Sanitär sowie deren Flächen getroffen. Die Heizkostenverteiler speichern stündlich die gezählten Werte und senden täglich kumulierte Einheiten zu einem Hauptfassungsrechner.

Die Heizkostenverteiler wurden aufgrund der zu erwartenden Batterieermüdung durch die hohe Auslesefrequenz im Laufe des Projektes zweimal ersetzt: im April 2015 und im Februar 2016. Nachdem die erstmalig verbauten Heizkostenverteiler 13 Monate eingesetzt werden konnten, wurde erwartet, die nachfolgenden Geräte aus dem April 2015 bis zum Projektende im Mai 2016 nutzen zu können. Leider berichtete der Projektpartner IZES, der die gewonnenen Daten auswertete, im September 2015 zunehmend Probleme bei der Datenübertragung zwischen einzelnen Heizkostenverteilern und der Zentrale. Es waren jedoch stets unterschiedliche Heizkostenverteiler betroffen und auch die Anzahl wechselte. Es wurde zunächst angenommen, dass diese Probleme die eingesetzte Software von Sontex betrafen. Trotz Software-Updates und mehreren System-Neustarts konnten die Fehler nicht durch Beschäftigte im Projektteam behoben werden. Unter mehrmaligen Terminverschiebungen wurde die Einschätzung eines Servicetechnikers der Herstellerfirma eingeholt, sodass die endgültige Klärung erst Anfang Dezember 2015 möglich war. Ursächlich für die Probleme in der Datenübertragung waren nach Einschätzung des Technikers durch unbekannte Störsignale vorzeitig entladene Batterien in den Heizkostenverteilern. Die Ursache dieser Störsignale konnte nicht ausfindig gemacht werden. Die Anschaffung der neuen Heizkostenverteiler wurde zu Beginn des Jahres 2016 getätigt und nach Parametrierung alle alten Heizkostenverteiler damit ersetzt.

5.2 Zeitplan und Ablauf des Vorhabens an der Hochschule Niederrhein

Nachfolgend ist der Zeitplan, der für die Hochschule Niederrhein aufgestellt wurde, dargestellt. Der Projektablauf orientiert sich an den Arbeitspaketen der Vorhabensbeschreibung laut Antrag. Die durchgeführten Arbeitsschritte sind chronologisch aufgeführt. Verschiedene Arbeitsschritte wurden wie beim Umwelt-Campus Birkenfeld projektbedingt zeitgleich bzw. überschneidend durchgeführt.

Zu Projektbeginn war eine zeitgleiche Erfassung der Energieverbräuche an der Hochschule Niederrhein und am Umwelt-Campus Birkenfeld geplant. Dabei mussten sich die Messperioden Wärme und Kälte an den Jahreszeiten bzw. die Messperioden für Strom am jeweiligen Semesterbeginn und -ende orientieren. Die Erfassungszeit-

räume sollten jeweils eine ausreichende Länge von sechs bis sieben Monaten aufweisen, um aussagekräftige Werte zu ermitteln.

Am Standort Campus Krefeld Süd der Hochschule Niederrhein trat eine zeitliche Verzögerung ein, weil Messtechnik nachgerüstet werden musste und aufgrund der nötigen Datenvalidierung der erfassten Werte. Dadurch musste dort auf eine ganze Messperiode verzichtet werden, sodass lediglich zwei Messperioden zur Erfassung des Wärme- und Stromverbrauches sowie eine dazwischenliegende Interventionsphase realisiert werden konnten.

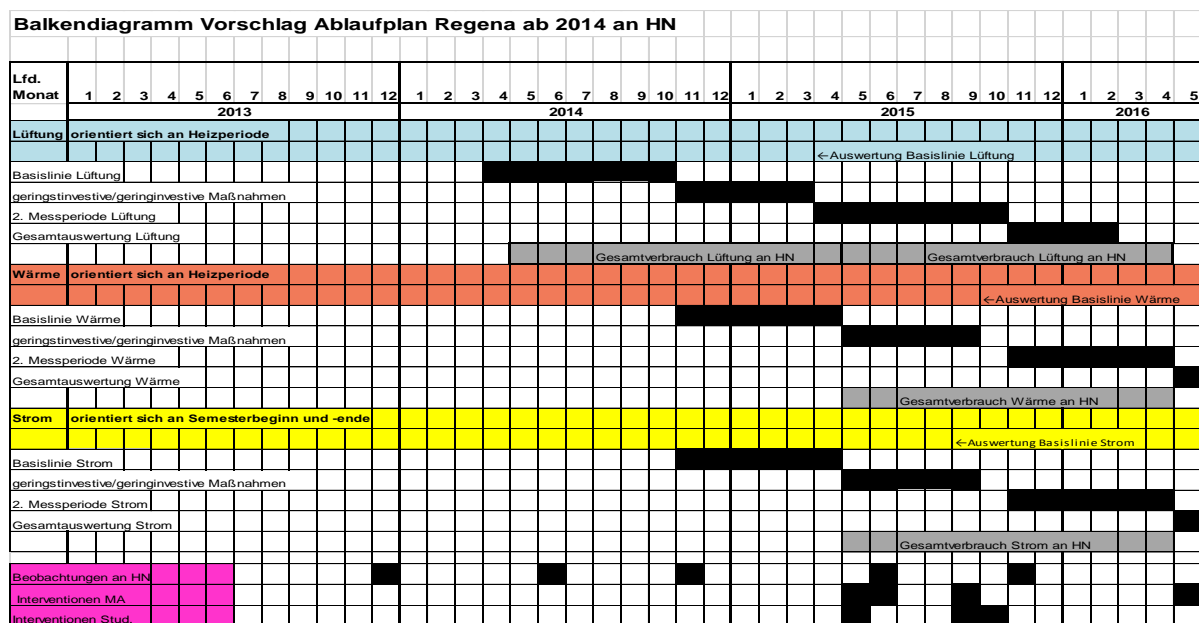


Abbildung 65: Ablaufplan REGENA an der Hochschule Niederrhein

5.3 Stand der psychologischen Forschung

5.3.1 Nutzungsabhängige Einsparpotenziale in Gebäuden

Ein hoher Anteil des Energieverbrauchs in Deutschland ist auf den Gebäudesektor zurückzuführen. Baulich-technische Lösungen zur effizienteren Nutzung von Energie und neue Energiesysteme besitzen zwar ein hohes Einsparpotenzial, erfordern jedoch zum Teil hohe Investitionen. Größere bauliche oder technische Maßnahmen werden daher in öffentlichen Liegenschaften oft nur zögerlich realisiert (Matthies & Wagner, 2009).

Hochschulen können hinsichtlich ihres Energiebedarfs mit großen Wirtschaftsunternehmen verglichen werden. Mit dem Betrieb von Lehr-, Forschungs- und Verwaltungsgebäuden entsteht eine beträchtliche Umweltbelastung. Die Verbräuche von Strom, Wärme und Wasser und das Abfallaufkommen können zum einen durch strukturelle bauliche Anpassungen beeinflusst werden, zum anderen ist der Ver-

brauch vom Verhalten der Hochschulmitglieder (Lehrkräfte, Beschäftigte und Studierende) abhängig.

Mit vergleichsweise geringen Investitionen lassen sich über effektive Veränderungen des Nutzungsverhaltens ebenfalls beachtliche Einsparungen erreichen: Einige Schätzungen beziffern das verhaltensbezogene Einsparpotenzial in öffentlichen Gebäuden auf bis zu 15% (EnergieAgentur. NRW GmbH, o. D.; Matthies & Hansmeier, 2010), andere halten ca. 3% beim Wärmeverbrauch und ca. 6% beim Stromverbrauch für realistisch (Schahn, 2004; Schahn, 2007; Matthies & Hansmeier, 2010). Mit ihrer Vorbildfunktion und Vorreiterrolle in der Öffentlichkeit können Hochschulen dauerhaft als Multiplikator wirken und zur weiteren Verbreitung der Prinzipien und Instrumente zur Energieeinsparung in andere gesellschaftliche Bereiche beitragen (Matthies & Wagner, 2009).

Veränderungen sind allerdings oft schwer zu erreichen: In den vergangenen Jahren haben mehrere Hochschulen Kampagnen zum Umweltschutz und zur Energieeffizienz durchgeführt. In den meisten Fällen sollte dabei umweltrelevantes Verhalten der Nutzenden durch Wissensvermittlung, Handlungsanweisungen und Rückmeldungen (Feedback) verändert werden (Viebahn & Matthies, 2000). Einige Projekte wurden hochschulintern evaluiert, z. B. an den Universitäten Heidelberg und Bochum (Schahn, 2004; Schahn, 2007; Matthies & Wagner, 2009).

In großen Verwaltungsgebäuden oder Hochschulen ist oft keine verursachergemäße Zuordnung des Energiebedarfs möglich und den einzelnen Beschäftigten entsteht in der Regel kein persönlicher Vorteil durch sparsame Nutzungsweisen; meist besteht auch nicht die Möglichkeit, die Raumtemperatur im eigenen Arbeitsbereich individuell zu regulieren (Wagner & Matthies, 2011). Dagegen sind sowohl die Nutzung von Heizenergie als auch die Verwendung elektrischer Geräte häufig in die Alltagsroutine eingebunden: Die daraus resultierenden Gewohnheiten werden in den täglichen Abläufen nur selten ohne besonderen Anlass hinterfragt und hemmen die Veränderungsbereitschaft (Matthies & Hansmeier, 2010; Matthies & Wagner, 2009). Durch Arbeitsverdichtung in vielen Bereichen fehlt den Organisationen die Zeit für gesonderte Kampagnenprogramme (Wagner & Matthies, 2011).

5.3.2 Interventionen im umweltpsychologischen Bereich: Überblick über bisherige Befunde für die Förderung energieeffizienten Verhaltens

5.3.2.1 Interventionen für energieeffizientes Verhalten

Unter Intervention wird allgemein das Eingreifen in ein Geschehen verstanden. Hager und Hasselhorn definieren psychologische Interventionen mit Bezug auf bestimmte Settings und Problemstellungen als Instruktion oder zielgerichtete, systematische Einflussnahme von außen auf Menschen und/oder Systemebenen (Hager & Hasselhorn, 2000).

Seit den 1970er Jahren wird untersucht, welche Interventionen sich positiv auf eine Verringerung des Energieverbrauchs auswirken. Es wurden Untersuchungen im Be-

reich privater Haushalte und in geringerem Umfang auch im öffentlichen Sektor durchgeführt. Abrahamse et al. verglichen 38 Studien zu den Effekten verschiedener Interventionstechniken in Privathaushalten. Sie unterteilten die verwendeten Strategien in zwei Gruppen ein, vorausgehende und nachgehende Interventionen: „antecedent strategies (i. e. commitment, goal setting, information, modeling) or consequence strategies (i. e. feedback, rewards)” (Abrahamse, et al., 2005, p. 273). Es wird hervorgehoben, dass eine reine Wissensvermittlung geringere Wirkung zeigt als kombinierte Interventionen, z. B. didaktisch aufbereitete Informationen mit technischem Feedback. Je nach Art der Intervention und weiteren Kontextfaktoren konnten Energieeinsparungen bis zu 21% in privaten Haushalten erreicht werden.

Mosler und Gutscher (1998) unterscheiden verhaltens- und kognitionsorientierte umweltspsychologische Interventionen. Zu den verhaltensorientierten Formen zählen Rückmeldung, Selbstüberwachung, Prompts, Hinweise, Belohnungen, Lotterien oder Wettbewerbe. Unter den kognitionsorientierten Formen werden selbstgesetzte Zielvorgaben, private oder öffentliche Selbstverpflichtung, Vorbildverhalten, Überzeugung (Persuasion), soziale Normvorgabe und die „Foot-in-the-door-Technik“ mit zunächst geringen, bei Resonanz steigenden Anforderungen zusammengefasst (Mosler & Gutscher, 1998).

Nach (Scheuthle & Kaiser, 2008) finden umweltspsychologische Interventionen auf zwei sich ergänzenden Ebenen statt, auf der strukturellen Ebene durch den Abbau objektiver Barrieren und die Ausweitung von Handlungsoptionen sowie auf der Verhaltensebene durch personenbezogene Motivierung und Aktivierung. Die Änderung des individuellen Verhaltens wird als mehrstufiger Prozess dargestellt:

- Wissensvermittlung: Aufklärung über ökologische Zusammenhänge (Umweltwissen), erfolgsversprechende Wirkungsbereiche (Wirksamkeitswissen) sowie konkret anwendbare Praxistipps (Handlungswissen)
- Einstellungsänderung: Werteentwicklung, Überzeugung von der Wichtigkeit des Klimaschutzes und der Notwendigkeit, das Verhalten anzupassen als stark prägende intrinsische Motivationsfaktoren
- Aktivierung der Einstellung in konkreten Situationen gemäß Verhaltenskontext durch ansprechende, alltagsnahe Erinnerungshilfen (Poster, Aufkleber u. ä.)
- Umgang mit Dilemmata und Konflikten durch Aufbau von Vertrauen in das kooperative Verhalten durch Erfolgsbeispiele mit hoher Akzeptanz und Teilnahmebereitschaft
- Aufdeckung und Überwindung von Scheindiskrepanzen und demotivierenden Einflüssen mithilfe struktureller Maßnahmen, wenn ein hoher persönlicher Aufwand die fehlende Umsetzung des erwünschten Verhaltens entschuldbar werden lässt (vergleichbar dem Konstrukt der Verantwortungsabwehr von Schwartz & Howard, 1981)

Das Wissen wird erst im Zusammenwirken mit anderen Faktoren wie Einstellungen und Überzeugungen verhaltensrelevant, z. B. im Konsumverhalten oder bei der Verkehrsmittelwahl (Scheuthle & Kaiser, 2008). Interventionstechniken sind danach auszurichten, ob Werthaltungen und moralische Überzeugungen oder Eigennutz die Einstellungen prägen. Diskrepanzen zwischen Einstellung und tatsächlichem Verhalten sollte nach (Scheuthle & Kaiser, 2008) in erster Linie begegnet werden mit:

- Belohnung statt Bestrafung
- Partizipation, Einbezug der Zielgruppe in die Planungsprozesse
- Berücksichtigung der sozialen Konsequenzen der erarbeiteten Maßnahmen

Nicht nur der aufeinander abgestimmte Einsatz von personenbezogenen und strukturellen Maßnahmen wird als entscheidender Faktor angesehen, sondern auch das „Wann und Wo“ ihrer Umsetzung. Zusammenfassend empfehlen die Autoren strukturelle Interventionen bei hohen objektiven Barrieren. Bei schwierigen und komplexen Zielverhaltensweisen, die für viele Menschen eine hohe Schwelle bilden, sind dagegen ergänzende psychologische Interventionen erforderlich (Scheuthle & Kaiser, 2008).

Eine Übersicht der Taxonomien zu Interventionsstrategien von Dwyer et al. (1993) und Homburg und Matthies (1998) hat Birgit Mack zusammengestellt. Obengenannte Klassifikationen werden in der nachfolgenden Tabelle 27 zusammengefasst.

Tabelle 27: Mögliche Klassifikation der Interventionen (Übersicht)

Autor	Klassifikation	Interventionsmaßnahmen
Abrahamse, Steg, Vlek und Rothengatter (2005)	Antecedent strategies	<ul style="list-style-type: none"> - Commitment - Goal setting - Information - Modeling
	Consequence strategies	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback - Rewards
Dwyer et al. (1993) in Anlehnung an (Mack, 2007, p. 45)	Antezedente Strategien	
	Passiv-individuumsbezogen	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz der schriftlichen Informationen zwecks Wissensvermittlung zur Verhaltensänderung (Briefe, Broschüren, Prompts etc.) - Einsatz der mündlichen Informationen zwecks Wissensvermittlung (soziale Modelle oder Demonstrationen, Interventionsagenten) - Zuweisen der individuellen Verhaltenszielen - Unterstützende und begünstigende Umweltveränderungen, die das Zielverhalten fördern
	Passiv-gruppenbezogen	<ul style="list-style-type: none"> - Zuweisen der gruppenbezogenen Verhaltensziele
	Aktiv-individuumsbezogen	<ul style="list-style-type: none"> - Commitment: Selbstverpflichtung einzelner Personen zum umweltschonenden Verhalten - Auswahl der persönlichen Verhaltensziele - Förderung des Zielverhaltens durch den Wettstreit zwischen Individuen
	Aktiv-gruppenbezogen	<ul style="list-style-type: none"> - Auswahl der durch Gruppenkonsens entwickelten teambezogenen Verhaltensziele - Förderung des Zielverhaltens durch den Wettstreit zwischen Gruppen
	Konsequente Strategien	
	Individuumsbezogen	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback in Verknüpfung mit direkten, expliziten, reliablen Belohnungen bzw. Bestrafungen wie Energieverbrauch und Kosten - Feedback mit Verknüpfung mit indirekten, unsicheren, entfernten Belohnungen bzw. Bestrafungen wie Energieverbrauch und keine Kosten - Belohnungen - Bestrafungen
	Gruppenbezogen	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback mit Verknüpfung mit direkten, expliziten, reliablen Belohnungen bzw. Bestrafungen wie Energieverbrauch und Kosten - Feedback mit Verknüpfung mit indirekten, unsicheren, entfernten Belohnungen bzw. Bestrafungen wie Energieverbrauch und keine Kosten - Belohnungen - Bestrafungen

Fortsetzung Tabelle 27: Mögliche Klassifikation der Interventionen (Übersicht)

Homburg & Matthies (1998) in Anlehnung an (Mack, 2007, p. 48)	Ansatzpunkt Situation: Techniken, die an externen Handlungsbedingungen ansetzen	
		<ul style="list-style-type: none"> - Technische Veränderungen zur Erleichterung des gewünschten und Erschweren des unerwünschten Verhaltens - Materielle Belohnungen und Bestrafungen
	Ansatzpunkt Person: Techniken, die an internen Handlungsbedingungen ansetzen	
	Wissenszentrierte Techniken	<ul style="list-style-type: none"> - Schriftliche Wissensvermittlung zum Thema Probleme und Handlungen - Feedback zum eigenen Verhalten sowie dessen Konsequenzen
Normzentrierte Techniken	<ul style="list-style-type: none"> - Persönliche Wissensvermittlung zum Thema Probleme und Handlungen - Zielsetzung - Verpflichtung - Soziale Modelle - Blockleader 	
Mosler und Gutscher (1998)	Verhaltensorientierte Interventionsformen	<ul style="list-style-type: none"> - Prompts/Hinweise - Rückmeldung und Selbstüberwachung - Belohnung für Ergebnisse - Lotterie - Wettbewerb
	Kognitionsorientierte Interventionsformen	<ul style="list-style-type: none"> - (Selbst-)Zielsetzung - Private Selbstverpflichtung - Öffentliche Selbstverpflichtung - Vorbildverhalten - Überzeugungen (Persuasion) - Soziale Normvorgabe - „Foot-in-the-door-Technik“
Scheuthle und Kaiser (2008)	Strukturelle Intervention	<ul style="list-style-type: none"> - Abbau von objektiven Barrieren zur Handlungserleichterung - Belohnungen
	Personenbezogene Intervention	<ul style="list-style-type: none"> - Motivationserhöhung der Zielperson - Wissensvermittlung - Einstellungsänderung - Vertrauensbildung

Die Forschungsergebnisse zur Eignung verschiedener Interventionstechniken zur Verhaltensänderung im Bereich der Privathaushalte lassen sich auf Organisationen wie z. B. Hochschulen übertragen. So überprüften Matthies, Klesse, Kastner und Wagner im Rahmen des Projekts Change mehrere Studien, um verhaltensbezogene Interventionspotenziale in Bezug auf Organisationen zu identifizieren, da hierzu keine systematischen Analysen vorlagen (Matthies, et al., 2011). Aus der Überblicksarbeit von Abrahamse et al. werden Feedback und Maßnahmen mit stärkerer persönlicher Einbindung wie beispielsweise eigene Zielsetzungen oder Selbstverpflichtung als erfolgreiche Methoden herausgestellt. Aus der Systemperspektive werden weitere nutzbare Potenziale der Hochschule als Organisation abgeleitet: „Eine zusätzliche

Ressource innerhalb von Organisationen liegt in der sozialen Interaktion und Kommunikation. So könnten Aktionstage, Wettbewerbe, Gruppenziele oder Gruppenverpflichtungen nicht nur stützende soziale Normen und positive eigene Intentionen aktivieren, sondern diese Instrumente können selbst eine Veränderung der Handlungssituation herstellen und eine stärkere Salienz von Intentionen und Normen bewirken“ (Matthies, et al., 2011, pp. 70-71).

Umsetzungsprogramme zur Energieeffizienz wurden sowohl an Schulen (Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, 2004; UfU - Unabhängiges Institut für Umweltfragen, 2003) wie auch an Hochschulen durchgeführt und evaluiert, z. B. von Schahn (2007) oder Mathies und Wagner (2011).

5.3.2.2 Kommunikationsstrategien und Soziales Marketing

Ein bekanntes Modell der Verhaltensbeeinflussung durch Information und Kommunikation ist das AIDA-Modell aus der Werbepsychologie (Meffert, 2005). An diesem Modell orientieren sich die Interventionen und Schulungsmaterialien, die im Projekt zu Verhaltensänderungen bei Studierenden und Mitarbeitenden führen sollten. Das mehrstufige Modell (Abbildung 66) strukturiert den Prozess der Kommunikationswirkung in vier aufeinander aufbauende Phasen: „Attention, Interest, Desire und Action (Aufmerksamkeit, Interesse, Begierde und Handlung)“ (Meffert, et al., 2008, p. 706). Im „AIDCAS-Modell“ (Koschnick, 1983) werden diese Stufen um Conviction (Überzeugung) und Satisfaction (Zufriedenheit) erweitert.

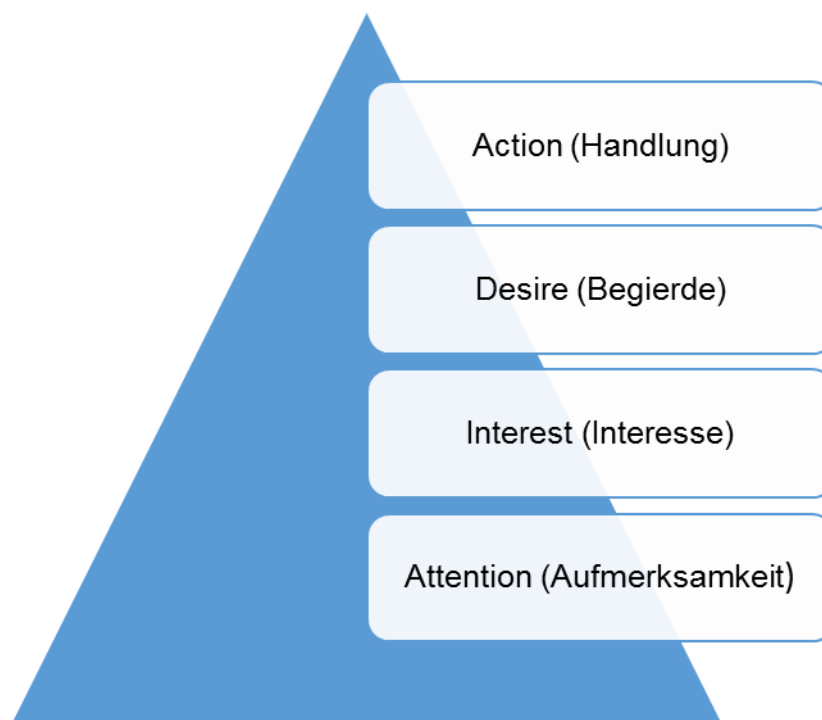


Abbildung 66: AIDA-Modell, eigene Darstellung in Anlehnung an (Meffert, et al., 2008, p. 706)

Im Sozialen Marketing werden durch Information und Kommunikation soziale Ideen vermittelt, die schrittweise die ganze Gesellschaft beeinflussen und verbessern sol-

len. Die Interventionsmethoden des Sozialen Marketings werden mit einem nicht kommerziellen Ziel für das Allgemeinwohl eingesetzt (Lee & Kotler, 2016). Als Kommunikationsprozess soll Soziales Marketing Verhalten und zugrundeliegende Einstellungen der Zielgruppen beeinflussen (Fretwurst & Friemel, 2016). Vorrangiges Ziel ist der soziale Nutzen, zu dem auch der Umweltnutzen gezählt wird, z. B. Energieeffizienz und sparsame Nutzungsweisen. Studien zur Wirksamkeit von Sozialmarketing bestätigen nach Thaler auf der theoretischen Basis des Stimulus-Organismus-Reaktions-Paradigmas, dass eine Änderung der Einstellungen und Verhaltensintentionen zu Verhaltensänderungen führt (Thaler, 2012).

5.3.2.3 Partizipation als Schlüssel für Verhaltensänderungen

Information und Kommunikation werden durch die partizipative Planung und Durchführung von Interventionen ergänzt. Eine aktive Beteiligung der Zielgruppe ist für die Konzeption und den Gestaltungsprozess von Interventionsprogrammen von wesentlicher Bedeutung (Mack, 2007).

In Organisationen als komplexe sozio-technische Systeme gelten Autonomie und Partizipation als entscheidende Fortschrittsvariablen (Trimpop & Eigenstetter, 2009). Bei Konzepten des Lean Management, der kooperativen Führung oder des Total Quality Management (TQM) werden die Mitarbeitenden in die Planung, Umsetzung und Kontrolle von Veränderungen einbezogen und dadurch ihr Wissen und ihre Einsatzbereitschaft genutzt. Partizipation ist ein wesentliches Element zur Motivierung von Mitarbeitenden und basiert auf den Ansätzen der Demokratisierung von Organisationen.

Partizipation ermöglicht individuelle Entfaltung im Arbeitsbereich. Intrinsische Motivation ist die Voraussetzung dafür, dass Verhaltensweisen auch ohne externe Kontrolle und Sanktionen aufrechterhalten werden. Diese ist allerdings selbst an Voraussetzungen gebunden: Erlebte Bedeutsamkeit des eigenen Beitrags, erlebte Verantwortung für die dadurch erzielten Resultate und ein Wissen über den Ergebniszustand des eigenen Beitrags (siehe dazu auch Abschnitt Feedback bei Interventionen).

Mit intrinsischer Motivation entstehen selbstbelohnende Gedanken und Gefühle, z. B. Kompetenzerleben, Eigenverantwortung, Stolz und Kontrolle (Deci, et al., 1989). Diese sind durch extrinsische Motivierung oder externe Anreize wie Belohnungen und Bestrafungen nicht zu erreichen.

5.3.2.4 Nachhaltige Bildung und partizipatives Lernen

Partizipation und Eigenverantwortung sind wesentliche Größen auch im Bereich der Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE). Bildung gilt als wichtiger Faktor, um einen sozialen und ökologischen Umbau der Gesellschaft zu ermöglichen (Langer, 2011). Relevante Themenfelder sind Energie- und Stoffströme, Konsummuster, Lebensstile oder Wertvorstellungen. Sie sollen zur Kompetenzerweiterung und Handlungsfähigkeit beitragen (ANU/DGU/GBU 1998, zitiert nach Langer, 2011).

Mit dem Wissen von Lehrenden, Lernenden und weiteren Beteiligten sollen Gemeinsamkeiten geschaffen werden. Didaktische Methoden unterstützen ein partizipatives, konstruktives, forschendes, reflexives, diskursives Lernen. BNE erfordert daher Settings, die selbstorganisiertes und projektorientiertes Lernen ermöglichen. Als wesentliche Faktoren des Lernens gelten das Erleben von Selbstwirksamkeit, eigene Zielsetzung und auch Planungsfähigkeit. Die aktive Rolle des Lernenden bei der Kompetenzentwicklung ist notwendig, da Kompetenzen von Lernenden nur eigenständig aufgebaut werden können (vgl. Weinert 2001).

Die Wissensvermittlung zur Energieeffizienz sollte mit Kleingruppenarbeit verknüpft werden, die durch den partizipativen Ansatz als sehr wirkungsvoll gilt (Knoll, 1997). Kleingruppenarbeit und Qualitätszirkel (auf freiwilliger Basis) werden häufig erfolgreich in Organisationen und Unternehmen im Rahmen des Qualitätsmanagements und der Personalentwicklung eingesetzt. Aus diesen Überlegungen heraus wurde im Projekt REGENA ein didaktisches Konzept mit Kleingruppenarbeit für die Hochschulbeschäftigten erstellt und an beiden Hochschulen – mit unterschiedlicher Resonanz – angeboten.

5.3.2.5 Didaktische Anforderungen an Informationsmaterialien

Es können verschiedene Ansatzpunkte für ein fehlendes Energiesparverhalten in Bezug auf den Energieverbrauch festgemacht werden. Die Didaktik ist daran auszurichten:

- Fehlendes Wissen und Verständnis im Umgang mit Energie
- Fehlendes Erkennen und Wahrnehmen bestehender Einflussmöglichkeiten (Kontrollausübung)
- Störungen bei der Integration energieeffizienter Arbeitsabläufe
- Inadäquate Einstellungen und Verhaltensabsichten
- Motivationsprobleme, die sich z. B. in Verantwortungsabwehr ausdrücken
- Einflüsse des (kollektiven) Umfelds auf das Individuum

Informationsveranstaltungen und Schulungen sollen Wissensdefizite ausgleichen, positive Einstellungen bewirken, Motivation fördern und konkrete Handlungsmöglichkeiten aufzeigen. Schulungskonzepte sollten individuell auf die Bedürfnisse der Zielgruppen zugeschnitten sein. Wesentliche Elemente der didaktischen Aufbereitung sind fundierte Inhalte, die Art der Präsentation und die Verwendung einer spezifischen Sprache (Naumann, et al., 2011). Didaktik als „Theorie und Praxis des Lernens und Lehrens“ (Jank & Meyer, 1991, p. 14) ist eine „handlungsorientierte Wissenschaft“ (Lehner, 2009), die untersucht, auf welche Art und Weise Lern- und Lehrinhalte effektiv vermittelt werden können. Die Wissensweitergabe als Prozess wird dabei systematisch unter Beachtung der psychologischen Aspekte untersucht.

5.3.2.6 Smarte Technologien im Einsatz: Die Perspektive der Nutzer

Ein weiterer möglicher Weg zur Reduzierung des Energieverbrauchs ist der Einsatz intelligenter Gebäudetechnologien. Umfassende Systeme erfordern jedoch teilweise

hohe Investitionen, die in öffentlichen Liegenschaften häufig schwer zu realisieren sind und eine hohe Schwelle bilden (Matthies & Wagner, 2009).

Es ist aber auch möglich, intelligente Gebäudetechnologien dezentral in Teilbereichen einzusetzen, so z. B. programmierbare Thermostate oder Smart-Meter-Systeme. Aspekte der Human Factors und Gebrauchstauglichkeit scheinen im Bereich der Technologien zur Energieeinsparung nur wenig beachtet zu werden. Einen soziotechnischen Systemansatz legen nur wenige Autoren zugrunde, z. B. Rohracher & Ornetzeder (2003) oder Stadler (2001), um Verhaltensweisen im Arbeitskontext besser zu unterstützen. An Bedienteilen von Maschinen und anderen Technologien sind die grundlegenden Erfordernisse der kognitiven Ergonomie zu berücksichtigen, d. h. über Stellteile und Anzeigen muss den Nutzenden ein Feedback über den Zustand der Mensch-Technik-Schnittstelle gegeben werden. Bedienprobleme treten auf, wenn die mentalen Modelle der Nutzenden in der Produktentwicklung unzureichend berücksichtigt werden. Nutzende haben oft unrichtige oder unvollständige Vorstellungen von der Funktionsweise und den Resultaten der bereit gestellten Technologien (Sonntag, et al., 2012).

Zu beachten ist, dass Gebäude mit hohem Technisierungsgrad auf Akzeptanzprobleme stoßen können und sich die Nutzenden häufig nicht in der Lage fühlen, die Situation in ihrem Umfeld zu kontrollieren (Stadler, 2001). Es können paradoxe Verhaltenseffekte mit erhöhten Verbräuchen auftreten, die als Rebound und Backfire bezeichnet werden (Santarius, 2012; The UK Energy Research Centre (UKERC), 2007). Obwohl die Technologien bei gleicher Heizleistung immer effizienter wurden, stagniert der Pro-Kopf-Wärmeverbrauch seit Jahren (Santarius, 2012). Auch in den Hochschulen steigt der Energiebedarf durch den wachsenden Einsatz digitaler Medien, Info-Screens, Akku-Ladestationen und elektronisch gesteuerten haustechnischen Anlagen.

5.3.2.7 Feedback bei Interventionen

Feedback gehört nach Abrahamse et al. (2005) zu den nachgehenden Interventionen wie Rabatte oder Bonusprogramme, gegenüber den vorausgehenden Interventionen wie Zielsetzung, Selbstverpflichtung oder Informationen zum Umweltwissen oder Tipps zur technischen Handhabung. Feedback ist eine relevante psychologische Größe, die der Verhaltenssteuerung dient. So wie Führung ohne Information über relevante Verhaltensweisen und daran gekoppelter Rückmeldung, ob diese erfolgt sind (Feedback), nicht funktioniert, benötigen auch Mensch-Technik-Interaktionen Informationen über Aufgabenerfüllung oder Systemzustände als motivierende Auslöser, den wahrgenommenen Abstand zum Vergleichsstandard zu verringern (Kluger & DeNisi, 1996). Der Zweck des Feedbacks innerhalb einer Intervention zur Einsparung von Energie ist die Schaffung von Aufmerksamkeit, Problembewusstsein, Einstellungsänderung oder Aktivierung der Normen, die eine Verhaltensänderung unterstützen und verstärken, damit eine Verstetigung neuer Gewohnheiten möglich wird (Fischer, 2008).

Aus bisherigen Arbeiten zur Energieeffizienz, meist in Privathaushalten zu individuellen Nutzungs- und Verhaltensweisen, lassen sich wesentliche Faktoren eines wirksamen Feedbacks ableiten. Eine umfangreiche Meta-Analyse bestätigt die in früheren Reviews von Abrahamse et al. (2005) und Fischer (2008) gefundenen Einsparpotenziale von 8% bis zu 12% von Feedback mit einer mittleren Effektstärke über alle Studien bei $r = .115$ (Karlin, et al., 2015). Als besonders effektiv erscheint das Feedback im Verbund mit definierten Zielen oder Belohnungen und innerhalb der ersten drei Monate der Testzeiträume (Tabelle 28): Interesse und aktive Beteiligung sind in den Anfangsphasen noch hoch; neue Lernprozesse und Erfahrungen bewirken zunächst deutliche Einsparungen, die sich in der Folgezeit abschwächen. Es besteht weiterer Forschungsbedarf zu den verstärkenden Faktoren und den Langzeiteffekten von Energieverbrauchs-Feedback, insbesondere im Hinblick auf die aktuellen technischen Entwicklungen bei den elektronischen Messgeräten.

Tabelle 28: Feedback-Wirkfaktoren (Effektstärke, Korrelationen nach Bravais-Pearson)

Feedback-Merkmale	Merkmalsgruppe (Anzahl Studien)	Mittlere Effektstärke r	Feedback-Merkmale	Merkmalsgruppe (Anzahl Studien)	Mittlere Effektstärke r
Häufigkeit	Max. 1 Mal/Monat (8)	.052	Dauer	< 1 Monat (7)	.095
	1-4 Mal/Woche (8)	.090		1-3 Monate (7)	.178
	Täglich (4)	.064		3-6 Monate (10)	.054
	Kontinuierlich (17)	.075		6-12 Monate (11)	.042
	Unbekannt (5)	.129		> 12 Monate (7)	.096
Info-Medium	Rechnung (5)	.042	Vergleich	Zielgrößen (4)	.244
	Karte (15)	.084		And. Haushalte (2)	.060
	Monitor/Display (2)	.074		Zeitverlauf (7)	.030
	Computer (2)	.238	Kombination	Nur Feedback (34)	.062
Detailgrad	Wohneinheit (38)	.072		Fb + Ziel (3)	.163
	Gerätespezifisch (4)	.129		Fb + Belohnung (2)	.203

Nach Karlin, Zinger & Ford (2015); Auszug, eigene Übersetzung

Dass elektronisches Feedback aktiv aufgerufen werden muss und somit bereits Aufmerksamkeit und Interesse der Personen voraussetzt, ist ein Nachteil: Energie als abstraktes, nicht greifbares Gut und die kognitive Komplexität umweltgerechter Entscheidungen bilden dabei hohe geistige Barrieren, denn der persönliche Bezug ist gering (Gölz & Biehler, 2008).

Karlin et al. (2015) verweisen auf offene Fragestellungen beim kontinuierlichen computerbasierten Feedback zur Häufigkeit, Dauer und Tiefe einer tatsächlichen Nutzung unter Alltagsbedingungen – in Privathaushalten sowie Organisationen oder Be-

trieben. Verfügbarkeit alleine erhöht die Nutzungswahrscheinlichkeit nicht: Rögele, Schweizer-Ries und Antoni (2013) untersuchten z. B. die Aufwandserwartung und Nutzungsbereitschaft von Studierenden. Diese schätzten die Webseite mit Energie-Daten ihrer Universität als einfach und nützlich ein, würden sie aber im Mittel nur alle ein bis zwei Monate aufsuchen und den Folgebesuch erst nach ein bis drei Monaten einplanen. Ein einfaches Lichtsignal als Kostenalarm bewirkte dagegen viel: die Gerätenutzungszeiten wurden prompt auf preisgünstige Tarifphasen verlagert, wobei jedoch der Verbrauch insgesamt anstieg (Sexton, et al., 1987; Fischer, 2008).

Während die Stromwirtschaft an den technischen Anforderungen der Dezentralisierung der Stromproduktion interessiert ist (mit den Themen Lastensteuerung, Demand-Response, Smart Metering), besteht aus der Perspektive der Umweltpsychologie der Bedarf, den Nutzenden der Gebäude über die eingesetzte Raumtechnik Informationen auf Basis psychologischer Erkenntnisse bereitzustellen, um angepasste Verhaltensoptionen zu ermöglichen. Anstelle einer Forschung zum Energiesparen sollte heute eine energiepsychologische Modellierung angestrebt werden (Gölz & Biehler, 2008), die eigenständige Prozesse aktiviert und zur Kompetenzentwicklung motiviert.

Es braucht alltagstaugliche Hilfestellung auf relevanten Handlungsebenen. Feedback muss anschaulich und übersichtlich gestaltet sein. Sinnvoll ist es, Stromfresser und Sparkandidaten zu identifizieren, punktuell ergänzt durch technische Praxistipps. Geräteintegrierte Displays unterstützen die Erfolgskontrolle, die in aussagekräftigen Intervallen erfolgen sollte (Mack & Tampe-Mai, 2013). Schließlich müssen die Themen Datenmengen, Übertragungs- und Speichermethoden mit dem datenschutzrechtlichen Regelungsbedarf in Einklang gebracht werden (Boukhaoua, 2013).

5.3.3 Das theoretische Fundament der psychologischen Messungen in REGENA

Energieeffizientes Handeln kann als Facette des mehrdimensionalen umweltbewussten Verhaltens aufgefasst werden, welches ökologisches Einkaufen, Vermeidung von Abfall, Recycling, Vermeidung motorisierten Individualverkehrs und weitere Aktivitäten zur Verminderung von Ressourcenverbrauch und potenziell umweltschädlichen Verhaltensweisen umfasst (Matthies, 2005).

Eine Handlung ist eine zielgerichtete, inhaltlich und zeitlich abgegrenzte Einheit aufeinander folgender Sequenzen mit unbewussten und bewussten mentalen Anteilen: Wahrnehmen einer Situation, Bewertung und Abwägen von Alternativen und Handlungsentscheidung. Es können drei Regulationsebenen unterschieden werden: die automatisierte Ebene, die Regelebene und die Planungsebene, die jeweils unterschiedliche kognitive Ressourcen beanspruchen (Hacker, 1999). Das Verhalten ist die beobachtbare Aktivität, z. B. „Fenster schließen“ (Abbildung 67).



Abbildung 67: Einfaches Handlungsmodell

Handlungsmodelle, die in psychologischen Fragestellungen für den Umweltschutz eingesetzt werden, sind vielgestaltig und kommen aus unterschiedlichen Teilbereichen der Psychologie. Umweltbewusstes Handeln kann als Form eines erweiterten Altruismus aufgefasst werden (Bertsch, 2009) oder auch als Funktion des nachhaltigen Konsums (Kaufmann-Hayoz, et al., 2011). Zudem lässt es sich als eine inhaltlich bestimmte Facette von verantwortungsvollem Entscheiden und Handeln betrachten (Eigenstetter, 2009).

Nach Matthies (2005) sei das bei Praktikern verbreitete Verhaltensmodell von Fietkau & Kessel (1981) durch neuere Forschungsbefunde überholt. Matthies (2005) unterscheidet zwei Hauptstränge der umweltpsychologischen Verhaltensforschung: (1) Sozialpsychologische Verhaltensmodelle auf der Basis der Theorie des geplanten (rationalen) Verhaltens von Fishbein und Ajzen (1975) mit vielfältigen Modifikationen wie Kosten-Nutzenerwartungen, subjektive Normen und Kontrollüberzeugungen sowie (2) Varianten des Normaktivationsmodells nach Schwartz und Howard (1981) mit persönlichen Normen, Attribution von Verantwortung und Problemwissen. Das Normaktivationsmodell enthält die Modellierung von Verantwortungsabwehr als aktive Abwehr des Verpflichtungsgefühls für als richtig erkannte Verhaltensoptionen. Matthies (2005) stellt ein integriertes Prozessmodell für Interventionen im Umweltbereich vor, das die Phasen Normaktivierung (soziale und individuelle Normen), Motivation, Evaluation und Aktion sowie Rückkopplungsprozesse beinhaltet. Durch Visualisierung der komplexen Prozesse unterstützt es die Kommunizierbarkeit psychologisch basierter Umweltinterventionen.

In der Umweltpsychologie kaum rezipiert sind Handlungsmodelle der ethischen Entscheidungs- und Verantwortungsforschung, die häufiger im wirtschaftsethischen Kontext verwendet werden wie z. B. das Modell der moralischen Urteilsfähigkeit von Kohlberg (1976). Im Prozessmodell von Rest (1999) sind die Teilschritte (1) moralische Sensitivität, (2) moralisches Urteil, (3) moralische Motivation und (4) moralisches Verhalten von Bedeutung. Die Arbeiten von Hoff (1990, 1995, 1998) sowie Hoff, Lempert und Lappe (1991) beschäftigen sich mit der Entwicklung von Verantwortungsbewusstsein in beruflichen Sozialisationsprozessen. Das Moralbewusstsein wird durch die Komponenten Kontrollbewusstsein und situationsbezogenes Wissen ergänzt. Aus der Verknüpfung des moralischen Urteilsniveaus mit situationsspezifischem Wissen, Kontrollüberzeugungen und Kompetenzerwartungen (Kontrollbewusstsein) entsteht Handlungsrelevanz. Damit Normen handlungsrelevant werden können, ist nach Lind (2000) eine Bindung an moralische Werte notwendig. Lind spricht von einer Parallelität von Urteil und affektiver Bindung an moralische Werte. Kaiser und Shimoda (1999) unterscheiden Prädiktoren umweltbewussten Verhaltens auf moralischer und konventionsorientierter Verantwortungsebene. Letz-

tere gründet auf sozialen Normen und auf der Bereitschaft, diese zu erfüllen, erstere auf individuellen Entscheidungsparametern.

Homburg (2004) stellt ein generisches Modell für umweltorientierte Unternehmen vor, das die Rahmenbedingungen der Organisation und individuelle Variablen wie Einstellungen und Umweltängste einbezieht, die sich auf Intention und Verhalten auswirken. Generische Modelle haben (ohne den Anspruch auf allgemeingültige wissenschaftliche Erkenntnisse zu erheben) den Vorteil, zielführend auf Interventionsplanungen abgestimmt werden zu können.

Ein Problem der angewandten Forschung ist es, dass die Forschenden in einem komplexen Setting nicht alle Einflussfaktoren erfassen können, etwa weil sie umfangreiche Messungen erfordern oder als situative Faktoren einzigartig sind, im Setting aber zum Erfolg einer Maßnahme beitragen. Im Projekt REGENA wurde insofern ein den Erfordernissen der Intervention angepasstes psychologisches Rahmenmodell entwickelt.

5.3.3.1 Prädiktoren des Verhaltens: Das psychologische Rahmenmodell von REGENA im Überblick

Handlungsmodelle sind Sequenzmodelle (Hacker, 1999; Rest, 1999; Schwartz & Howard, 1981). Die Bildung der Verhaltensintention mit anschließend ausgeführtem oder nicht ausgeführtem beobachtbaren Verhalten ist die Folge eines komplexen, mehr oder weniger bewussten Entscheidungsprozesses: Der Entscheidungsprozess beinhaltet eine wissensbasierte Aktivierung, Wahrnehmung und ggf. Akzeptanz sozialer Normen z. B. einer Gruppe oder Organisation; des Weiteren eine emotionale Bindung an den Gegenstand der Entscheidung (z. B. sich energieeffizient verhalten zu wollen), die Ausbildung eines Verpflichtungsgefühls und eine Kosten-Nutzen-Abwägung, zum Teil auch Verantwortungsabwehr. Wahrnehmungen, Bewertungs- und Entscheidungsprozesse sind in ein organisationales und baulich-technisches Setting bzw. soziotechnisches System eingebettet (Abbildung 68). Das Modell dient als theoretische Grundlage für die Entwicklung der Fragebögen EVE und UVE, die für die Interventionsmessungen eingesetzt werden. Die Faktoren des Modells werden nachfolgend dargestellt. Die Entwicklung der Fragebögen ist in Kapitel 5.4 dargestellt.

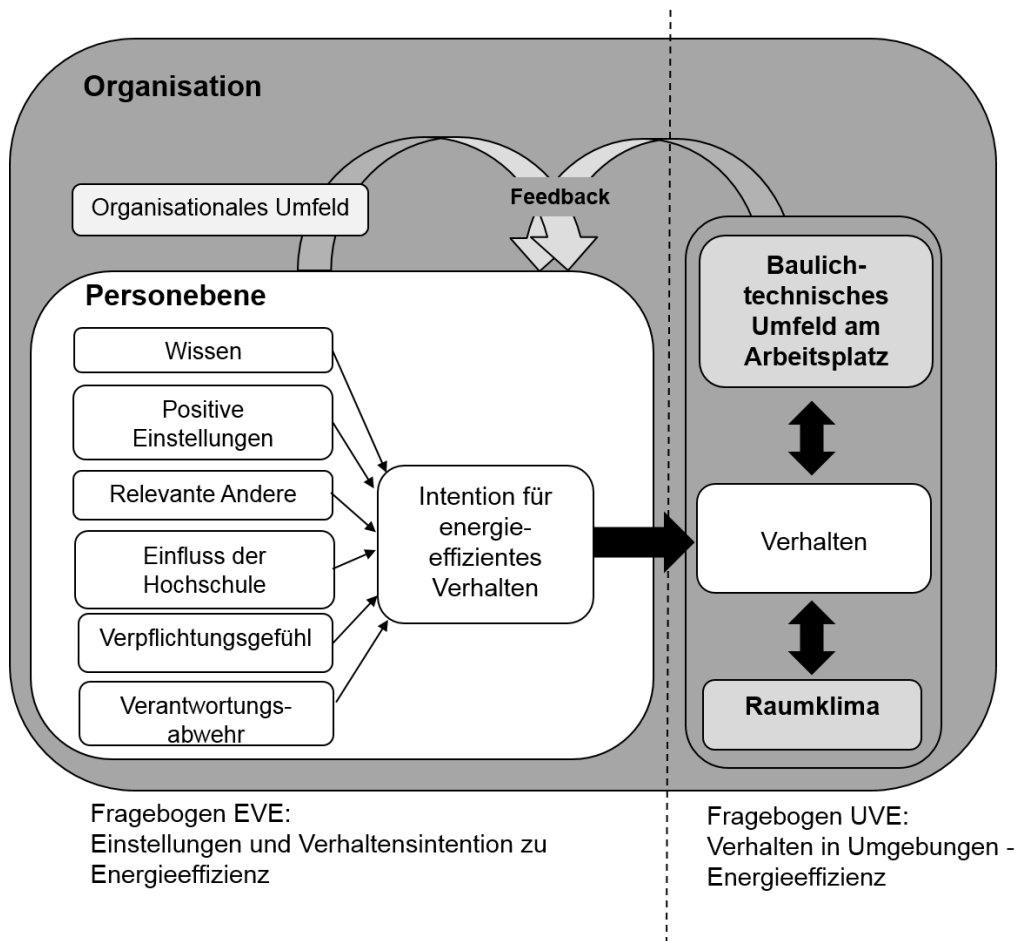


Abbildung 68: Psychologisches Rahmenmodell in REGENA, das der Entwicklung der Fragebogen EVE und UVE zugrunde liegt.

5.3.3.2 Das baulich-technische Umfeld des Projekts REGENA

Bauliche Umgebungsbedingungen, technische Ausstattungen und Arbeitsgeräte können fördernden oder hemmenden Einfluss auf das energierelevante Verhalten ausüben: Beispielsweise lässt sich in Großraumbüros die Raumwärme nicht einfach individuell anpassen, andererseits können nicht ausreichend gewartete Lüftungen unangenehme Gerüche und erhöhte CO₂-Werte verursachen, die zum häufigen Öffnen der Fenster führen. Die durch technische Aggregate unterstützte Wärmeregulierung ist ein eigenständiger Faktor, der in den Verhaltensmodellen zu umweltgerechtem Verhalten kaum berücksichtigt ist.

Im vorliegenden Projekt werden zwei Hochschulen untersucht, deren baulich-technische Voraussetzungen sich deutlich unterscheiden:

- Die Hochschule Niederrhein steht zu Beginn des Projektes in den Anfängen eines Energie-Monitorings und hat sich erst punktuell mit Energieeffizienz befasst. Seit 2011 ist eine Zählerstruktur angebracht, die ermöglichen sollte, Verbrauchswerte gebäudescharf zu erfassen. Einzelne Gebäude sind gut gedämmt, und in einem Gebäude wurden versuchsweise programmierbare Thermostate angebracht.

- Die weitere am Projekt beteiligte Hochschule ist die Hochschule Trier an ihrem Standort Umwelt-Campus Birkenfeld. Seit der Gründung des Umwelt-Campus Birkenfeld 1996 werden ausgewählte Energieverbrauchsdaten einzelner Gebäude und Komponenten systematisch erfasst und ausgewertet. Um im Rahmen des Energiemanagements nicht nur grob gestaffelte Verbrauchsdaten zu erhalten, wird seit 2002 ein im Fachgebiet Informatik entwickeltes System zum Verbrauchsdatenmanagement eingesetzt. Die Campus-Gebäudetechnik und die Energieversorgung werden über elektronische Schautafeln in den Hauptfluren visualisiert. Diese geben dem interessierten Besucher einen Überblick über die vorhandene Anlagentechnik und zeigen die Messwerte der aktuellen Zustands- und Verbrauchsdaten an.

5.3.3.3 Organisationale Rahmenbedingungen der beteiligten Hochschulen

Kolleginnen und Kollegen oder Kommilitoninnen und Kommilitonen sind wichtige Referenzpersonen für das eigene Verhalten: Relevante Andere oder Relevant Others. Sie geben Verhaltensnormen vor, die auf das individuelle Verhalten einwirken, indem organisationale Normen kommuniziert werden oder auf akzeptiertes oder abweichendes Verhalten hingewiesen wird. In unterschiedlichen Subgruppen bestehen unterschiedliche soziale Normen im Umfeld.

- Im Leitbild der Hochschule Niederrhein wird Nachhaltigkeit als Wert genannt. Allerdings wird dies nicht weiter präzisiert. Auch wird in der allgemeinen Hochschulkommunikation dem Thema Energieeffizienz innerhalb der Hochschule keine besondere Rolle zugewiesen. Energieeffizienz ist zum Zeitpunkt der Erhebung ein Forschungsschwerpunkt, der sich jedoch vielfach mit Projekten außerhalb der Hochschule befasst.
- Die Abteilung der Hochschule Trier verweist schon in ihrem Namen „Umwelt-Campus Birkenfeld“ auf den Umweltschutz, so dass angenommen werden kann, dass implizit Normen vorhanden sind. Es bestehen einige Professuren, die Umwelt und Ökologie als Schwerpunkt ausweisen. Auf der Website wird auf die Bedeutung des Themas Umwelt hingewiesen.

5.3.3.4 Merkmale von Hochschulangehörigen

Mitglieder in Hochschulen gehören unterschiedlichen Subgruppen an, die unterschiedliche Selbstverpflichtungen und Verhaltensweisen ausbilden können: Professor(inn)en, Verwaltungsangestellte, Labormitarbeiter(innen) und Studierende. Hochschulmitglieder haben unterschiedliche Berechtigungen über die von ihnen benutzten Räume und fühlen sich je nach Verantwortungsbereich in unterschiedlichem Maße gegenüber der baulich-technischen Umgebung und der Organisation verpflichtet (zu Definitionen von Verantwortung z. B. Eigenstetter, 2007). Je mehr Personen einen Raum nutzen, desto geringer ausgeprägt ist das Verantwortungsgefühl für diesen Raum, auch weil bei öffentlich genutzten Räumen keine individuellen Verantwortlichkeiten zugeordnet sind. In Organisationen besteht durch fehlende Verantwortlichkeiten Verantwortungsdiffusion.

Aufgrund der Rahmenbedingungen tragen Mitarbeitende und Studierende derzeit keine individuelle Verantwortung für den Energieverbrauch einer Hochschule. Da

bislang an den Hochschulen keine expliziten Verhaltensvorgaben bestehen, wird im Projekt die Bereitschaft erhoben, normative Vorgaben der Organisation zu akzeptieren.

Die Einflussmöglichkeiten der Mitarbeitenden und Studierenden zum Energiesparen sind zwar gering, aber in der Masse doch bedeutsam. Es sollte ein Wissen und ein Problembewusstsein dafür vorhanden sein, dass geöffnete Fenster und Türen zu großen Energieverlusten führen können, da Wärme- oder Kühlungsenergie aus den Hörsälen und Seminarräumen verloren geht. Zudem können Studierende und Mitarbeitende den Stromverbrauch vermindern, indem sie nach Gebrauch Geräte und Licht ausschalten. Es wird eine generalisierte Kontrollüberzeugung abgefragt, um zu prüfen, ob sich die Mitarbeitenden und Studierenden als verhaltenswirksam erleben können. Sie können in der Situation vermuten, dass es z. B. primär Aufgabe der Hochschulorganisation sei, sich um Energieeffizienz zu kümmern, oder dass ihr Beitrag zum Energiesparen ohnehin zu gering sei, um von Bedeutung zu sein (Verantwortungsabwehr).

Aus dem Wissen folgt jedoch nicht notwendigerweise eine positive Einstellung zum Umweltschutz und zum Energiesparen, auch nicht zwangsläufig ein individuelles Verpflichtungsgefühl zum Energiesparen. Eine positive Bewertung des Energiesparens ist jedoch für eine Durchsetzung von Energieeffizienz relevant, wenn keine Kontrollstrukturen vorhanden sind oder nicht aufgebaut werden können (z. B. aus Gründen des Datenschutzes). Nur bei einer positiven Einstellung gegenüber dem Energiesparen kann man davon ausgehen, dass Interventionsmaßnahmen die Ausbildung einer Verhaltensintention bewirken, d. h. die Bereitschaft, sich energieeffizient zu verhalten. Basis hierfür sind die Befunde aus der Einstellungs- und Interventionsforschung, siehe Abschnitte 5.6, 5.7 und 5.8.

5.4 Entwicklungsarbeiten: Fragebogen EVE und UVE

Es sollten Befragungsinstrumente entwickelt werden, mit denen Einstellungen und Verhaltensabsichten zu Energiesparen (EVE) erfasst werden können. Die Befragungsinstrumente sollen relevante Prädiktoren und die Verhaltensintentionen erfassen sowie das Verhalten selbst. Zudem sollen das baulich-technische Umfeld und das Raumklima sowie das Verhalten selbst erfasst werden (Umfeld und Verhalten für Energiesparen – UVE). Die Umfeldvariablen sind neben den persönlichen Merkmalen einer Person (z. B. deren Bereitschaft zum Energiesparen) wichtige Prädiktoren des Verhaltens.

Zunächst werden schon bekannte Skalensysteme für Umwelthandeln kurz aufgezeigt und bewertet. Eines der ersten Erhebungsinstrumente für Umweltbewusstsein ist ein Fragebogen von Maloney und Ward von 1973. Diese Skala enthält 130 Items in vier Subskalen, die mit Wissen, Affekt, Verhaltensintention und selbstberichtetem Verhalten bezeichnet wurden. Das Ergebnis ihrer Untersuchungen war, dass die Wissensskala nicht mit den anderen Subskalen korrelierte, die anderen drei Subskalen aber korrelierten untereinander (Maloney & Ward, 1973; Piskernik, 2007). In den 1980er Jahren wurde der Fragebogen von einem Forscherteam ins Deutsche übersetzt und

von einer weiteren Forschergruppe mehrmals überarbeitet. In der Endversion wird diese Skala mit SEU-3 bezeichnet und enthält 84 Items (Schahn, 2006; Piskernik, 2007).

Ein weit verbreitetes Instrument zur Erfassung von Umweltbewusstsein ist die New Environmental Paradigm Scale (NEP) von Dunlap und Van Liere aus dem Jahre 1978. Diese wurde mit zwei weiteren Kollegen im Jahre 2000 weiterentwickelt und in New Ecological Paradigm Scale umbenannt. Die Skala erfasst die Wertebasis umweltgerechten Verhaltens, ist damit eher verhaltensfern (Dunlap, et al., 2000). Die überarbeitete NEP-Skala von Dunlap et al. mit 15 Items wurde entwickelt, um die grundlegenden Ansichten der Menschen zu messen: Sehen sich die Menschen als ein Teil von Natur oder sehen sie sich separiert von Natur? (Piskernik, 2007).

Die General Ecological Behavior Skala (GEB) von Kaiser enthält 40 Items zu einem breiten Spektrum von umweltbewussten Verhaltensweisen. Die überwiegende Anzahl der Fragen bezieht sich auf Handlungen im Privathaushalt. Die Befragten sollen angeben, ob sie sich bereits auf einem bestimmten Gebiet engagiert haben (Piskernik, 2007; Bruni, et al., o. D.).

Die Mehrheit bisher erprobter und bekannter Fragebögen und Skalen zum Thema Umweltbewusstsein stammt aus dem anglo-amerikanischen Sprachraum. Die dort eingesetzten Konstrukte können nicht ungeprüft und kritiklos in die deutsche Sprache übersetzt werden, weil Übersetzungsgenauigkeiten bedeutende Antwortverzerrungen nach sich ziehen können. Das Verständnis einzelner Antwortoptionen bestimmt maßgeblich, wo sich eine Testperson auf einer Skala einstuft (Haas, 2009). In Datenbanken wie Psyndex und PsycINFO sind Fragen des Umweltbewusstseins, der Umwelteinstellungen und des Umweltverhaltens durch Schlagwörter wie „Environmental Attitudes“ oder „Ecological Conservation Behavior“ gekennzeichnet. Es werden im englischen Sprachraum überwiegend Fragen und Items eingesetzt, die sich mit der globalen Sichtweise von Umweltproblemen befassen (Bühner, 2006; Schahn, et al., 2000). In den meisten deutschsprachigen Fragebögen hingegen werden Items zu den Themenbereichen Mülltrennung im Haushalt oder Verkehrsmittelnutzung eingesetzt, hier steht also eher der private Bereich im Vordergrund. Es sind folglich nur begrenzte Vergleichsmöglichkeiten mehrerer Studien untereinander vorhanden. Eine weitere Schwierigkeit sind die relativ raschen Veränderungen im Umweltbereich, die im Gegensatz zum Persönlichkeits- oder Leistungsbereich eine Anpassung der Items in kürzeren Zeitabständen erfordern. Nach jeder Anpassung eines Fragebogens ist eine Neuvalidierung erforderlich, wenn die Gütekriterien des Erhebungsinstruments weiterhin nachweisbar Bestand haben sollen (Schahn, et al., 2000).

Die überwiegende Anzahl der beschriebenen Fragebögen stammt aus dem englischen Sprachraum und müsste übersetzt werden, damit die Testpersonen die Fragen bearbeiten können. Die MEAK-Skala von Maloney und Ward erschien zunächst sehr interessant, da sie moralische Einstellungen der Person gegenüber der Umwelt erfasst und sie für Untersuchungen an Universitäten verwendet wurde. Die Ori-

nalskala ist jedoch mit einer Anzahl von 130 Items für den Einsatz in der Praxis zu lang, zudem ist der Fragebogen schon sehr alt und einige Fragen sind nicht mehr zeitgemäß. Keiner der vorher genannten Fragebögen konnte daher ohne Anpassung für die vorliegende Fragestellung übernommen werden. Es erschien denkbar und möglich, bestimmten Skalen einzelne Items zu entnehmen, diese zu übersetzen und auf ihre Eignung hin zu überprüfen.

Bei der Suche in Datenbanken und auf Anfrage an Hochschulen, die bereits Projekte zum Energiesparen an Hochschulen oder zur Gebäudeautomatisierung durchgeführt haben, wurden stets Fragebögen gefunden, die sich sehr speziell an die Beschäftigten der dortigen Organisation richten und passend auf die dortigen technischen Rahmenbedingungen zugeschnitten sind.

Aufgrund der speziellen Fragestellung „Energiesparen an Hochschulen“ kann nur eingeschränkt auf vorhandenes Fragebogenmaterial zurückgegriffen werden. Es mussten eigene Messinstrumente entwickelt werden. Anhand der getroffenen Modellauswahl wurde die Testversion eines Fragebogens zur Erfassung von umweltrelevanten Einstellungen und Verhaltensintentionen entwickelt, der im Verlauf des Forschungsprojektes REGENA modifiziert wurde, weil sich teilweise Mängel in der Messgenauigkeit zeigten. Es werden Empfehlungen gegeben, welche weiteren Modifikationen an dem entwickelten Messinstrument vorgenommen werden sollen.

Auf Basis des psychologischen REGENA-Modells wurde eine Eigenentwicklung für Fragebögen vorgenommen. Es erschien sinnvoll, zwei Fragebögen zu konzipieren. Der Hintergrund dieses Vorgehens ist die Erkenntnis und das Wissen, dass die Übereinstimmung zwischen der Einstellung einer Person und ihrem Verhalten besonders groß ist, wenn sich beides auf den gleichen Sachverhalt bezieht. Es wurde die Entscheidung getroffen, die Befragung der Studienteilnehmer mit zwei nacheinander verteilten Fragebögen durchzuführen: mit einem Fragebogen zu Rahmenbedingungen und Verhalten (zu räumlichen und technischen Gegebenheiten der Arbeits- und Vorlesungsräume) und mit einem Fragebogen bezüglich energierelevanter Einstellungen und Verhaltensintentionen.

Der Fragebogen „Einstellungen und Verhaltensintentionen zum Energiesparen“ EVE fragt nach Wissen, Einstellungen, Werten und Verhaltensintentionen im Umgang mit Energie, und greift auf handlungstheoretische Modelle zurück (siehe „das theoretische Fundament der psychologischen Messung in REGENA“).

Der Fragebogen „Umgebungsbedingungen/tatsächliches Verhalten für Energiesparen“ (UVE) fragt nach baulich-technischen Umgebungsbedingungen, dem wahrgenommenen Komfort und dem tatsächlichen Verhalten an den Arbeitsplätzen der Hochschulen. Für UVE wurden zwei Versionen dieses Fragebogens erstellt: eine Kurzversion für Hörsaal-Nutzer (Studierende) und eine Langversion für Büronutzer (Beschäftigte in Lehre, Forschung und Verwaltung). Die Kurzversion fragt im Wesentlichen ab, wie die Nutzer zum Zeitpunkt der Raumnutzung den Komfort einschätzen und ob sie ggf. schon Verbesserungswünsche geäußert haben.

5.4.1 Einstellungen und Verhaltensintentionen zum Energiesparen – der EVE-Fragebogen

5.4.1.1 Die Skalen des Fragebogens EVE

Bei dem Fragebogen „Einstellungen und Verhaltensintentionen zum Energiesparen“ handelt es sich um eine Testentwicklung nach der klassischen Testtheorie. Ein Test ist als „ein wissenschaftliches Routineverfahren zur Untersuchung eines oder mehrerer empirisch abgrenzbarer Persönlichkeitsmerkmale mit dem Ziel einer möglichst quantitativen Aussage über den relativen Grad der individuellen Merkmalsausprägung“ definiert (Lienert & Raatz, 1998, p. 1). Der eingesetzte Fragebogen ist dabei ein Hilfsmittel zur Datenerhebung (Lienert & Raatz, 1998). Es werden dabei mehrere Aufgaben (Items) eingesetzt, um ein Merkmal zu erfassen, anschließend wird analysiert, wie gut die einzelnen Items gemeinsam das geprüfte Merkmal (Skala) abbilden (Bortz & Döring, 2006). Es wurde eine Befragung mit Fragebögen auf Papier mit Stift (paper and pencil) entwickelt, um eine möglichst große Stichprobe zu erreichen.

Die Skalen orientieren sich am psychologischen Rahmenmodell in Abbildung 68 als theoretisches Fundament der Messungen in REGENA. Die Änderungen des individuellen Verhaltens als mehrstufiger Prozess sollte abgebildet werden, so u. a. Wissen und Wissensvermittlung, Einstellungen, aber auch Normen der Umgebung und Einflüsse der Organisation. Der Fragebogen ist in voller Länge dem Anhang zu entnehmen. Dort ist auch gekennzeichnet, welches Item welcher veröffentlichten Skala entnommen wurde und welche Items neu entwickelt wurden.

Die erste Version des Fragebogens bestand aus 42 Items. Items sind positiv oder negativ formulierte Aussagen über einen Sachverhalt, zu dem die Befragten Zustimmung oder Ablehnung in mehreren, vorgegebenen Abstufungen äußern können. Die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten sind so konstruiert, dass der Abstand zwischen den Antwortmöglichkeiten möglichst gleich ist.

Um persönliche Meinungen zu erheben, eignet sich ein Fragebogen mit einer Likert-Skala. Die Befragten kreuzen an, ob sie einem Statement zustimmen oder es ablehnen. Da diese sogenannte Intervallskala mehrstufig ist, muss die befragte Person nicht mit „ja“ oder „nein“ antworten, sondern kann eine abgestufte Antwort geben. Als Antwortformat wurde größtenteils eine fünfstufige Skala verwendet, die von Studienteilnehmenden häufig präferiert wird. Eine ungeradzahlige Antwortskala enthält eine neutrale Mittelkategorie und ermöglicht bei Unsicherheit ein Ausweichen auf diese Antwortalternative (Bortz & Döring, 2006).

Um die Motivation der Befragten aufrecht zu erhalten, wurde versucht, die Erhebungsdauer so kurz wie möglich zu halten, ohne die Messgenauigkeit zu reduzieren. Nachstehend erfolgt die Beschreibung des Fragebogens, der sich sowohl aus publizierten Skalen bzw. Items als auch aus eigens konstruierten Items zusammensetzt. Einzelne Items bestehender Skalen wurden modifiziert, da die inhaltliche Aktualität nicht immer gegeben war.

Es wurden greifbare Verhaltensweisen in Bezug auf den effizienten Umgang mit Energie vorgegeben, die mit einer Ratingskala zu bewerten waren. Die Testversion des Fragebogens Einstellungen und Verhaltensintentionen enthielt 42 Statements in acht Skalen.

Als Prädiktoren der Verhaltensintention werden im Fragebogen EVE erhoben:

- Wissen um energieeffizientes Verhalten wie Wärmeverbrauch. Das Wissen ist eine notwendige Voraussetzung, um sich energieeffizient verhalten zu können (Skala W: 4 Items)
- Wissen um das Lüften. Das Wissen um korrektes Lüftungsverhalten ist eine notwendige Voraussetzung, um sich energieeffizient verhalten zu können (Skala L: 5 Items)
- Positive Affekte, Einstellungen und Bewertungen gegenüber Energiesparmaßnahmen und Umweltschutzmaßnahmen als notwendige Voraussetzung für die Ausbildung einer Verhaltensintention (Skala PA 7 Items)
- Einfluss der Hochschulen auf Maßnahmen zum Energiesparen: die Akzeptanz normativer Vorgaben sollte positiv mit der Verhaltensintention einhergehen (Skala HN 5 Items)
- Verpflichtungsgefühl (Personale Normen) ggü. Energiesparen sollte sich positiver auf die Verhaltensintention auswirken (Skala PN: 3 Items)
- Relevante Andere (Relevant Others) sollten positiv auf die Verhaltensintention wirken (Skala RO 5 Items)
- Verantwortungsabwehr umfasst mehrere Aspekte wie fehlende Möglichkeiten der Einflussnahme, Desinteresse und Attribuierung der Verantwortung an die Hochschule selbst (Skala VA: 8 Items).

Zudem fragt der Fragebogen EVE die Verhaltensintention ab, d. h. die Bereitschaft, sich energiesparend zu verhalten (Skala VI: 5 Items).

Im späteren Verlauf des Forschungsprojektes (ab November 2014) wurde eine neunte Skala in den Fragebogen EVE integriert: Maßnahmen der Organisation (Skala ORG: 7 Items).

Der Fragebogen soll für Studierende und für Beschäftigte an Hochschulen gleichermaßen einsetzbar sein. Daher wurden zwei Ausführungen des Bogens erstellt: eine Version, die sich in der Anrede ausdrücklich an Studierende richtet und bei einzelnen Itemformulierungen auf die Rolle der Studierenden bzw. der Beschäftigten in der Hochschule abzielt z. B. das Item 30 „Als Studierender / Mitarbeitender an der Hochschule kann ich durch mein Verhalten sowieso nichts zum Energiesparen beitragen“.

5.4.1.2 Reliabilitätsanalyse des EVE-Fragebogens anhand der Datensätze der Studierenden

Es liegen insgesamt 1686 Datensätze aus zehn Befragungen von Studierenden an beiden Hochschulstandorten mit dem Fragebogen EVE vor.

Von den 1686 Befragten waren 1172 männlich und 495 weiblich, 19 Personen machten keine Angabe zu ihrem Geschlecht. Der Altersdurchschnitt der befragten Studierenden betrug 22,66 Jahre (SD = 3,70).

In Tabelle 29 ist die Geschlechterverteilung der Studierenden sämtlicher Befragungszeitpunkte an beiden Hochschulstandorten dargestellt. Mit Ausnahme einer Erhebung an der HN im Wintersemester 2015 ist der überwiegende Anteil der Befragten männlich. Die höhere Anzahl Männer in der Stichprobe lässt sich damit erklären, dass technische Studien-Fächer bevorzugt von Männern gewählt werden. An den untersuchten Standorten werden überwiegend technische Studiengänge angeboten.

Tabelle 29: Geschlechterverteilung der befragten Studierenden

Befragungszeitpunkt	Standort	N	Geschlecht Studierende		
			männlich	weiblich	keine Angabe
SS 13	HN	463	334 72,1%	121 26,1%	8 1,7%
WS 13	HN	462	331 71,6%	126 27,3%	5 1,1%
	UCB	79	52 65,8%	27 34,2%	0
SS 14	HN	64	51 79,7%	12 18,8%	1 1,6%
WS 14	HN	154	107 69,5%	44 28,6%	3 1,9%
	UCB	79	52 65,8%	27 34,2%	0
SS 15	HN	94	62 66%	32 34%	0
	UCB	65	36 55,4%	29 44,8%	0
WS 15	HN	31	9 29%	22 71%	0
	UCB	66	54 81,8%	12 18,2%	0

In Tabelle 30 ist die Altersstruktur der befragten Studierenden an den beiden Hochschulstandorten, Hochschule Niederrhein (HN) und Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) aufgelistet. Die befragten Studierenden an der HN sind geringfügig älter (MW = 22,72, SD = 3,82) als jene am UCB (MW = 22,52, SD = 3,29), zudem ist an der HN die Streuung des Alters bei den Studierenden höher.

Tabelle 30: Altersstruktur der befragten Studierenden

Befragungszeitpunkt	Standort	N	Altersstruktur Studierende			
			MW	SD	Min	Max
SS 13	HN	463	23,27	3,23	18	44
WS 13	HN	462	22,23	3,48	17	39
	UCB	79	22,48	3,12	18	38
SS 14	HN	64	23,46	6,51	18	62
WS 14	HN	154	21,93	3,56	18	37
	UCB	79	22,48	3,12	18	38
SS 15	HN	94	22,72	4,66	18	46
	UCB	65	22,64	2,55	19	29
WS 15	HN	31	23,84	5,92	19	47
	UCB	66	23,14	4,23	19	53

Der Fragebogen wurde einer Reliabilitätsanalyse unterzogen (SPSS). Der Reliabilitätskoeffizient Cronbachs Alpha ist ein verbreitetes Maß für die interne Konsistenz einer Skala, welches auf der durchschnittlichen Korrelation zwischen den Items beruht. Es gibt an, wie genau die Items eines Tests ein Konstrukt messen. Je mehr Items ein Test enthält, desto größer wird Cronbachs Alpha. Der Koeffizient gibt also in Abhängigkeit von der Itemanzahl die Höhe der mittleren Itemzusammenhänge an. Eine Reliabilität (Cronbachs Alpha) von über 0,7 sollte angestrebt werden, Werte zwischen 0,8 und 0,9 werden in der Literatur als mittelmäßig, Werte über 0,9 als gut beschrieben; bei praktischen Anwendungen gibt man sich oft mit Werten ab 0,7 zufrieden (Bortz & Döring, 2006; Bühner, 2006). Bei Gruppenvergleichen sind nach Lienert und Raatz (1998) auch schon Reliabilitäten von Cronbachs Alpha von 0,5 akzeptabel. Nachfolgend werden zunächst die Reliabilitätswerte im Zeitverlauf aus den Befragungen der Studierenden betrachtet (vgl. auch Tabelle 31).

- Die Reliabilitäten der Skala „Lüften“ liegen bei acht von zehn Befragungen bei einem Cronbachs Alpha um 0,60. Dieser Wert ist akzeptabel für diese Anzahl an Statements. Durch Eliminierung des Items 7 „L 7 Einfluss Verhalten auf Verbrauch“ aufgrund geringer Trennschärfe ließe sich in den Erhebungen die Reliabilität geringfügig steigern. Die recodierten Items 5 und 6 „L 5 Lüften rec“ und „L 6 LüftenKipp rec“ wirken sich hingegen in allen hier betrachteten Befragungen positiv auf die gesamte Skalenreliabilität aus.

- Die Reliabilitäten der Skala „Wissen“ liegen in vier Befragungen unter einem Wert von 0,3, einmal wird sogar ein negativer Wert angenommen. Ein negativer Wert für Cronbachs Alpha deutet zunächst auf Codierungsfehler hin. Die Datensätze wurden aber von zwei Personen geprüft, sodass ein Fehler in der Codierung unwahrscheinlich erscheint. Eine weitere Erklärung für den negativen Wert könnte mangelndes Textverständnis bei den Befragten oder eine missverständliche Formulierung im Fragebogen sein. Aufgrund der niedrigen Werte für Cronbachs Alpha ist diese Skala nicht für eine reliable Messung geeignet, dennoch kann eine Betrachtung der einzelnen Fragen zum Lüftungsverhalten wichtige Anhaltspunkte für Interventionen liefern.
- Die Reliabilitäten der Skala „Einfluss Hochschule“ liegen in neun von zehn Befragungen um 0,60 und erreichen damit akzeptable und im zeitlichen Verlauf stabile Werte. Es ließe sich die Reliabilität der Skala bei den vorliegenden Datensätzen nur sehr geringfügig erhöhen, wenn Items entfernt würden, sodass an dieser Stelle kein Vorschlag für eine mögliche Kürzung des Fragebogens gegeben werden kann.
- Das Cronbachs Alpha der Skala „positive Einstellung gegenüber Energiesparen“ liegt in neun von zehn Befragungen bei einem Wert um 0,80 und erreicht damit einen zufriedenstellenden Wert.
- Die Skala „Personale Norm“ erreicht bei acht von zehn Befragungen der Studierenden Werte zwischen Cronbachs Alpha von 0,6 und 0,7, was ausreichende Werte sind. Da in dieser Skala ohnehin nur drei Items enthalten sind, sollten hieran keine Kürzungen vorgenommen werden.
- Die Skala „Relevant Others“ erreicht bei einer Befragung den Cronbachs Alpha-Wert von 0,69 bis 0,88 und ist somit gut. Es fällt kein Item dieser Skala in den vorliegenden Befragungen durch geringe Trennschärfe auf, sodass eine Elimination von Items nicht notwendig ist.
- Bei der Skala „Verantwortungsabwehr“ werden Werte von Cronbachs Alpha von 0,61 bis 0,8 erreicht. Einzelne Items wurden in jeweils einer Befragung durch eine geringe Trennschärfe auffällig. Da aber diese Items aber nur einmal einen „Ausreißer“ aufwiesen, wurde dies nicht weiter berücksichtigt.
- In der Skala „Verhaltensintention“ werden akzeptable Werte von Cronbachs Alpha von 0,61 bis 0,76 erreicht. Bei Betrachtung der Itemtrennschärfen fallen niedrige Werte bei den Items 33 und 40 auf. Bei einzelnen Erhebungen würde sich die Eliminierung eines oder beider Items positiv auf die Höhe des Cronbachs Alpha der Gesamtskala auswirken. Bei einer Kürzung des Fragebogens EVE wäre zu erwägen, auf diese Items zu verzichten.
- Die Skala „Maßnahmen der Organisation“ wurde erst ab dem WS 2014 in den Fragebogen aufgenommen. Hierbei werden Reliabilitäten von Cronbachs Alpha 0,64 bis 0,80 erreicht; diese Werte sind ausreichend. Die geringsten Trennschärfen treten bei den Items 45 und 49 auf. Bei einer Fragebogenkürzung ließe sich durch Elimination dieser Items eine geringfügig höhere Skalenreliabilität erreichen.

Tabelle 31: Fragebogen EVE, Skalenreliabilitäten im Zeitverlauf, Befragung von 1686 Studierenden der HN und des UCB (Reliabilitätskoeffizient Cronbachs Alpha)

Erhebungszeitpunkte EVE (Studierende)		SS 13	WS 13		SS 14	WS 14		SS 15		WS 15	
Skalen	Anzahl Items	HN	HN	UCB	HN	HN	UCB	HN	UCB	HN	UCB
Skala Lüften	5	0,64	0,65	0,66	0,64	0,65	0,59	0,63	0,48	0,49	0,56
Skala Wissen	4	0,27	0,25	0,33	-0,05	0,50	0,60	0,29	0,28	0,42	0,32
Skala Einfluss Hochschule	5	0,64	0,62	0,60	0,67	0,66	0,50	0,73	0,63	0,60	0,63
Skala positive Einstellung gegenüber Energiesparen	7	0,80	0,81	0,77	0,85	0,79	0,81	0,80	0,84	0,73	0,77
Skala personale Norm	3	0,75	0,65	0,72	0,73	0,65	0,63	0,53	0,81	0,65	0,58
Skala Relevant Others	5	0,73	0,76	0,73	0,76	0,72	0,71	0,77	0,69	0,88	0,81
Skala Verantwortungsabwehr	8	0,75	0,70	0,61	0,80	0,70	0,67	0,77	0,66	0,79	0,75
Skala Verhaltensintention	5	0,68	0,74	0,67	0,74	0,74	0,76	0,75	0,67	0,61	0,72
Skala Maßnahmen der Organisation	7	nicht erhoben	nicht erhoben	nicht erhoben	nicht erhoben	0,64	0,80	0,71	0,60	0,69	0,66

5.4.1.3 Reliabilitätsanalyse des EVE-Fragebogens anhand der Datensätze der Beschäftigten

Neben den Studierenden als wichtige Zielgruppe wurden an den beiden Hochschulstandorten auch Beschäftigte in jeweils einem ausgewählten Gebäude befragt. Es liegen 101 Datensätze aus sieben Befragungen von Beschäftigten an beiden Hochschulstandorten mit dem Fragebogen EVE vor. Von den 101 Befragten waren 34 männlich und 67 weiblich. Der Altersdurchschnitt der befragten Beschäftigten betrug 42,04 Jahre (SD = 10,39).

In der Tabelle 32 ist die Geschlechterverteilung der Beschäftigten aller Befragungszeitpunkte an beiden Hochschulstandorten dargestellt.

Tabelle 32: Geschlechterverteilung der befragten Hochschul-Beschäftigten

Befragungszeitpunkt	Ort	N	Geschlecht Beschäftigte			
			männlich	weiblich	keine Angabe	
WS 13	HN	20	5	14	1	
	UCB	14	6	8	0	
SS 14	UCB	11	5	6	0	
WS 14	UCB	10	4	6	0	
SS 15	HN	16	5	11	0	
WS 15	HN	23	6	17	0	
	UCB	8	3	5	0	
SS 16	HN	15	3	12	0	

In der Tabelle 33 ist die Altersstruktur der befragten Beschäftigten an den beiden Hochschulstandorten aufgelistet. Die Beschäftigten der HN sind im Mittel geringfügig älter (MW = 42,76, SD = 9,92) als am UCB (MW = 41,75, SD = 11,02). Dabei ist die Streuung des Alters bei den Beschäftigten der HN geringer.

Tabelle 33: Altersstruktur der befragten Hochschul-Beschäftigten

Befragungszeitpunkt	Ort	N	Altersstruktur Beschäftigte			
			MW	SD	Min	Max
WS 13	HN	18	40,94	10,11	25	56
	UCB	14	39,36	11,73	27	58
SS 14	UCB	11	45,64	8,69	33	64
WS 14	UCB	8	44,50	10,99	29	54
SS 15	HN	16	45,62	9,91	29	57
WS 15	HN	23	41,73	9,74	23	58
	UCB	8	37,50	12,68	26	55
SS 16	HN	15	44,53	9,69	29	58

Nachfolgend werden analog zu den Befragungen der Studierenden die Reliabilitäten der Befragungen der Beschäftigten an beiden Hochschulstandorten erläutert:

- Die Reliabilitäten der Skala „Lüften“ liegen bei sieben Befragungen, wie in der Tabelle 34 dargestellt, bei einem Cronbachs Alpha zwischen 0,33 und 0,75, in einer weiteren Befragung wird sogar ein negativer Wert erreicht. Diese große Spannweite und der einzelne negative Wert deuten auf eventuelle Verständnisprobleme bei den Befragten hin. Bei Betrachtung der Itemtrennschärfen fallen übereinstimmend in den ersten beiden Befragungen im WS 2013 niedrige Trennschärfen bei den Items 5 und 6 auf, die aber in den folgenden Befragungen nicht mehr auftraten. Die Skalenreliabilitäten dieser beiden Befragungen waren nicht hoch, aber auch nicht auffällig niedrig. Interessanterweise erreichte die darauffolgende Befragung der Beschäftigten im SS 2014 am UCB einen negativen Cronbachs Alpha Wert.
- Die Skala „Wissen“ hat bei zwei von acht Befragungen ein negatives Vorzeichen, die restlichen sechs Skalenreliabilitäten liegen zwischen Cronbachs Alpha von 0,11 und 0,76. Eine Erklärung für die geringen Werte und die beiden negativen Werte könnte ein mangelndes Textverständnis bei den Befragten oder eine missverständliche Formulierung bei der Fragebogenerstellung sein.
- Die Reliabilitäten der Skala „Einfluss Hochschule“ liegen zwischen 0,57 und 0,87 und erreichen damit akzeptable und im zeitlichen Verlauf stabile Werte. Bei zwei einzelnen Befragungen fallen niedrige Itemtrennschärfen beim Item 14 auf, die aber nur geringen Einfluss auf das jeweilige Cronbachs Alpha der

Gesamtskala ausüben. Es ließe sich die Reliabilität der gesamten Skala bei den vorliegenden Datensätzen nur sehr geringfügig erhöhen, wenn Items entfernt würden, sodass an dieser Stelle kein konkreter Vorschlag für eine mögliche Kürzung des Fragebogens gegeben werden kann.

- Das Cronbachs Alpha der Skala „positive Einstellung gegenüber Energiesparen“ liegt in den Befragungen zwischen 0,51 und 0,89 und erreicht damit einen zufriedenstellenden Wert. Bei zwei Befragungen haben die Items 15 bzw. 25 jeweils eine geringe Trennschärfe, eine Eliminierung hätte aber an der jeweiligen Skalenreliabilität wenig geändert.
- Die Skala „personale Norm“ erreicht bei sieben von acht Befragungen der Beschäftigten Werte zwischen Cronbachs Alpha von 0,13 und 0,76, der achte Wert hat ein negatives Vorzeichen. Da in dieser Skala ohnehin nur drei Items enthalten sind, sollten hieran keine Kürzungen vorgenommen werden.
- Die Skala „Relevant Others“ erreicht Werte von Cronbachs Alpha von 0,42 bis 0,87 und sind somit gut akzeptabel. Es fallen in drei vorliegenden Befragungen die Items 35, 36 und 41 durch geringe Trennschärfen auf, eine Elimination von Items würde aber die Skalenreliabilität jeweils nur geringfügig erhöhen.
- Bei der Skala „Verantwortungsabwehr“ werden Werte von Cronbachs Alpha von 0,43 bis 0,89 erreicht. Bei der Betrachtung der Itemtrennschärfen fallen bei zwei einzelnen Befragungen recht niedrige Trennschärfen des Items 18, bei zwei weiteren Befragungen niedrige Trennschärfen bei den Items 17 und 22 auf. In diesen Fällen ließe sich aber das Cronbachs Alpha der Skala nur geringfügig verbessern.
- In der Skala „Verhaltensintention“ werden mit Ausnahme einer Befragung Werte von Cronbachs Alpha von 0,58 bis 0,80 erreicht. Diese Werte sind ausreichend. In einer weiteren Befragung erhält das Cronbachs Alpha ein negatives Vorzeichen. In fünf von sieben Befragungen fällt bei den Items 33 und 40 eine geringe Trennschärfe auf. Bei einzelnen Datensätzen würde sich die Eliminierung eines oder beider Items positiv auf die Höhe des Cronbachs Alpha der Gesamtskala auswirken.
- Die Skala „Maßnahmen der Organisation“ wurde erst ab dem WS 2014 in den Fragebogen aufgenommen, da hier erstmalig sichtbare Maßnahmen der Organisation auftraten. Hierbei werden Reliabilitätswerte von Cronbachs Alpha 0,33 bis 0,90 erreicht. Bei einzelnen Befragungen treten niedrige Trennschärfen einzelner Items auf, deren Elimination würde die Skalenreliabilität aber jeweils nur gering beeinflussen, weshalb an dieser Stelle kein Vorschlag zur Elimination von Items gemacht werden kann.

Tabelle 34: Fragebogen EVE, Skalenreliabilitäten im Zeitverlauf, Befragung von Beschäftigten der HN und am UCB (Reliabilitätskoeffizient Cronbachs Alpha)

Erhebungszeitpunkte EVE (Beschäftigte)		WS 13		SS 14	WS 14	SS 15	WS 15		SS 16
Skalen	Anzahl Items	HN	UCB	UCB	UCB	HN	HN	UCB	HN
Skala Lüften	5	0,46	0,54	-0,25	0,33	0,75	0,53	0,54	0,73
Skala Wissen	4	0,26	-0,60	-0,03	0,76	0,30	0,59	0,66	0,11
Skala Einfluss Hochschule	5	0,57	0,87	0,69	0,80	0,63	0,85	0,70	0,65
Skala positive Einstellung gegenüber Energiesparen	7	0,81	0,84	0,73	0,83	0,51	0,77	0,89	0,78
Skala personale Norm	3	0,60	0,65	0,13	0,18	-0,16	0,76	0,49	0,45
Skala Relevant Others	5	0,62	0,87	0,59	0,59	0,85	0,65	0,42	0,86
Skala Verantwortungsabwehr	8	0,68	0,43	0,60	0,69	0,63	0,55	0,89	0,45
Skala Verhaltensintention	5	0,58	0,73	-0,18	0,80	0,58	0,74	0,67	0,58
Skala Maßnahmen der Organisation	7	nicht erhoben	nicht erhoben	nicht erhoben	0,72	0,90	0,84	0,33	0,79

5.4.1.4 Faktorenanalytische Prüfung der Items aus einer Erhebung bei Studierenden der Hochschule Niederrhein

Eine Faktorenanalyse wird eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen Items auf verborgene Variablen (Faktoren) zu untersuchen. Der Fragebogen EVE wurde theoriebasiert erstellt, mit der Durchführung der Faktorenanalyse sollen erste Bestätigungen getätigt werden, dass u.a. die Annahmen in dem Normaktivationsmodell von Schwartz zutreffend für die vorliegende Fragestellung sind (Bühner, 2006).

Die Stichprobeneignung war gegeben, der KMO-Wert von 0,87 kennzeichnet die Stichprobe als gut geeignet. Mit dem Datensatz aus der Erhebung im SS 2013 an der Hochschule Niederrhein wurde probeweise eine exploratorische Faktorenanalyse durchgeführt. Alle 42 Items des damaligen Fragebogens wurden der Faktorenanalyse unterzogen. Es wurde dieser Datensatz verwendet, weil hier mit 463 Befragten die höchste Teilnehmerzahl erreicht wurde und dadurch eine hohe Aussagekraft zu erwarten ist. Die Items wurden einer Hauptkomponentenanalyse unterzogen.

Der Tabelle 11 lassen sich der Eigenwerteverlauf und die durch die Faktoren erklärte Varianz entnehmen. Nach dem Kaiser-Guttman-Kriterium soll jeder Faktor durch mindestens ein Item erklärt werden, sodass in diesem Fall die 42 vorhandenen Items mit zehn Faktoren korrelieren. Dabei erklären die zehn Faktoren eine Gesamtvarianz von 60,1%. Um eine bessere Zuordnung der Items zu den Faktoren zu erzielen, wurde die Oblimin-Rotationstechnik mit einem Delta-Wert von 0 für maximal korrelierte Items angewandt. Es ergibt sich nach der Oblimin-Rotation fast genau das gleiche Muster der erklärten Gesamtvarianz wie bei der Hauptkomponentenanalyse. Erneut werden etwa 60,12% der Varianz durch zehn Faktoren erklärt. Die Komponentenkorrelationsmatrix wies Korrelationen von max. 0,37 auf.

Tabelle 35: Erklärte Gesamtvarianz, Hauptkomponentenanalyse des EVE-Fragebogens

Gekürzt und reduziert auf Komponenten mit Eigenwert größer 1 (nach Kaiser-Guttman-Kriterium); Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse, Oblimin-Rotationstechnik

Erklärte Gesamtvarianz							
Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt
1	8,989	21,403	21,403	8,989	21,403	21,403	6,729
2	3,495	8,322	29,725	3,495	8,322	29,725	2,867
3	2,470	5,880	35,605	2,470	5,880	35,605	2,139
4	2,115	5,036	40,641	2,115	5,036	40,641	2,854
5	1,822	4,338	44,979	1,822	4,338	44,979	4,553
6	1,479	3,520	48,500	1,479	3,520	48,500	5,242
7	1,426	3,395	51,895	1,426	3,395	51,895	3,044
8	1,205	2,870	54,765	1,205	2,870	54,765	2,347
9	1,159	2,759	57,524	1,159	2,759	57,524	1,738
10	1,090	2,596	60,120	1,090	2,596	60,120	1,851

Auf dem Faktor 1 laden 13 Items, drei von ihnen mit negativem Vorzeichen. Fünf Variablen zeigen Korrelationen größer 0,5. Verdichtet lässt sich der Faktor mit dem eigenen Beitrag und der persönlichen Betroffenheit an der Thematik beschreiben. Die höchsten Ladungen erzielen die Items 15, 16 und 21. Die darauf ladenden Items gehören verschiedenen Skalen an: „Einfluss der Hochschule“, „positive Einstellung gegenüber Energiesparen“, „personale Norm“ und „Wissen“. Es laden aber auch drei Items der Skala „Verantwortungsabwehr“ negativ auf diesem Faktor.

Auf dem Faktor 2 laden fünf Items. Diese Items gehören alle der Skala „Relevant Others“ – Einfluss Anderer an. Der Faktor 3 lässt sich mit Begrifflichkeiten der eigenen Möglichkeit zur Einflussnahme beschreiben. Insgesamt laden sechs Items auf diesem Faktor. Auf dem Faktor 4 laden vier Variablen, die jeweils mit dem Lüftungsverhalten zu tun haben.

Bereits in der Itemanalyse wurde deutlich, dass die Items zum Thema „Wissen um relevante Größen“ aus dem Fragebogen nicht innerhalb einer Skala geeignet sind, um Wissen messgenau abzufragen.

Der Scree-Plot, ein weiteres Verfahren zur Faktorenextraktion, zeigt die Eigenwerte der Faktoren vor der Rotation auf. Es entsteht bei Bewertung der Knickstelle eine Lösung mit vier Faktoren. Nach grafischer Analyse erscheint eine Lösung mit vier Faktoren sinnvoll, die sich jedoch inhaltlich kaum interpretieren lässt.

Ein wesentliches Ergebnis aus der Faktorenanalyse ist, dass Items aus verschiedenen Inhaltsbereichen gemeinsam auf den gleichen Faktor laden. Die Faktorenanalyse führte inhaltlich nicht zur gewünschten Faktorenstruktur. Die Dimension Wissen ist in der Faktorenlösung nicht abgebildet, dies entspricht aber auch dem Ergebnis der Itemanalyse. Die Analysen der Skalen bilden die angenommene Struktur aus dem Normaktivationsmodell von Schwartz unvollständig ab. Einschränkend muss festgehalten werden, dass eine exploratorische Faktorenanalyse nicht das Mittel der Wahl ist. Für weitere Prüfungen, die aber nicht Teil des Projektes sein können, sollten konfirmatorische Verfahren mit Kreuzvalidierung eingesetzt werden. Dies konnte aber aus zeitlichen Gründen nicht zum Inhalt des Projektes werden.

5.4.1.5 Abschließende Bewertung zum Fragebogen EVE

Die Items waren teilweise aus etablierten Fragebögen entnommen, teilweise wurden sie neu erstellt. Die durch die Hauptkomponentenanalyse mit anschließender Oblimin-Rotation gewonnene Faktorenstruktur spiegelt nicht die theoretischen Skalen wider, ist in diesem Fall aber auch nicht das Verfahren der Wahl.

Da die Items und Skalen aber aufgrund inhaltlich-theoretischer Überlegungen erstellt wurden, wurde der Fragebogen in der theoretisch angelegten Struktur beibehalten. Die Reliabilitäten der Skalen für sich betrachtet sind ausreichend. Die Differenzierung in verschiedene Subskalen erwies sich im Verlauf der Erhebungen als valide in Bezug auf die inhaltliche Interpretation: So wurden die erwarteten Unterschiede zwischen UCB und HN bestätigt, z. B. die stärker ausgeprägte Verhaltensabsicht und Selbstverpflichtung am UCB, energiesparende Geräte zu nutzen.

Im Verlauf der Datenerhebung wird ersichtlich, dass die Befragten zum Teil nicht wiederholt an Folgebefragungen teilnahmen, was mit der Länge des Fragebogens und dem erwarteten Zeitaufwand zusammenhängen kann. Anzeichen der Ermüdung (willkürliches Ankreuzen, Muster) sind in Paper-and-Pencil-Befragungen leicht erkennbar. Betroffene Abschnitte wurden systematisch von der Auswertung ausgeschlossen.

Eine wünschenswerte Kürzung auf wesentliche aussagekräftige Skalen aufgrund statistischer Parameter sollte im Projektverlauf vorgenommen werden, konnte aber aufgrund der knappen Personalausstattung und im Zusammenhang mit den technischen Problemen nicht realisiert werden, weshalb der Fragebogen unverändert weitergeführt wurde. So blieb eine hohe Vergleichbarkeit über die verschiedenen Erhebungszeitpunkte gewährleistet.

5.4.2 Fragenbogenentwicklung UVE

Bei der vorliegenden Fragestellung „Energiesparen an Hochschulen“ konnte nur eingeschränkt auf vorhandenes Fragebogenmaterial anderer Forschungsarbeiten zurückgegriffen werden, weil bisherige Fragebögen organisationsspezifisch erstellt wurden und nicht auf die Untersuchungen im Forschungsprojekt REGENA passten. Zudem wurde die Entscheidung getroffen, zwei Fragebögen einzusetzen: einen Fragebogen „Umgebungsbedingungen/tatsächliches Verhalten für Energiesparen“ zu räumlichen und technischen Gegebenheiten der Arbeits- und Vorlesungsräume (im folgenden UVE genannt) und den bereits beschriebenen Fragebogen EVE zu den „Einstellungen und Verhaltensintentionen zum Energiesparen“. Diese sollten, um einen common source bias bzw. common method bias zu vermeiden, nicht zum gleichen Zeitpunkt eingesetzt werden.

Im Gegensatz zu dem bereits vorgestellten Fragebogen EVE ist der Fragebogen UVE nicht anhand von theoretischen Konstrukten erstellt. Der Fragebogen UVE erfragt konkrete Aspekte, z. B. die Raumnutzungsart, die räumlichen Bedingungen vor Ort und die dort eingesetzte Technik. Beispielsweise wurden allein an der Hochschule Niederrhein in den im Projekt betrachteten Gebäuden mindestens drei verschiedene Heizkörperthermostate verbaut und genutzt sowie am Umwelt-Campus Birkenfeld ein System mit Einzelraumregelung genutzt, was die Erstellung eines einheitlichen Messinstrumentes erschwert. Nachfolgend werden einige Punkte diskutiert, die hinter der Erstellung des Fragebogens UVE standen. Der Fragebogen kann dem Anhang entnommen werden.

Der Fragebogen besteht aus sechs inhaltlichen Blöcken:

- Beschreibung des Raumes und der Ausstattung (21 Items)
- Bedienung programmierbarer Thermostate an Heizkörpern (5 Items)
- Bewertung der klimatischen Situation im Arbeitsraum (8 Items)
- Kontrollmöglichkeiten über Umgebungsvariablen (5 Komponenten)
- Einsatz und Vorhandensein elektrischer Verbraucher im Büro (4 Items)
- Verhaltensweisen beim Lüften und bei der Nutzung der Bürotechnik (13 Items)

Basis der Entwicklung des Fragebogens waren Items aus dem Change-Fragebogen der Ruhr-Uni Bochum sowie den Hausumfeldstudien von Müller an der RWTH Aachen (Müller, 2002; Matthies, 2008). Weitere Items, insbesondere zur Bedienung der programmierbaren Heizungsthermostate an der HN und den Einzelraumreglern am UCB zur individuellen Einflussnahme auf Raumklima und Belüftung basieren auf den räumlichen Bedingungen vor Ort und wurden teilweise neu entwickelt. Der Fragebogen zu den Rahmenbedingungen wurde vor dem erstmaligen Einsatz an einer Stichprobe von 15 Personen erprobt.

5.4.2.1 Einflussmöglichkeiten der Nutzenden auf die räumlichen Bedingungen

Weiterhin stellte sich die Frage nach den Einflussmöglichkeiten hinsichtlich der Energieeinsparung durch einzelne Nutzergruppen. Studierende, die an einer Vorlesung in einem großen, klimatisierten Hörsaal teilnehmen, haben wenige Möglichkeiten, aktiv Einfluss auf das Raumklima zu nehmen. Beschäftigte, zumeist in Ein- oder Zweipersonenbüros, haben neben höheren Komfortansprüchen in der Regel die Möglichkeit, ein Fenster zum Lüften zu öffnen oder die Heizung zu regulieren. An Büroarbeitsplätzen sind zahlreiche Stromverbraucher wie PCs, Monitore, Scanner, Multifunktionsgeräte täglich im Betrieb, denn die meisten Aufgaben der Hochschulen werden computerunterstützt bearbeitet. Selbst wenn ein grundsätzliches Verständnis bei den Beschäftigten für das Energiesparen vorhanden ist, können bedeutende Energieverbraucher leicht übersehen werden. Leerlaufzeiten wie Mittagspausen und Besprechungen werden kaum berücksichtigt. Den Nutzenden ist oft nicht gegenwärtig, dass auch im Stand-By-Betrieb Strom verbraucht wird oder wenn das ausgeschaltete Gerätes lediglich an der Steckdose angeschlossen ist. Auch unabsichtliches oder gedankenloses Nutzungsverhalten kann den Stromverbrauch deutlich und unnötig erhöhen (Deutsche Gesellschaft für Anlagensicherheit, o. D.).

Räume in öffentlichen Gebäuden sind häufig komfortabel beheizt, bei entsprechend hohem Energieverbrauch. Das Behaglichkeitsempfinden in der Arbeitsumgebung ist individuell verschieden, da das persönliche Wärmebedürfnis variiert. Die Belüftung wird, auch aus Unwissenheit, häufig falsch gehandhabt: Bei einem erhöhten Bedürfnis nach Frischluftzufuhr oder einem geringeren Wärmebedürfnis wird das Fenster oft dauerhaft zum Lüften auf Kipp gestellt, anstatt die Heizung zu regulieren. Dies führt jedoch nicht zu einer verbesserten Frischluftzufuhr im Vergleich zum Stoßlüften. Beim Kipplüften geht durch den langsamen und stetigen Luftaustausch wesentlich mehr gespeicherte Wärme durch Auskühlung der Wände verloren. Wenn Büroräume je nach individuellem Bedarf höher beheizt werden, sollten die Temperaturen in Fluren und Gemeinschaftsräumen niedriger gehalten werden und die Türen geschlossen bleiben, um Wärmeverluste durch die Luftströmung zu minimieren (Deutsche Gesellschaft für Anlagensicherheit, o. D.).

Häufig arbeiten Menschen in einer Arbeitsumgebung, die nicht auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten wurde, sondern nach prototypischen, im Zeitverlauf veränderlichen Kriterien geplant wurde. In vielen Fällen wirkt die Arbeitsumgebung einschränkend auf den Menschen und kann die soziale Interaktion und das allgemeine Wohlbefinden beeinträchtigen (Deutsche Gesellschaft für Anlagensicherheit, o. D.).

5.4.2.2 Einsparpotenziale durch energetische Betriebsoptimierung

Die Verbesserung der Energieeffizienz durch energetische Betriebsoptimierung bietet beachtliche Energieeinsparpotenziale unter Erhaltung des Nutzerkomforts. Ein Vorteil liegt darin, dass mit nur geringen Investitionen eine sofortige Einsparwirkung erreicht werden kann. In vielen Gebäuden können 10% bis 20% des Strom- und Wärmeverbrauchs durch geringinvestive Maßnahmen eingespart werden (EnOB, o. D.). Die energetische Betriebsoptimierung umfasst alle für den Gebäudebetrieb relevanten

Bereiche wie die technischen Abläufe, das Energiemanagement und die Einbindung der Nutzenden.

Der Energieverbrauch eines Gebäudes und seiner eingesetzten Techniken ist zu großen Teilen nutzerabhängig (Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 2011). In verschiedenen Veröffentlichungen wurde gezeigt, dass durch das Verhalten der Gebäudenutzenden der Energieverbrauch des Gebäudes stark variieren kann, wobei das Verhalten Beschäftigter bislang kaum untersucht wurde (Schahn, 2004; Schahn, 2007). Angestellte in Organisationen haben sich an einen bestimmten Komfort am Arbeitsplatz gewöhnt, beispielsweise die Temperaturen in den Arbeitsräumen (Müller & Person, 2011). Alltagsroutinen und daraus resultierende Gewohnheiten spielen bei der Nutzung von Energieverbrauchern (elektrische Geräte, Heizung, Beleuchtung) eine große Rolle und stehen der Bereitschaft zu Verhaltensänderungen entgegen (Wagner & Matthies, 2011; Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 2011).

5.4.2.3 Exkurs: Umgebungsbedingungen und Klimafaktoren am Arbeitsplatz mit Auswirkungen auf den Energieverbrauch

Raumklima

Das Klima hat eine wesentliche Bedeutung unter den Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz. Mit Klima ist das Zusammenwirken von vier Klimafaktoren gemeint: Temperatur der Luft und der Raumflächen, Luftfeuchtigkeit, -bewegung und -qualität. Diese Klimafaktoren haben sowohl physiologische als auch psychologische Auswirkungen. Die Bedeutung des Klimas liegt in der Abhängigkeit der Funktionsweise des menschlichen Körpers von bestimmten Klimazuständen.

Der menschliche Organismus ist nur bei einer Körpertemperatur zwischen 35°C und 40°C lebensfähig, wobei die Normaltemperatur bei 37°C mit engen Toleranzgrenzen liegt. (Schlick et al. 2010). Mit Hilfe komplexer Wärmeregulationsmechanismen wird permanent ein Gleichgewicht zwischen der körpereigenen Wärmeproduktion durch Bewegung, Stoffwechsel und Immunreaktionen und den externen Einflüssen durch das Klima hergestellt.

Raumklima und Behaglichkeit der Arbeitsumgebung sind wesentlich für das Wohlbefinden des Menschen und seine Leistungsfähigkeit. Die klimatischen Bedingungen werden jedoch individuell sehr unterschiedlich wahrgenommen (Schlick, et al., 1993, p. 861ff). Das führt häufig zu höherem Energieverbrauch, wenn z. B. bei laufender Heizung die Fenster geöffnet werden oder zusätzlich mobile Heizgeräte eingesetzt werden.

Beleuchtung

Die meisten Informationen aus der Arbeitsumgebung werden als optische Reize durch das Auge wahrgenommen. Dies setzt beleuchtete, helle Objekte voraus. Am Arbeitsplatz muss die Beleuchtung so gestaltet sein, dass Gefahren vermieden werden und die Leistung auf einem geeigneten Beanspruchungsniveau erbracht werden kann. Die zunehmend mit digitaler Informationsverarbeitung verbundenen Aufgaben erfordern angepasste Beleuchtungskonzepte für Büroarbeitsplätze. Licht hat auch

emotionale Wirkungen auf den Menschen und somit Einfluss auf Leistung, Ausdauer und Wohlbefinden und den Gesundheitszustand ganz allgemein. Auch hier spielen Gewohnheiten eine große Rolle: Beim Betreten des Büros wird meist das Licht eingeschaltet, jedoch nicht den veränderlichen Lichtverhältnissen angepasst, was einen erhöhten Energieverbrauch zur Folge hat. (Schlick, et al., 1993, p. 885ff).

5.4.2.4 Die Adaption des Fragebogens an die Zielgruppen

Anhand von Beobachtungen und Gesprächen mit Beschäftigten wurde anschließend der Fragebogen UVE erstellt. Es wurden eine Kurz- und eine Langfassung im Projekt eingesetzt: Die kurze Version mit einem Umfang von zwei DIN A4-Seiten für Hörsaalnutzende (Studierende und Lehrpersonal) enthielt Fragen zur Raumtemperatur und der damit verbundenen Behaglichkeit und ob bereits Bemühungen unternommen wurden, klimatische Mängel im Raum zu beheben. Ferner hatten die Nutzenden ab dem WS 2013 die Möglichkeit, in einem freien Antwortformat mitzuteilen, welche klimatischen Bedingungen in dem Raum als störend empfunden werden. Nach den ersten Interventionen (den Nutzenden gegenüber „Informationsveranstaltung“ genannt), konnte jeweils angegeben werden, ob an diesen teilgenommen wurde und ob die eingesetzten Materialien wie Plakate oder Prompts aufgefallen sind.

Die kurze Version enthielt ausschließlich Items zum Komfortempfinden wie Fragen zur Raumtemperatur und der damit verbundenen Behaglichkeit, zu Luftbewegungen, zur Luftqualität und ob bereits Bemühungen unternommen wurden, klimatische Mängel im Raum zu beheben. Ferner hatten die Befragten die Möglichkeit, in einem freien Antwortformat mitzuteilen, welche klimatischen Bedingungen in dem Raum als störend empfunden werden.

Die lange Version des Fragebogens UVE richtete sich an Nutzende von Büroräumen und umfasste acht DIN A4-Seiten. Es wurden bauliche Aspekte abgefragt wie Stockwerk, Ausrichtung des Gebäudes oder Entfernung des eigenen Arbeitsplatzes zu Fenstern und Türen. Im Weiteren wurde nach der Belegung des Raumes, Kontrollmöglichkeiten zur Regulierung von Umgebungsvariablen, vorhandenen Geräten am Arbeitsplatz und Gewohnheiten zur Licht- und Gerätenutzung gefragt. Analog zur Befragung der Hörsaalnutzenden wurde auch diese Zielgruppe nach der Raumtemperatur und der damit verbundenen Behaglichkeit, zu Luftbewegungen, zur Luftqualität und ob bereits Bemühungen unternommen wurden, klimatische Mängel im Raum zu beheben befragt. Auch hier bestand die Möglichkeit, in einem freien Antwortformat mitzuteilen, welche klimatischen Bedingungen in dem Raum störend sind sowie die Angaben zur Teilnahme an den Schulungen und Kenntnisnahme der projektbezogenen Informationsmaterialien.

Insgesamt liegen 2413 Datensätze des Fragebogens UVE von Hörsaalnutzenden vor, davon 1998 von Nutzenden an der Hochschule Niederrhein und 415 von Nutzenden am Umwelt-Campus Birkenfeld. An der Hochschule Niederrhein mussten neun Datensätze aufgrund falscher Raumangaben von weiteren Analysen ausgeschlossen werden. An beiden Hochschulstandorten wurden jeweils drei Hörsäle und

ein Seminarraum untersucht. Der Tabelle 36 ist die genaue Verteilung der Datensätze auf die untersuchten Räume zu entnehmen.

Tabelle 36: Überblick über die Anzahl der befragten Studierenden

HN	Anzahl	%-Anteil	UCB	Anzahl	%-Anteil
20009035	666	33,3	SR	44	10,6
20022582	620	31	HS 1	103	25,07
20001081	703	35,2	HS 2	174	41,92
Ausschluss wg. falscher Angaben	9	0,5	HS 3	93	22,41
Gesamt HN	1998	100	Gesamt UCB	415	100

5.4.3 Beobachtungsbogen

Es wurde ein standardisierter Beobachtungsbogen für eigens geschulte Kräfte zur teilnehmenden Beobachtung während der Hörsaalnutzung erstellt, auf dem zunächst Raumnummer und Etage des betrachteten Raumes sowie Uhrzeit und Datum notiert wurden. Nach detaillierten Vorgaben wurde erfasst, wie viele Personen jeweils zum Beginn und zum Ende einer Vorlesung im Raum waren, wann und wie lange welche Fenster bzw. Türen von den Nutzenden geöffnet oder geschlossen wurden. Im Weiteren wurde die Anzahl von Stromverbrauchern wie Beamern, Laptops, Handys und Overheadprojektoren notiert. Raumtemperatur und Luftfeuchte wurden jeweils zu Beginn und zum Vorlesungsende erfasst, und alle 15 Minuten wurde der CO₂-Gehalt der Raumluft gemessen und festgehalten. Zusätzlich konnten in einem Freitextfeld Anmerkungen zu aufgetretenen Auffälligkeiten notiert werden. Im Anschluss an jede Beobachtung wurden die Außentemperatur und die relative Luftfeuchte der Außenluft jeweils zu Vorlesungsbeginn und –ende über eine nahegelegene Wetterstation ermittelt. Der Beobachtungsbogen ist dem Anhang zu entnehmen.

5.5 Informationsmaterialien

5.5.1 Die Entwicklung der Informationsmaterialien

5.5.1.1 Anschaulichkeit von Informationen

Zielgruppenorientierung und Anschaulichkeit sind wesentliche Aspekte, dass Schulungsmaterialien ihre Wirkung entfalten können, die in der Entwicklung berücksichtigt wurden. Viele nicht mit Energieeffizienz vertraute Personen haben keine Vorstellung von der physikalischen Einheit kWh als Maß der Energie. Daher wurde damit gear-

beitet, die Begriffe zu veranschaulichen. Beispiele hierfür sind: Mit 1 kWh (Kilowattstunde) als Maß der insgesamt eingesetzten Energiemenge kann man...

- sieben Stunden mit dem PC inkl. Monitor arbeiten
- eine Maschine Wäsche waschen
- zwei Tage einen 300-Liter-Kühlschrank nutzen
- 70 Tassen Kaffee kochen
- einen Hefekuchen backen
- 15 Hemden bügeln
- 60 Minuten Staubsaugen (1000 Watt)

Der einfache Vergleich zeigt, dass stromsparende Geräte entsprechend länger betrieben werden können, bis die gleiche Menge an Energie verbraucht ist. Eine Übersetzung in monetäre Größen sollte systematisch erfolgen, da dies eine Bezugsgröße ist, die jedem bekannt ist, so z. B. in folgendem Beispiel (Abbildung 69).

	Vermiedener Stromverbrauch pro Jahr	Vermiedene Stromkosten (0,13 €/kWh) pro Jahr	Ersparnis CO ₂
1 Deckenleuchte	13,2 kWh/a	1,72 €/a	7,02 kg/a
6 Deckenleuchten	79,2 kWh/a	10,3 €/a	42,1 kg/a

Abbildung 69: Strom-, Kosten- und CO₂-Einsparung

Es wurde für die Anschaulichkeit die Textinformationen soweit wie möglich mit Bildern gearbeitet, denn eine gemeinsame Vermittlung von Text und Bild erlaubt es, Lerninhalte besser einzuprägen, als wenn nur anhand von Texten gelernt wird (Wenninger & Eigenstetter, 2010). Als Beispiel für eine Text-Bild-Kombination wurde der Stromverbrauch eines Gebäudes anhand von „Haushalten“ veranschaulicht (Abbildung 70).

Stromverbrauch an der Hochschule, Gebäude A

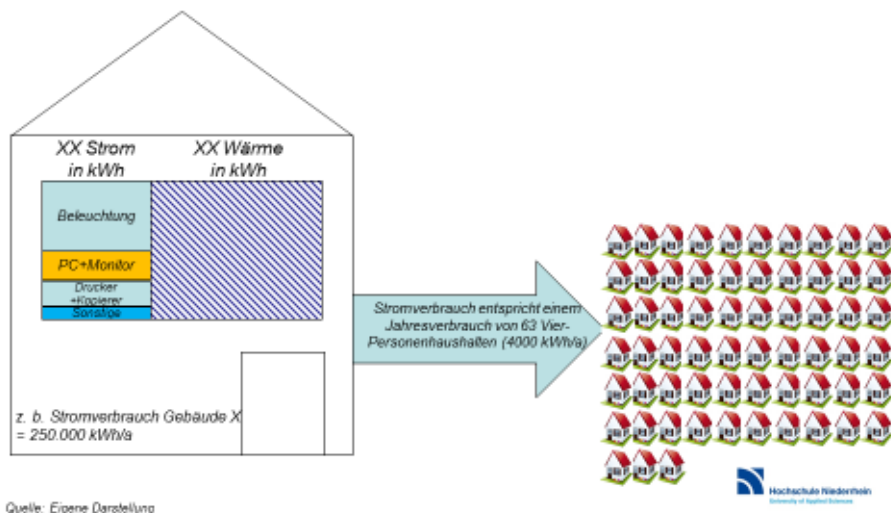


Abbildung 70: Veranschaulichung des Stromverbrauchs eines Hochschulgebäudes durch die entsprechende Anzahl von Einfamilienhäusern

Ein weiteres Beispiel für die Anschaulichkeit von Informationen in Verknüpfung mit dem AIDA-Modell ist eine Anleitung für optimale PC-Einstellungen, in der Schritt für Schritt beschrieben wurde, wie man den PC umweltfreundlicher einstellen kann, verbunden mit Hinweisen zur Relevanz des Energiesparens und konkret aufgezeigten Einsparmöglichkeiten.

Einstellungen für Energiesparplan ändern: Benutzerdefinierter Energiesparplan 2

Wählen Sie die Energiespar- und Anzeigeeinstellungen aus, die Sie für den Computer verwenden möchten.

	Akku	Netzbetrieb
<input checked="" type="radio"/> Bildschirmhelligkeit regeln:	<input type="text" value="1 Minute"/>	<input type="text" value="2 Minuten"/>
<input checked="" type="radio"/> Bildschirm ausschalten:	<input type="text" value="2 Minuten"/>	<input type="text" value="25 Minuten"/>
<input checked="" type="radio"/> Energiesparmodus nach:	<input type="text" value="10 Minuten"/>	<input type="text" value="5 Stunden"/>
<input checked="" type="radio"/> Anzeigehelligkeit anpassen:	<input type="range" value="50"/>	<input type="range" value="50"/>

[Erweiterte Energieeinstellungen ändern](#)

Änderungen speichern

Abbrechen

5.5.1.2 Einstellungs- und verhaltenswirksame visuelle Botschaften (Prompts)

Prompts sind visuell kommunizierte Verhaltenshinweise auf geeigneten Informationsträgern, z. B. Aufkleber und Plakate, die bereits vorhandene, für das Zielverhalten günstige Einstellungen aktivieren (Wortmann, 2010). Aufkleber sind leicht zu handhaben und situationsfokussiert einsetzbar, außerdem kostengünstig und effektiv (Tobias & Mosler, 2010). Als Erinnerungshilfen mit Aufforderungscharakter sollen die Prompts Interesse wecken und dazu anregen, sich weitere Informationen zu beschaffen und so das Umweltverhalten im Alltag spielerisch unterstützen.

Um die angestrebten Verhaltensänderungen positiv zu kommunizieren, wurde gemeinsam mit dem Referat Hochschulkommunikation für das Projekt eine Serie von Prompts entwickelt und damit Poster und Aufkleber gestaltet zum Einsatz in den Hörsälen, im Studierendensekretariat und in der Fachschaft. Als Blickfang mit Wiedererkennungswert dienen einfache Bildsymbole der technischen Geräte (Drucker, Thermostat etc.). Durch die Kombination dieser Icons mit originellen und zugleich informativen Slogans sollen relevante Handlungsmöglichkeiten im Gedächtnis verankert und situativ aktiviert werden: So heißt der Slogan neben dem Bild eines zum Stoßlüften geöffneten Fensters „Querlüften fördert Querdenken“.

Tabelle 37: Motive der Prompts der Hochschule Niederrhein



Prompt „Drucker“

Slogan: „Ausdrucken, dann AUS drücken“

Platzierung: neben dem Ausschalter des Geräts

Botschaft: die Nutzenden werden daran erinnert, den Drucker nach Gebrauch direkt auszuschalten, um den Energieverbrauch im Stand by Modus zu senken



Prompt „Heizen und Lüften“

Slogan: „Lüften versus Heizen“

Platzierung: neben/auf dem Heizkörperregler

Botschaft: beim Lüften sollten die Heizventile zugedreht werden



Prompt „Pause“

Slogan: „Mach mal Pause“

Platzierung: neben dem Ausschalter des Bildschirms bzw. des Laptops

Botschaft: bevor die Nutzenden Mittagspause machen, sollten sie die Geräte abschalten



Prompt „Licht“

Slogan: „Geht's raus? Mach's aus“

Platzierung: neben dem Lichtschalter

Botschaft: beim Verlassen des Raums werden die Nutzenden daran erinnert, das Licht auszumachen



Prompt „Fenster“

Slogan: „Querlüften fördert Querdenken“

Platzierung: auf dem Fensterrahmen bzw. neben dem Fenstergriff

Botschaft: Stoßweises Querlüften ist effizienter und sollte dem (Dauer-) Kipplüften vorgezogen werden



Prompt „Tür“

Slogan: „Zugezogen? Sonst zieht's“

Platzierung: Türrahmen bzw. Tür in Augenhöhe

Botschaft: das Zuziehen der Türen verhindert das Entweichen der Heizwärme



Prompt „Feierabend“

Slogan: „Feierabend - endlich abschalten“

Platzierung: neben dem Lichtschalter

Botschaft: mit einer abschaltbaren Steckerleiste können bei Verlassen des Arbeitsplatzes alle angeschlossenen Geräte durch eine einzige Betätigung des Kippschalters energiesparend abgeschaltet werden

REGENA Augenmerk auf Energie



Abbildung 72: Plakat „REGENA- Augenmerk auf Energie“

Auch das Plakat „REGENA – Augenmerk auf Energie“ folgte in seinen Gestaltungsaspekten dem AIDA-Modell. Die Aufmerksamkeit wird durch ausgewählte Prompts in sattgrüner Farbe auf dem ruhigen grauen Hintergrund erzeugt. Die einprägsamen Slogans sind ergänzt durch kompakte Informationen zur energieeffizienten Nutzung des jeweiligen Ausstattungsgegenstands und zur Energiemenge, die über das Jahr eingespart werden kann.

5.5.2 Das Energiesparpaket: Neue Informationsmaterialien und Zugangswege für die Mitarbeiter

Die Auswahl von verhaltensbeeinflussenden Interventionstechniken sollte an die Zielgruppe angepasst erfolgen (Matthies, 2000). Aus diesem Grund wurden für die Mitarbeitenden der Hochschule und die Studierenden zielgruppenspezifische Interventionen entwickelt. Während für die Mitarbeitenden neben einer einführenden Informationsveranstaltung eine Kleingruppenarbeit entwickelt wurde, wurden die Studierenden im Rahmen der interdisziplinären Projektarbeiten in die Entwicklung der Maßnahmen einbezogen.

Ausgehend von der geringen Beteiligung der Verwaltungsbeschäftigten an den angebotenen Schulungen wurde an der Hochschule Niederrhein entschieden, vor dem Projektabschluss noch eine weitere Interventionsphase zu organisieren, denn einzelne Beschäftigte signalisierten vermehrt Interesse an den Themen. Im Rahmen einer Interdisziplinären Projektarbeit (IP) im WS 2015/2016 hatten die beteiligten Studierenden die Aufgabe, Flyer und Broschüren mit zielgruppenspezifischer Ansprache sowie Inhalte zum Einsatz auf Infoscreens in den öffentlichen Bereichen der Hochschule Niederrhein zu erarbeiten und weiterzuentwickeln. Die Ergebnisse wurden für eine weitere Intervention angepasst und durch das Referat Hochschulkommunikation professionell aufbereitet, z. B. der Flyer „Energieleitfaden“:

Sehr geehrte Damen und Herren,

Jedes Jahr zahlt die Hochschule eine ansehnliche Summe für Strom und Wärmeenergie. Ob im Großraumbüro oder im Einzelbüro: Energiesparen lohnt sich und fordert das Engagement aller Beschäftigten – aus Verantwortung sowohl für die Kosten als auch für den Klimaschutz.

Schauen Sie sich mal in Ihrem Büro sowie den Büros der Kollegen um, und zählen Sie alle Elektrogeräte wie Computer, Drucker, Kopierer, Notebooks... Vermutlich kommen Sie auf eine beträchtliche Menge an Einzelgeräten. Hier ist bei den Geräten ein hohes Energiesparvolumen vorhanden sein, ohne dass Komforteinbußen zu erwarten sind.

Mit nur kleinen Maßnahmen lässt sich im Büro viel Energie sparen: Probieren Sie doch die beiliegende abschaltbare Steckdosenleiste gleich an Ihrem Arbeitsplatz aus!

Auf der rechten Seite finden Sie einige Tipps und Tricks, wie Sie einen Teil dazu beitragen können, an der Hochschule Niederrhein Energie zu sparen.

Fallen Ihnen weitere Ideen zum Energiesparen hier an der HSNR ein?
energiesparen@hs-niederrhein.de

ENERGIE SPAREN IM WINTER

ÜBER DEN TAG BEIM VERLASSEN DES RAUMS

Licht löschen // PC in Standby // Stoßlüftung statt Dauerkippl-Stellung (ideal: Beim Lüften die Heizung aus, Ideale Raumtemperatur 20 bis 21 °C [Stufe 3])
// Türen geschlossen halten

VOR DEM FEIERABEND

Licht löschen // Steckdosenleisten und technische Geräte ausschalten // Heizung auf Stufe 2

ENERGIE SPAREN IM SOMMER

ÜBER DEN TAG BEIM VERLASSEN DES RAUMS

Licht löschen // PC in Standby

VOR DEM FEIERABEND

Licht löschen // Steckdosenleisten und technische Geräte ausschalten

Abbildung 73: Flyer-Innenseite



Abbildung 74: Flyer-Außenseite

Die Abschlussintervention für die Hochschulbeschäftigten sollte anschauliche Informationen zum Einsparpotenzial strombetriebener Geräte mit einem Anreiz verbinden, das Wissen sofort am Arbeitsplatz umzusetzen, in Form von abschaltbaren Steckdosenleisten. Wie aus den Ergebnissen des Fragebogens UVE deutlich wurde, sind solche Steckdosenleisten nicht in allen Büroräumen der Verwaltung als Grundausstattung installiert. Daher wurde ein „Energiesparpaket“ zusammengestellt, bestehend aus einer eigens designten Stofftasche mit aufgedruckten REGENA-Piktogrammen zum Thema Energieeffizienz, die bereits von Plakaten und Aufklebern bekannt sind, ausgestattet mit Türhängern, Flyern, Prompts und je einer Elektroleiste (siehe Abbildung 75). Die Energiesparpakete wurden den Verwaltungsmitarbeitenden persönlich als Präsente überreicht.



Abbildung 75: Energiespar-Paket der Hochschule Niederrhein

Exemplarisch sollte mit diesem Ansatz deutlich werden, dass „das Energiesparen“ als Prozess aufgefasst werden kann, der auf verschiedenen Ebenen stattfindet:

- Strukturell mit geeigneten räumlich-technischen Rahmenbedingungen, zeitlichen Ressourcen und Spielräumen und verfügbarem Equipment
- wissensbezogen mit passend zugeschnittenen Informationen und Spielraum für Einstiegs- und Lernprozesse Einzelner und gruppenbezogenen Entwicklungen
- motivierend durch erkennbaren Rückhalt durch die Organisation im Sinne eines für alle Beteiligten gültigen Leitbildes und als gemeinschaftliches Anliegen, zu dem jeder seinen Teil beiträgt
- praktisch durch greifbare Anregungen, Rituale und Erinnerungshilfen im Alltag, die den empfundenen Aufwand verringern oder als lohnend erscheinen lassen

wodurch die individuelle Umsetzung auf der Verhaltensebene erst möglich wird und mit der Zeit durch wachsende Kompetenzen und soziale Verstärkung „selbstverständlicher“ wird.

5.6 Intervention bei Studierenden: die Kurzschulungen

5.6.1 Überblick über die Datenerhebung „Einstellungen und Verhaltensintentionen“ (EVE)

An der Hochschule Niederrhein im Gebäude F befinden sich drei Hörsäle (20009035, 20022582 und 20001081), die im Projekt betrachtet wurden. Diese drei Räume können drei unterschiedlichen Fachbereichen zugeordnet werden.

Tabelle 38: Übersicht über die Interventions- und Erhebungszeitpunkte

	HN	UCB
SS 13	Vorerhebung 1 EVE	
WS 13	Vorerhebung 2 EVE	Baseline EVE
SS 14	Vorerhebung 3 EVE	Intervention Kurzschulung Strom
WS 14	Baseline EVE	Intervention Kurzschulung Wärme
WS 14		Interventionsmessung 1 nach Strom und Wärme
SS 15	Intervention Kurzschulung Strom, Plakate, Feedback (CO ₂ /Gesamtenergieverbrauch)	Intervention Kurzschulung Strom
SS 15	Interventionsmessung 1 EVE	Interventionsmessung 2 EVE nach Strom und Wärme
WS 15	Intervention Kurzschulung Strom, Plakate, Feedback (CO ₂ /Gesamtenergieverbrauch)	Intervention Kurzschulung Wärme
WS 15	Interventionsmessung 2 EVE	Interventionsmessung 3 EVE nach Wärme

Für Baseline-Messungen mit anschließender Intervention und Folgemessungen der eingetretenen Veränderungen sind im Normalfall Verfahren mit Messwiederholung erforderlich, beispielsweise ein t-Test für verbundene Stichproben oder eine Varianzanalyse mit Messwiederholung. Da immer wieder wechselnde Beschäftigte an den Befragungen teilnahmen, konnten diese Methoden der verbundenen Messung nicht angewendet werden, weshalb Verfahren ohne Messwiederholung eingesetzt wurden. Diese unterschätzen eher die Unterschiede der gemessenen Veränderung. Das bedeutet, Aussagen über Unterschiede von Vorher zu Nachher können mit ausreichender Verlässlichkeit interpretiert werden. Alle Messungen in diesem Bericht wurden mittels Verfahren ohne Messwiederholung durchgeführt.

5.6.2 Baseline-Messung

Es fanden an der Hochschule Niederrhein im SS 2013, im WS 2013 sowie im SS 2014 Vorerhebungen mit dem EVE-Fragebogen statt (vgl. Tabelle 38). Zu jener Zeit war eine Vergleichbarkeit hinsichtlich Zeitpunkt und Jahreszeit zwischen den Hochschulen beabsichtigt. Dies ließ sich im späteren Verlauf des Projektes aufgrund der zeitlichen Verzögerung an der HN nicht realisieren, da die Erstellung der technischen Baseline an der HN noch andauerte.

Mit den Erhebungen konnten 989 Datensätze gewonnen werden, die einer einfaktoriellen ANOVA unterzogen wurden, um Mittelwertunterschiede zwischen den ersten drei Messzeitpunkten an der HN zu prüfen: es gibt keine signifikanten Mittelwertunterschiede in den Skalen zwischen den ersten Messzeitpunkten (vgl. Tabelle 39). Die Befragungen alleine führten nicht zu Veränderungseffekten. In den nachfolgenden Berechnungen wird der Datensatz der Erhebung aus dem WS 2014 als Baseline verwendet.

Die Bedingungen zur Erhebung der Baseline waren in allen drei Hörsälen gleich. An der Baseline-Erhebung an der HN nahmen 154 Personen teil, davon 107 Männer, 44 Frauen, zwei Personen gaben das Geschlecht nicht an. Das Durchschnittsalter der Befragten war 21,93 Jahre (SD = 3,56). An der Baseline-Erhebung am UCB im WS 2013 nahmen 208 Personen teil, davon 136 Männer, 70 Frauen, drei Personen gaben das Geschlecht nicht an. Das Durchschnittsalter der Befragten war 22,25 Jahre (SD = 3,22).

Aus Abbildung 76 ist ersichtlich, dass das Wissen über Energiesparen bei den befragten Studierenden an beiden Hochschulen auf mittlerem Niveau liegt (MW = 3,1 an der HN, MW = 3,1 am UCB). Das Wissen um effizientes Lüftungsverhalten liegt an beiden Hochschulen etwas höher (MW = 3,8 an der HN, MW = 3,9 am UCB). Auf ähnlichem Niveau wird der Einfluss der Hochschule berichtet (MW = 3,4 an der HN, MW = 3,5 am UCB), zugleich werden aber organisationale Maßnahmen an der HN nur in eher geringem Ausmaß wahrgenommen (MW = 2,5). Die organisationalen Maßnahmen am UCB wurden zum Zeitpunkt der Baseline-Erhebung noch nicht mit-erfasst. Einen besonders geringen Wert nimmt die Skala „Relevant Others“ an der HN an (MW = 2,1). Dies erscheint erstaunlich, weil bei Studierenden der Einfluss sogenannter Peers als besonders hoch angenommen wurde.

Allerdings nimmt auch am UCB diese Skala nur einen Mittelwert von 2,5 an. Bei den fünf Skalen „Positive Einstellung“, „Personale Norm“, „Relevant Others“, „Verantwortungsabwehr“ und „Verhaltensintention“ gibt es signifikante Unterschiede zwischen den beiden Hochschulen. So haben Studierende am UCB eine positivere Einstellung gegenüber dem Energiesparen. Auch das eigene Verpflichtungsgefühl, etwas zu tun, ist deutlich höher. Relevante Andere nehmen am UCB einen höheren Stellenwert ein als an der HN. Zudem zeigt sich bei Studierenden am UCB eine geringere Verantwortungsabwehr (Abbildung 76).

Möglicherweise gibt es bei den Studierenden einen Selbstselektionseffekt: Der „Umwelt“-Campus hat vermehrt Studiengänge und Professuren, die sich mit nachhaltiger Entwicklung beschäftigen.

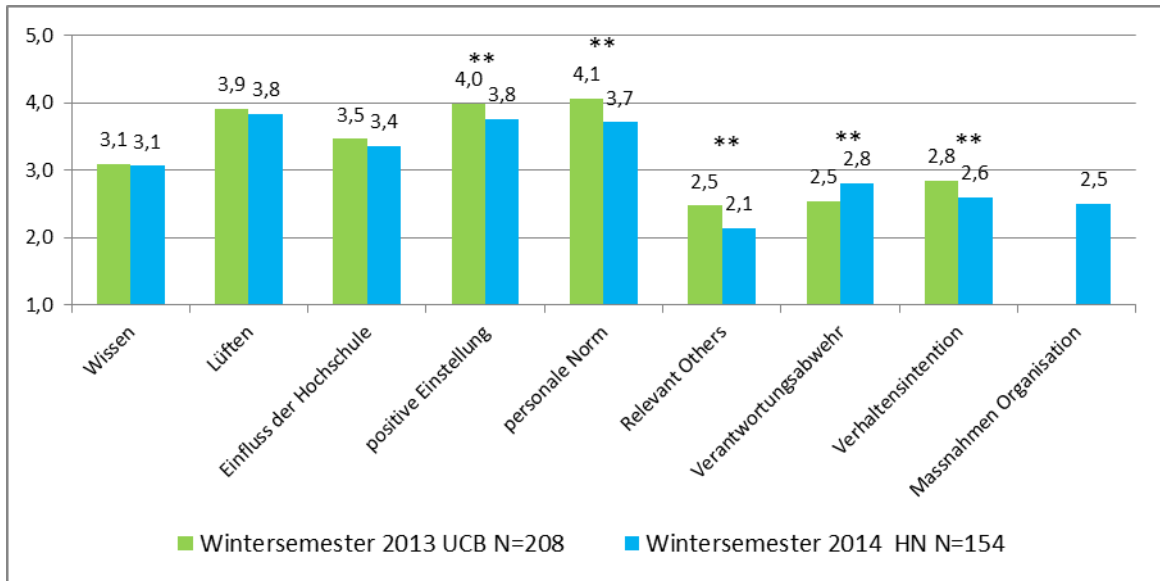


Abbildung 76: Baseline-Skalenmittelwerte, Studierende an der HN und am UCB, Fragebogen EVE.

Fünfstufige Skala von „1 stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“;

** signifikant auf 1%-Niveau

Tabelle 39: Einfaktorielle ANOVA zur Prüfung der Mittelwertunterschiede zwischen den ersten drei Messzeitpunkten, Vorerhebung EVE (Studierende der HN)

Hochschule Nieder- rhein (HN)	SS 13		WS 13		SS 14		F-Wert	Signifikanz
	MW	SD	MW	SD	MW	SD		
	N=463		N=462		N=64			
Wissen	3,06	0,57	3,05	0,60	3,13	0,47	0,50	0,61
Lüften	3,91	0,71	3,78	0,73	3,88	0,69	4,16	0,02 *
Einfluss der Hoch- schule	3,53	0,64	3,43	0,63	3,45	0,61	2,55	0,08 ⁰
positive Einstellung	3,79	0,68	3,76	0,65	3,79	0,73	0,32	0,73
personale Norm	3,79	0,80	3,72	0,73	3,71	0,82	0,82	0,44
Relevant Others	2,24	0,87	2,34	0,90	2,35	0,89	1,47	0,23
Verantwortungs- abwehr	2,77	0,67	2,80	0,60	2,80	0,69	0,24	0,79
Verhaltensintention	2,76	0,81	2,71	0,80	2,64	0,84	0,76	0,47

Bewertung auf fünfstufiger Skala mit den Ankerpunkten „1 = stimme gar nicht zu“ und „5 = stimme voll und ganz zu“.
 MW: arithmetisches Mittel; SD: Standardabweichung; * signifikant auf 5%-Niveau; ⁰ Trend

Tabelle 40: t-Test, Unterschiede von Skalenmittelwerten in den Einstellungen und Verhaltensintentionen mit dem Fragebogen EVE bei den Studierenden der HN und des UCB

Skala	Erhebungszeitpunkt / Hochschule	N	Mittelwert	Standardabweichung	t	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	WS 14 / HN	154	3,07	0,70	-0,30	0,77
	WS 13 / UCB	208	3,09	0,55		
Lüften	WS 14 HN	154	3,84	0,72	-1,01	0,31
	WS 13 UCB	208	3,92	0,70		
Einfluss der Hochschule	WS 14 HN	154	3,37	0,70	-1,40	0,16
	WS 13 UCB	208	3,47	0,63		
positive Einstellung	WS 14 HN	154	3,76	0,70	-3,50	0,00 **
	WS 13 UCB	208	4,00	0,60		
personale Norm	WS 14 HN	154	3,72	0,81	-4,38	0,00 **
	WS 13 UCB	208	4,07	0,71		
Relevant Others	WS 14 HN	154	2,15	0,85	-3,55	0,00 **
	WS 13 UCB	208	2,48	0,90		
Verantwortungsabwehr	WS 14 HN	154	2,81	0,65	4,37	0,00 **
	WS 13 UCB	208	2,54	0,53		
Verhaltensintention	WS 14 HN	154	2,61	0,80	-2,84	0,01 **
	WS 13 UCB	208	2,84	0,74		
Maßnahmen der Organisation	WS 14 HN	154	2,50	0,60		
	WS 13 UCB	208	Keine Messung			

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; ** signifikant auf 1%-Niveau

5.6.3 Interventionen durch Kurzschulungen und Plakate im Gebäude F an der Hochschule Niederrhein

Die erste Intervention an der Hochschule Niederrhein fand in Form einer Kurzschulung zum Thema Stromsparen (Stromschulung) im Mai 2015 statt. Im Juni 2015 wurden hierzu Daten erhoben. Die zweite Intervention an der Hochschule Niederrhein, eine Kurzschulung zum Thema Heizverhalten (Wärmeschulung), fand dann im Oktober 2015 statt und die hierauf folgende Datenerhebung im November 2015 (WS 2015).

In den Räumen 20009035 und 20022582 wurden am Vortag der Intervention Plakate im DIN A1-Format an den Wänden des Hörsaals, am Pult und an den Ausgangstüren angebracht, um sicherzustellen, dass sich jeweils mindestens eines der Plakate im Sichtfeld der Anwesenden befindet. Ergänzend wurden die Ausgangstüren der Sanitärräume auf den Etagen mit Plakaten beklebt. Die Intervention wurde nur den Lehrenden der jeweiligen Vorlesung vorab mitgeteilt – die Studierenden waren dagegen nicht vorab darüber informiert. Die 10-minütige Kurzschulung wurde von einem Mitglied des Projektteams zu Beginn der Vorlesung anhand von Powerpoint-Folien durchgeführt. Anschließend konnten die Studierenden Fragen stellen oder Anregungen mitteilen und Flyer mitnehmen.

Tabelle 41: t-Test, Vergleich der Baseline mit der Erhebung der ersten Intervention (Stromschulung im SS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)

HN Skala	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	Standardabweichung	t	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	WS 14	154	3,07	0,70	-1,44	0,15
	SS 15	94	3,20	0,64		
Lüften	WS 14	154	3,84	0,72	-0,30	0,76
	SS 15	94	3,87	0,65		
Einfluss der Hochschule	WS 14	154	3,37	0,70	-2,35	0,02 *
	SS 15	94	3,58	0,69		
positive Einstellung	WS 14	154	3,76	0,70	-2,45	0,02 *
	SS 15	94	3,98	0,67		
personale Norm	WS 14	154	3,72	0,81	-1,62	0,11
	SS 15	94	3,88	0,73		
Relevant Others	WS 14	154	2,15	0,85	-1,39	0,17
	SS 15	94	2,32	0,96		
Verantwortungsabwehr	WS 14	154	2,81	0,65	1,66	0,10 ⁰
	SS 15	94	2,66	0,70		
Verhaltensintention	WS 14	154	2,61	0,80	-1,37	0,17
	SS 15	94	2,76	0,82		
Maßnahmen der Organisation	WS 14	154	2,50	0,60	-2,54	0,01 **
	SS 15	94	2,74	0,72		

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; ** signifikant auf 1%-Niveau; * signifikant auf 5%-Niveau; ⁰ Trend

An den ersten Stromschulungen im SS 2015 (Intervention 1) nahmen ca. 310 Personen teil; davon beantworteten im Anschluss 159 Personen den Fragebogen EVE. Wie in Abbildung 77 und Tabelle 41 zu sehen, zeigen sich nach der Stromschulung bei den Befragten signifikante Veränderungen der Einstellungen in folgenden Skalen:

Einfluss der Hochschule, positive Einstellung und Maßnahmen der Organisation. Zudem zeigt sich ein Trend bei der Verantwortungsabwehr. Die Interventionen bewirken hier eine höhere Akzeptanz und Befürwortung von Maßnahmen zur Energieeffizienz.

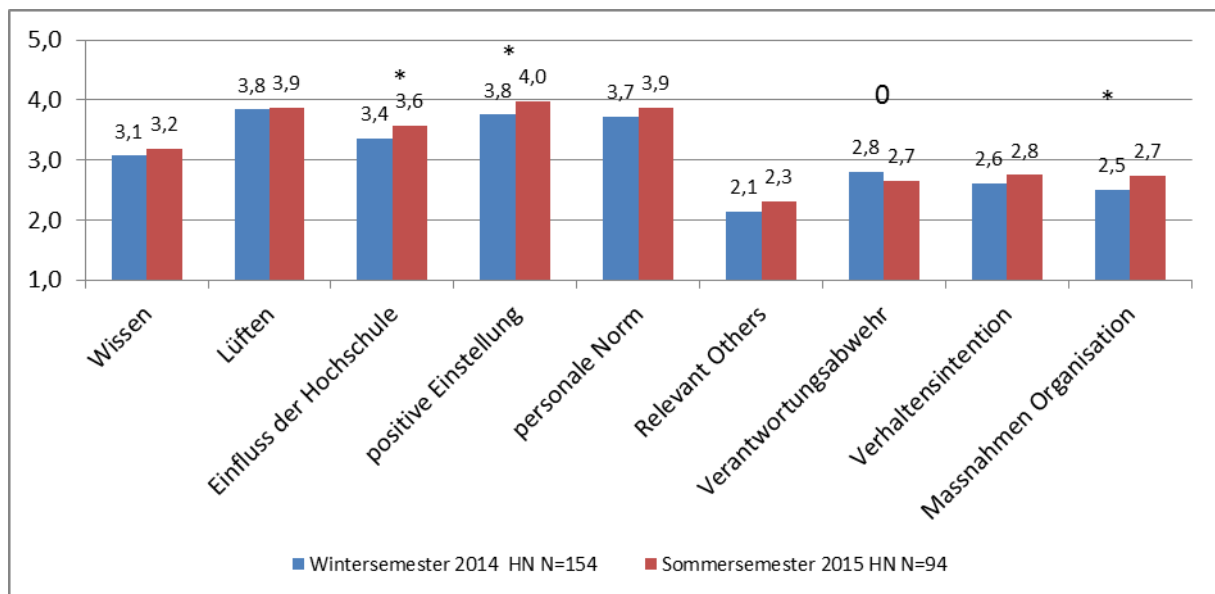


Abbildung 77: Vergleich Baseline-Erhebung (WS 14) mit der Erhebung nach der Stromschulung (SS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“;

* signifikant auf 5%-Niveau; ° Trend

An den Wärmeschulungen im WS 2015 (Intervention 2) nahmen ca. 350 Personen teil. Davon beantworteten 31 Personen im Anschluss den Fragebogen EVE. Nach der Wärmeschulung zeigen sich bei den Befragten keine signifikanten Veränderungen in den Einstellungen im Vergleich zu der Erhebung nach der Stromschulung. Eine Ausnahme bildet die Skala „Maßnahmen der Organisation“, hier gehen in der Wahrnehmung der Befragten die Maßnahmen der Organisation sogar zurück. Es können zudem Trends beobachtet werden: das Wissen über Energiesparen nimmt nach der zweiten Intervention ab; das Wissen um korrektes Lüftungsverhalten hingegen nimmt zu (Tabelle 42, Abbildung 78).

Tabelle 42: t-Test, Vergleich der Erhebungen nach der Stromschulung (SS 15) und nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)

HN Skala	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	Standardabweichung	t	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	SS 15	94	3,20	0,64	1,77	0,08 ⁰
	WS 15	31	2,98	0,59		
Lüften	SS 15	94	3,87	0,65	-1,74	0,09 ⁰
	WS 15	31	4,08	0,57		
Einfluss der Hochschule	SS 15	94	3,58	0,69	0,40	0,69
	WS 15	31	3,53	0,60		
positive Einstellung	SS 15	94	3,98	0,67	0,28	0,78
	WS 15	31	3,94	0,55		
personale Norm	SS 15	94	3,88	0,73	-0,33	0,75
	WS 15	31	3,92	0,62		
Relevant Others	SS 15	94	2,32	0,96	-0,16	0,87
	WS 15	31	2,35	1,06		
Verantwortungsabwehr	SS 15	94	2,66	0,70	0,83	0,41
	WS 15	31	2,55	0,64		
Verhaltensintention	SS 15	94	2,76	0,82	-0,09	0,93
	WS 15	31	2,77	0,63		
Maßnahmen der Organisation	SS 15	94	2,74	0,72	2,06	0,04 [*]
	WS 15	31	2,47	0,59		

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“;

* signifikant auf 5%-Niveau; ⁰ Trend

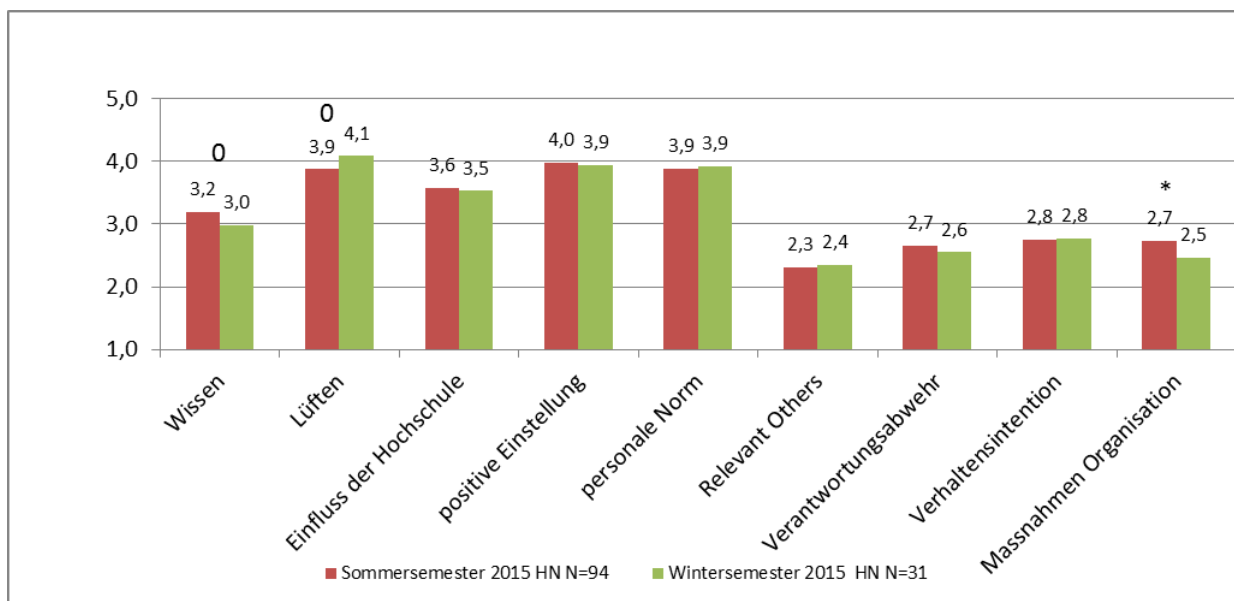


Abbildung 78: Vergleich der Erhebungen nach der Stromschulung (SS 15) und nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen der Hochschule Niederrhein (Fragebogen EVE)

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“;
* signifikant auf 5%-Niveau; °Trend

Zusammenfassend erscheint die Stromschulung erfolgreicher als die Wärmeschulung, da sich nach der Stromschulung immerhin in drei Skalen signifikante Veränderungen in den Einstellungen zeigten. Jedoch war die Gruppe der Befragten nach der Stromschulung dreimal so groß wie nach der Wärmeschulung (vgl. Abbildung 78). Da im WS viele neue Studierende ihr Studium beginnen, kann nicht sicher davon ausgegangen werden, dass an der Wärmeschulung die gleichen Studierenden teilnahmen wie an der Stromschulung. Darum wurde auch ein Testverfahren ohne Messwiederholung durchgeführt. Eine Erklärung für die ausbleibende Zunahme des Wissens und energierelevanter Einstellungen könnte sein, dass die Studienanfänger, die überwiegend die Vorlesungen im WS besuchen, weniger Bewusstsein für Umweltthemen aufweisen als schon länger Studierende.

5.6.4 Interventionen durch Kurzschulungen, Plakate und CO₂-Feedback an der Hochschule Niederrhein

Analog zu den anderen beiden Hörsälen wurden am Vortag der Intervention im Raum 20001081 Plakate in DIN A1 an den Wänden des Hörsaals, am Pult und an den Ausgangstüren platziert. Die Intervention wurde nur den Lehrenden der jeweiligen Vorlesung vorab mitgeteilt, die Studierenden waren vorab nicht informiert. Die 10-minütige Kurzschulung wurde zu Beginn der Vorlesung durch ein Mitglied des Projektteams mit einer Powerpoint-Präsentation durchgeführt. Anschließend konnten die Studierenden Fragen stellen, Anregungen mitteilen und Flyer mitnehmen.

Zusätzlich wurde im Raum 20001081 ein CO₂-Monitor (siehe Abbildung 79 und Tabelle 43) mit den Abmaßen 57,6 cm x 42,6 cm für alle Anwesenden gut sichtbar an einer Wand des Raumes angebracht. Die Anwesenden konnten sich daher jederzeit über den CO₂-Gehalt in ihrem Hörsaal informieren und bei erhöhten Werten aktiv werden und die Fenster öffnen.



Abbildung 79: CO₂-Monitor XL; Artikel-Nr. 57109 (Airflow Lufttechnik GmbH)

Tabelle 43: Technische Daten des CO₂-Monitors (Airflow Lufttechnik GmbH)

Messbereich:	0 bis 3.000 ppm CO ₂ 0 bis 50°C 20 bis 90% r. F.
Auflösung:	1 ppm (bei 0 bis 1.000 ppm) 5 ppm (bei 1.001 bis 2.000 ppm) 10 ppm (bei 2.001 bis 3.000 ppm) 0,1°C 1% r.F.
Genauigkeit:	± 75 ppm oder 5% (der größere Wert gilt) ± 7% ab 2.000 ppm
Stromversorgung:	230 V AC
Maße:	576 x 426 x 54,6 mm ³
Gewicht:	5.300 g

Im Raum 20001081 wurden ebenfalls eine Baseline-Erhebung und zwei Kurzschulungen mit Plakatierung und anschließender Interventionsmessung durchgeführt. An beiden Kurzschulungen nahmen jeweils ca. 140 Studierende teil. Die Fragebögen EVE zur Baseline-Erhebung beantworteten 52 Personen, davon 44 Männer und 6 Frauen, zwei Personen gaben kein Geschlecht an. Die Fragebögen EVE zur Messung nach der Stromschulung beantworteten 34 Personen, davon 26 Männer, 7 Frauen und eine Person ohne Angabe des Geschlechts. Es hatte sich leider kein Studierender an der Erhebung zur Messung nach der Wärmeschulung beteiligt. Es war deutlich, dass die Akzeptanz für die Befragungen nicht mehr vorhanden war.

Bei einem Vergleich der Skalenmittelwerte mittels eines t-Tests für unverbundene Stichproben zwischen der Baseline-Erhebung und den Werten nach der Stromschulung fällt lediglich eine signifikante Veränderung in der Skala „Maßnahmen der Organisation“ auf. Offensichtlich wurde das Anbringen des CO₂-Monitors als Maßnahme der Organisation interpretiert.

Tabelle 44: t-Test, Vergleich der Skalenmittelwerte im Raum 20001081 mit CO₂-Monitor der Baseline-Messung (WS 14) und nach der Stromschulung (SS 15) im Hörsaal 20001081 der Hochschule Niederrhein.

HN Skala	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	Standardabweichung	t	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	WS 14	52	3,25	0,68	-1,40	0,17
	SS 15	34	3,46	0,65		
Lüften	WS 14	52	3,89	0,66	-0,30	0,76
	SS 15	33	3,93	0,66		
Einfluss der Hochschule	WS 14	52	3,43	0,85	-0,41	0,69
	SS 15	33	3,50	0,76		
positive Einstellung	WS 14	52	3,78	0,64	-0,90	0,37
	SS 15	33	3,93	0,75		
personale Norm	WS 14	52	3,72	0,89	-0,05	0,96
	SS 15	33	3,73	0,76		
Relevant Others	WS 14	52	2,11	0,89	-0,53	0,60
	SS 15	33	2,22	0,93		
Verantwortungsabwehr	WS 14	52	2,90	0,74	1,21	0,23
	SS 15	33	2,72	0,66		
Verhaltensintention	WS 14	52	2,58	0,88	-0,62	0,54
	SS 15	33	2,69	0,76		
Maßnahmen der Organisation	WS 14	52	2,51	0,59	-2,84	0,01 **
	SS 15	31	2,97	0,79		

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“;

** signifikant auf 1%-Niveau

Schließlich wurden noch die Skalenmittelwerte der Erhebung nach der Stromschulung in den Räumen mit bzw. ohne CO₂-Monitor mittels eines t-Tests für unabhängige Stichproben verglichen. Wie in Tabelle 45 dargestellt, gibt es im Vergleich zwischen den Räumen bei zwei Skalen signifikante Unterschiede der Skalenmittelwerte: bei der Skala „Wissen“ und bei der Skala „Maßnahmen der Organisation“. Bei beiden Skalen weisen die Studierenden im Raum mit CO₂-Monitor nach der Stromschulung höhere Werte auf: Das Wissen in den beiden Räumen ohne CO₂-Monitor und die Wahrnehmung für Maßnahmen der Organisation ist erhöht, was die vorherige Vermutung bestätigt, dass der CO₂-Monitor nicht als Interventionsmaßnahme im Projekt REGENA wahrgenommen wurde, sondern als Maßnahmen der Organisation Hochschule interpretiert wurde.

Tabelle 45: t-Test, Vergleich Räume mit und ohne CO₂-Monitor nach der Stromschulung (SS 15) in den Hörsälen an der Hochschule Niederrhein

HN Skala	Sommersemester 2015	N	Mittelwert	Standardabweichung	t	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	Räume ohne CO ₂ -Monitor	60	3,05	0,59	-3,11	0,00 **
	Raum mit CO ₂ -Monitor	34	3,46	0,65		
Lüften	Räume ohne CO ₂ -Monitor	60	3,84	0,65	-0,68	0,50
	Raum mit CO ₂ -Monitor	33	3,93	0,66		
Einfluss der Hochschule	Räume ohne CO ₂ -Monitor	59	3,62	0,64	0,82	0,42
	Raum mit CO ₂ -Monitor	33	3,50	0,76		
positive Einstellung	Räume ohne CO ₂ -Monitor	58	4,01	0,62	0,56	0,58
	Raum mit CO ₂ -Monitor	33	3,93	0,75		
personale Norm	Räume ohne CO ₂ -Monitor	59	3,97	0,71	1,51	0,13
	Raum mit CO ₂ -Monitor	33	3,73	0,76		
Relevant Others	Räume ohne CO ₂ -Monitor	57	2,37	0,98	0,76	0,45
	Raum mit CO ₂ -Monitor	33	2,22	0,93		
Verantwortungsabwehr	Räume ohne CO ₂ -Monitor	59	2,63	0,72	-0,55	0,59
	Raum mit CO ₂ -Monitor	33	2,72	0,66		
Verhaltensintention	Räume ohne CO ₂ -Monitor	57	2,79	0,85	0,59	0,56
	Raum mit CO ₂ -Monitor	33	2,69	0,76		
Massnahmen Organisation	Räume ohne CO ₂ -Monitor	55	2,60	0,65	-2,31	0,02 *
	Raum mit CO ₂ -Monitor	31	2,97	0,79		

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“;
 * signifikant auf 5%-Niveau; ** signifikant auf 1%-Niveau

5.6.5 Interventionen durch Kurzschulungen am Umwelt-Campus Birkenfeld

Im Rahmen des Projektes wurde am Umwelt-Campus Birkenfeld im WS 2013 die Baseline-Erhebung mit dem Fragebogen EVE durchgeführt, im SS 2014 wurde eine Stromschulung und zu Beginn des WS 2014 eine Wärmeschulung durchgeführt. Im Glasbau des UCB befinden sich drei Hörsäle (HS 1, HS 2 und HS 3), die im Projekt betrachtet wurden.

Im WS 2014 fand die erste Interventionsmessung zu beiden Themen statt. Im SS 2015 wurde eine weitere Stromschulung mit anschließender Erhebung durchgeführt. Zu Beginn des WS 2015 wurde erneut eine Kurzschulung zum Thema Heizverhalten durchgeführt. Die zugehörige Erhebung mit dem Fragebogen EVE erfolgte im November 2015 (WS 2015).

Erläuterungen zur Stichprobengröße und zur Darstellung von Skalenmittelwerten bei der Baseline-Messung am UCB können dem vorangehenden Kapitel zur Baseline-Messung entnommen werden. Im Folgenden werden zunächst die Skalenmittelwerte der Baseline-Messung (WS 2013) mit denen nach der ersten Interventionsmessung nach Strom und Wärme (WS 2014) mittels eines t-Tests verglichen. An der Kurzschulung zum Thema Stromeinsparung (SS 2014) nahmen 39 Studierende, an der Kurzschulung zum Thema Heizverhalten (WS 2014) nahmen 71 Studierende teil. Insgesamt 79 Personen beantworteten zur Interventionsmessung im WS 2014 nach der Strom- und der Wärmeschulung den Fragebogen EVE.

Es zeigen sich nach der ersten Stromschulung und der ersten Wärmeschulung bei den Befragten nur signifikante Veränderungen in der Skala „Wissen ums Lüften“. Ein Trend zu höherem Wissen und gleichzeitig geringerem Einfluss relevanter Anderer ist ebenfalls zu beobachten. Die Skala Maßnahmen der Organisation wurde im WS 2013 noch nicht abgefragt, daher liegen auch keine Vergleichsdaten dazu vor (vgl. Abbildung 80 und Tabelle 46).

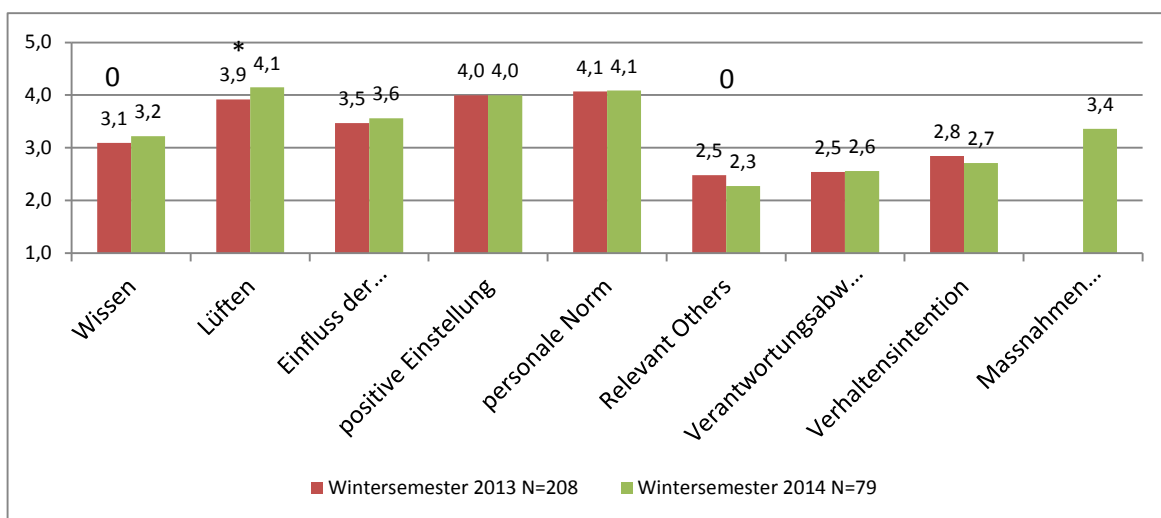


Abbildung 80: Vergleich der Baseline-Erhebung im WS 13 mit der Erhebung nach Stromschulung im SS 14 und Wärmeschulung im WS 14 in den Hörsälen am UCB (Gesamterhebung im WS 14)

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; * signifikant auf 5%-Niveau; ⁰ Trend

Tabelle 46: t-Test, Vergleich der Baseline-Erhebung im WS 13 mit der Erhebung nach der Stromschulung im SS 14 und der Wärmeschulung im WS 14 in den Hörsälen am UCB (Gesamterhebung im WS 14)

UCB Skala	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	Standardabweichung	T	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	WS 13	208	3,09	0,55	-1,62	0,11 ⁰
	WS 14	79	3,22	0,73		
Lüften	WS 13	208	3,92	0,70	-2,71	0,01 *
	WS 14	79	4,15	0,61		
Einfluss der Hochschule	WS 13	208	3,47	0,63	-1,17	0,25
	WS 14	77	3,56	0,59		
positive Einstellung	WS 13	207	4,00	0,60	0,00	1,00
	WS 14	79	4,00	0,65		
personale Norm	WS 13	208	4,07	0,71	-0,22	0,82
	WS 14	79	4,09	0,61		
Relevant Others	WS 13	204	2,48	0,90	1,74	0,09 ⁰
	WS 14	78	2,27	0,89		
Verantwortungsabwehr	WS 13	208	2,54	0,53	-0,23	0,82
	WS 14	79	2,56	0,55		
Verhaltensintention	WS 13	205	2,84	0,74	1,22	0,22
	WS 14	78	2,71	0,85		
Maßnahmen der Organisation	WS 13	208				
	WS 14	77	3,36	0,70		

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; * signifikant auf 5%-Niveau; ⁰ Trend

Es wurden noch die Skalenmittelwerte der Messung aus dem WS 14 nach der Strom- und der Wärmeschulung mit den Messwerten nach der Stromschulung, die im Sommer 15 stattfand, mittels eines t-Tests verglichen. An dieser Stromschulung nahmen 54 Studierende teil. Insgesamt 65 Personen beantworteten zur Interventionsmessung im SS 2015 den Fragebogen EVE.

Nach der Stromschulung treten bei den Befragten signifikante Veränderungen in den Skalen „Wissen“, „Relevant Others“ und „Verhaltensintention“ auf, wie in der Abbildung 81 und der Tabelle 47 dargestellt.

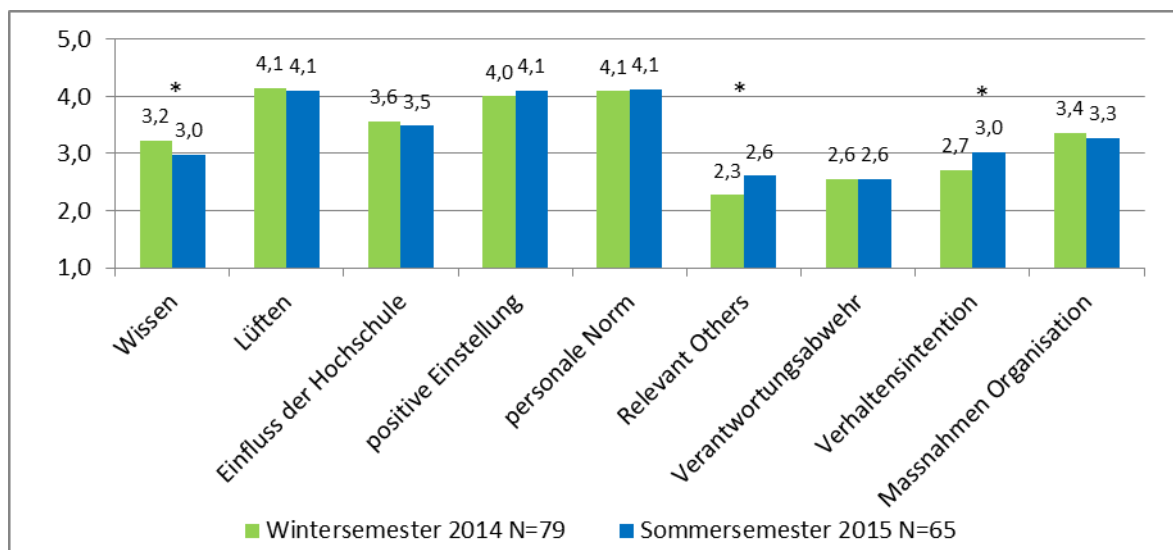


Abbildung 81: Vergleich der Skalenmittelwerte nach Stromschulung im SS 14 und Wärmeschulung im WS 14 (Gesamterhebung WS 14) mit der Messung nach Stromschulung im SS 15 (Erhebung SS 15) in den Hörsälen am UCB.

Skala „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; * signifikant auf 5%-Niveau; ° Trend

Tabelle 47: Vergleich der Skalenmittelwerte nach Stromschulung im SS 14 und Wärmeschulung im WS 14 (Gesamterhebung WS 14) mit der Messung nach Stromschulung im SS 15 (Erhebung SS 15) in den Hörsälen am UCB.

UCB Skala	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	Standardabweichung	t	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	WS 14	79	3,22	0,73	2,15	0,03 *
	SS 15	65	2,98	0,61		
Lüften	WS 14	79	4,15	0,61	0,43	0,67
	SS 15	65	4,10	0,64		
Einfluss der Hochschule	WS 14	77	3,56	0,59	0,66	0,51
	SS 15	65	3,48	0,78		
positive Einstellung	WS 14	79	4,00	0,65	-1,01	0,31
	SS 15	64	4,11	0,66		
personale Norm	WS 14	79	4,09	0,61	-0,28	0,78
	SS 15	63	4,12	0,75		
Relevant Others	WS 14	78	2,27	0,89	-2,22	0,03 *
	SS 15	62	2,61	0,92		
Verantwortungsabwehr	WS 14	79	2,56	0,55	0,01	0,99
	SS 15	64	2,56	0,59		
Verhaltensintention	WS 14	78	2,71	0,85	-2,18	0,03 *
	SS 15	63	3,02	0,83		
Maßnahmen der Organisation	WS 14	77	3,36	0,70	0,81	0,42
	SS 15	63	3,27	0,55		

Skala „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; * signifikant auf 5%-Niveau

Die Skalenmittelwerte der Messung nach der Stromschulung (SS 2015) wurden mit der Messung nach der Wärmeschulung (WS 2015) am UCB mittels t-Test verglichen. An dieser Kurzschulung zum Heizverhalten nahmen 85 Studierende teil, 66 Personen beantworteten im WS 2015 den Fragebogen EVE.

Nach der letzten Intervention im WS 2015 bei den Befragten treten keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Skalenmittelwerte mehr auf. Es können Trends zu einer erhöhten Wahrnehmung des Einflusses durch die Hochschule und zu mehr Maßnahmen der Organisation beobachtet werden (Tabelle 48 und Abbildung 82).

Tabelle 48: t-Test, Vergleich der Skalenmittelwerte der Messung nach der Stromschulung (SS 15) mit denen nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen am UCB.

UCB Skala	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	Standardabweichung	t	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	SS 15	65	2,98	0,61	-1,46	0,15
	WS 15	65	3,14	0,63		
Lüften	SS 15	65	4,10	0,64	-0,86	0,39
	WS 15	65	4,20	0,65		
Einfluss der Hochschule	SS 15	65	3,48	0,78	-1,73	0,09 ⁰
	WS 15	65	3,70	0,63		
positive Einstellung	SS 15	64	4,11	0,66	0,83	0,41
	WS 15	66	4,02	0,59		
personale Norm	SS 15	63	4,12	0,75	0,32	0,75
	WS 15	66	4,08	0,71		
Relevant Others	SS 15	62	2,61	0,92	0,71	0,48
	WS 15	66	2,50	0,96		
Verantwortungsabwehr	SS 15	64	2,56	0,59	0,41	0,68
	WS 15	66	2,51	0,62		
Verhaltensintention	SS 15	63	3,02	0,83	0,47	0,64
	WS 15	66	2,95	0,74		
Maßnahmen der Organisation	SS 15	63	3,27	0,55	-1,67	0,10 ⁰
	WS 15	66	3,43	0,54		

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; 0 Trend

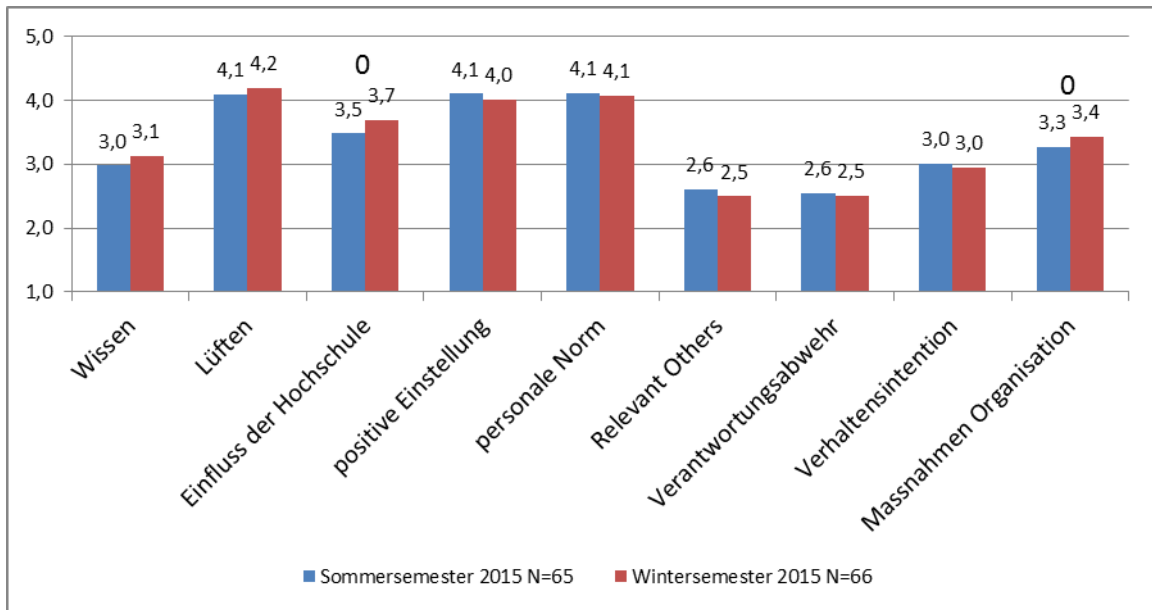


Abbildung 82: Vergleich der Skalenmittelwerte der Messung nach der Stromschulung (SS 15) mit denen nach der Wärmeschulung (WS 15) in den Hörsälen am UCB.

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“; 0 Trend.

Insgesamt scheinen die Interventionen am Umwelt-Campus Birkenfeld weniger Erfolg gebracht zu haben als an der Hochschule Niederrhein. Bereits ohne Detailanalyse fallen in Abbildung 83 (z. T. nur geringe) Veränderungen der Skalenmittelwerte nach den Interventionen auf, insbesondere drei Skalen fallen dabei auf: „positive Einstellung“, „personale Norm“ und „Verantwortungsabwehr“. Gerade diese Skalen gelten als wichtige Prädiktoren für umweltgerechtes Verhalten. Möglicherweise lässt sich das Ergebnis so erklären, dass bei den Studierenden am Umwelt-Campus Birkenfeld ohnehin schon ein höheres Umweltbewusstsein vorhanden war, ohne dass dies von dem Fragebogen EVE erfasst wurde.

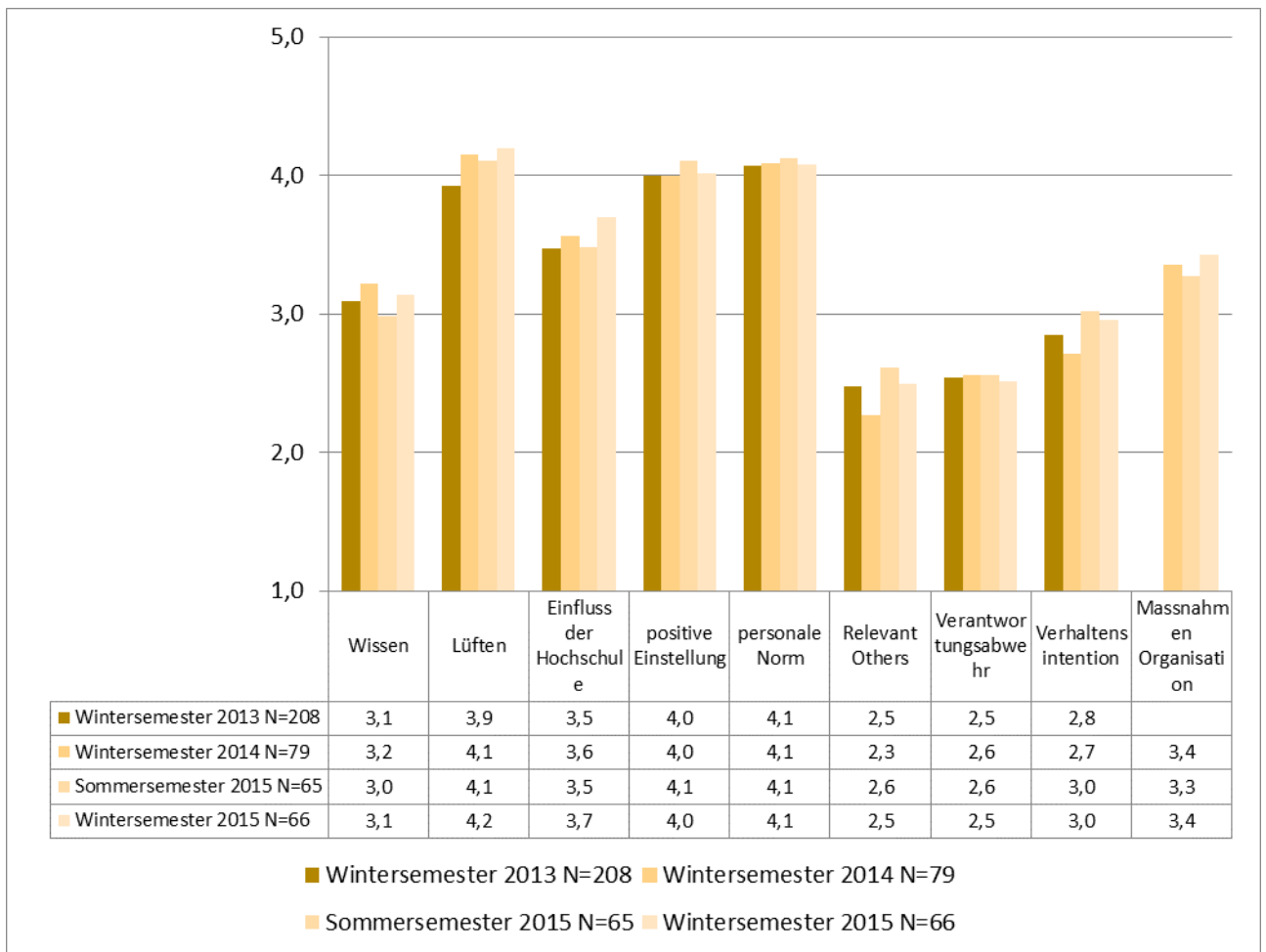


Abbildung 83: Darstellung aller Skalenmittelwerte nach der Baseline-Messung und den Interventionen in den Hörsälen am UCB

5.6.6 Veränderungen in den Umgebungsbedingungen am UCB und der HN: Fragebogen UVE

An der Hochschule Niederrhein (HN) wurden sechs Erhebungen mit dem Fragebogen UVE durchgeführt, am Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) wurden vier Erhebungen durchgeführt. In Abbildung 84 ist die Anzahl der ausgegebenen Fragebögen und der Rücklauf der verwertbaren Fragebögen ersichtlich. Auf den ersten Blick fällt eine quantitativ erhöhte Zahl an Befragten an der HN gegenüber dem UCB auf, wohingegen jeweils der Rücklauf verwertbarer Fragebögen am UCB bezogen auf die ausgegebenen Bögen deutlich höher ist. Möglicherweise liegt die Ursache hierfür an der Möglichkeit zur personenbezogenen Ansprache der Studierenden am UCB, was an der HN bei einem Großteil der besuchten Vorlesungen zur Erhebung nicht möglich war.

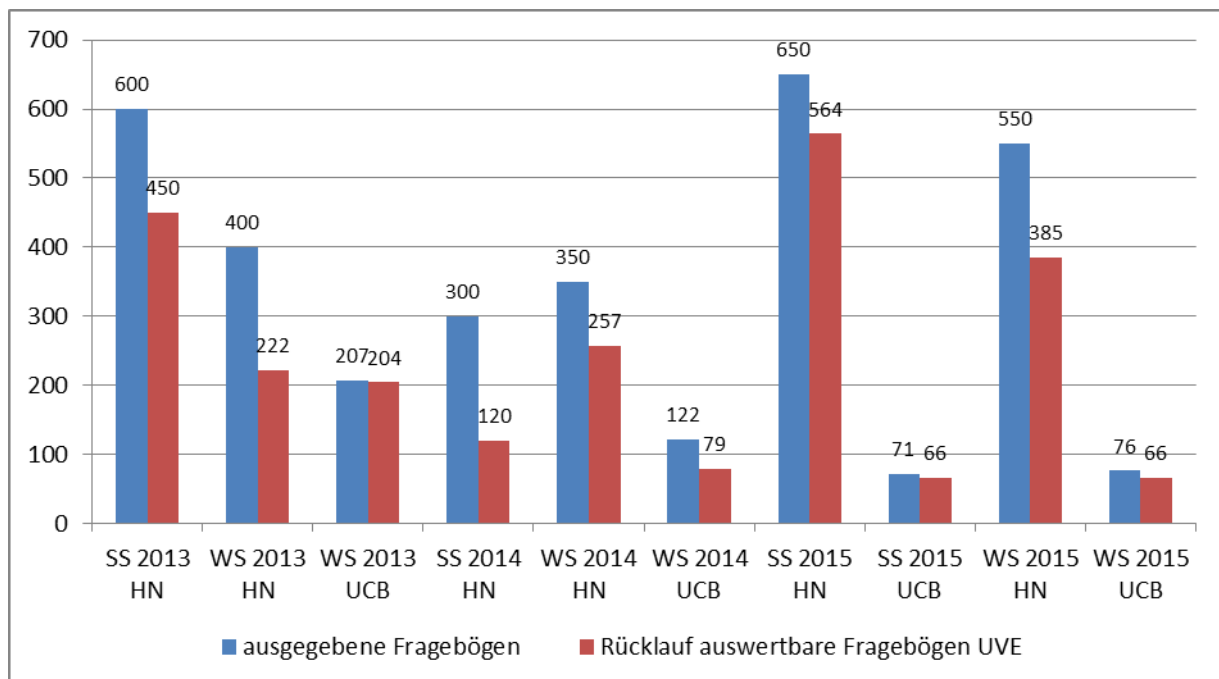


Abbildung 84: Ausgegebene Fragebögen UVE und Rücklauf in allen Erhebungen an HN und UCB

Der Gesamteindruck der Umgebungsbedingungen im Raum wird von den Befragten an beiden Hochschulen gleich eingeschätzt (MW = 2,7). Die Wirkung kalter Böden, Fenster und Wände im Winter bzw. Wärme und Sonneneinstrahlung im Sommer wird an der HN höher eingeschätzt als am UCB. Dies ist überraschend, denn das betrachtete Gebäude an der HN ist neuer als das betrachtete Gebäude am UCB. In beiden Hochschulen wird nur wenig Luftbewegung in den Hörsälen wahrgenommen.

Analog zur Auswertung des Fragebogen EVE werden als Baseline an der HN die Erhebung aus dem Wintersemester 2014 und am UCB die Erhebung aus dem Wintersemester 2013 gegenübergestellt (Abbildung 85).

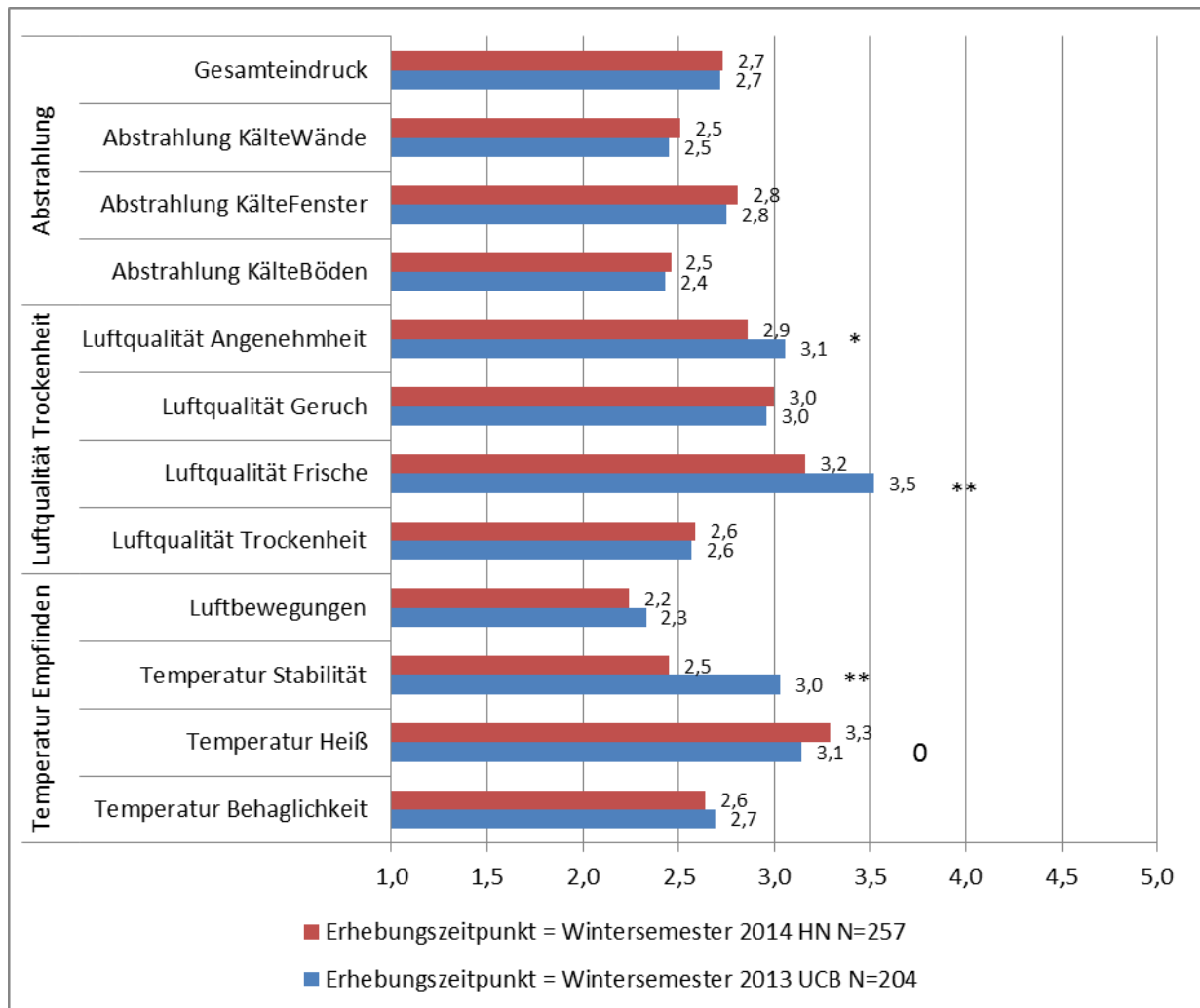


Abbildung 85: Gegenüberstellung der Baseline-Erhebungen Fragebogen UVE an HN und UCB (Baseline HN erhoben im WS 2014, Baseline UCB erhoben im WS 2013)

** signifikant auf 1%-Niveau; * signifikant auf 5%-Niveau; 0 Trend

Die Luftqualität hinsichtlich Wohlbefinden wird insgesamt am UCB schlechter bewertet (MW = 3,1) gegenüber der HN (MW = 2,9). Die Befragten am UCB bemängeln an der Luftqualität vor allem die fehlende Frische. An der HN wird die Stabilität der Raumtemperatur signifikant besser bewertet als am UCB mit stärker wahrgenommenen Schwankungen im Laufe des Tages. Zugleich wird die Raumtemperatur an der

HN im Trend als zu niedrig gewertet. Einschränkend muss bedacht werden, dass die Baseline im Winter während der Heizperiode erhoben wurde.

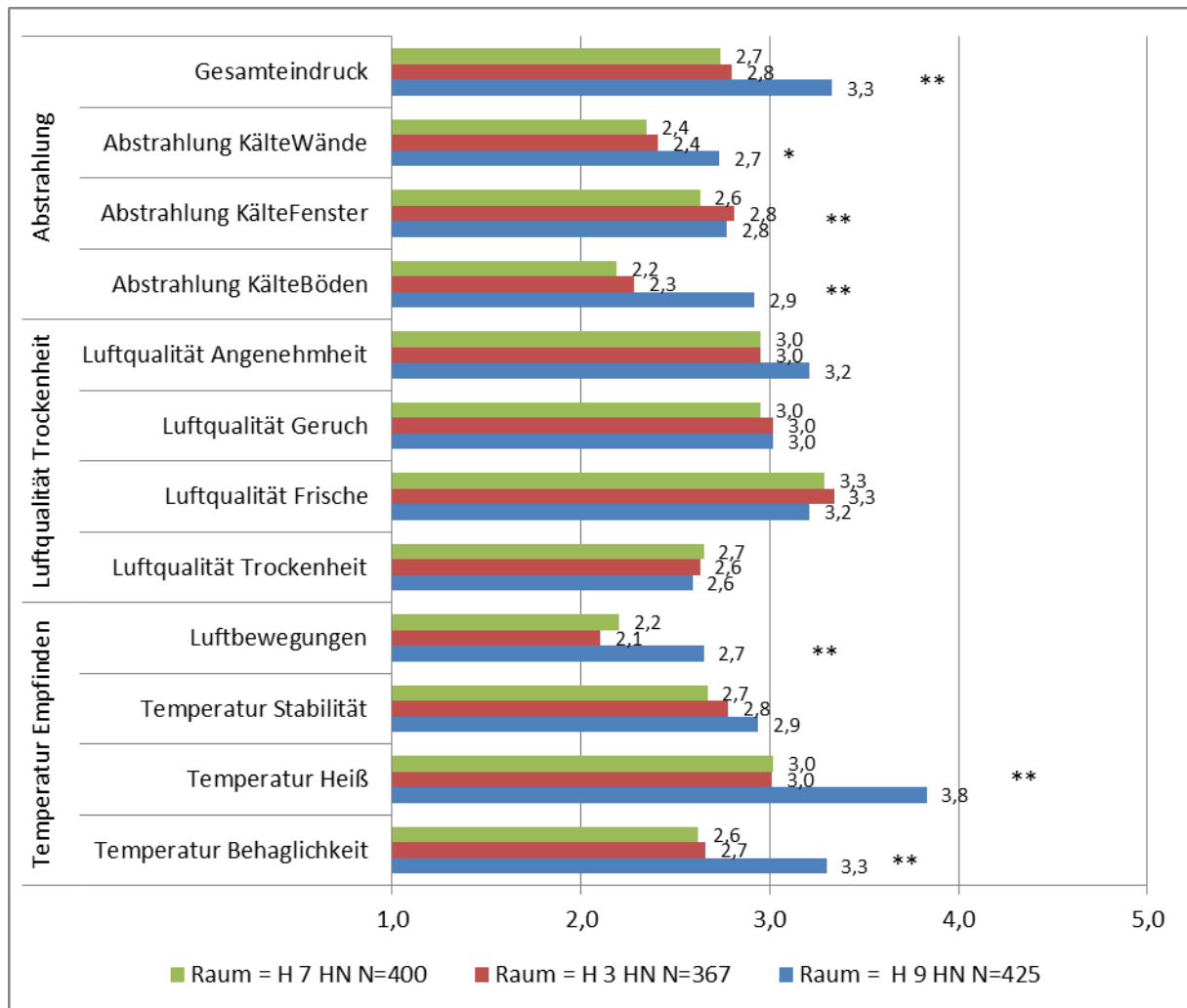


Abbildung 86: Bewertung der klimatischen Situation in Hörsälen der HN bei der Baseline-Erhebung

** signifikant auf 1%-Niveau; * signifikant auf 5%-Niveau

In Abbildung 86 werden die Mittelwerte der einzelnen Items im Fragebogen UVE aus den Erhebungen an der HN dargestellt. Die ungünstigste Gesamtbewertung erhält dabei der Raum 20009035 – die empfundene Kältewirkung der Wände und der Böden wird dabei höher bewertet als in den anderen beiden Räumen. Gleichzeitig berichten die Nutzer eine unangenehme Luftqualität und bemängeln eine fehlende Frische der Luft. In sechs Skalen sind diese Unterschiede zu den anderen beiden Räumen an der HN hochsignifikant. Die Nutzer klagen über Unbehagen und empfinden die Raumtemperatur als zu niedrig. Die beiden Räume 20022582 und 20001081 werden hinsichtlich des Temperaturempfindens behaglicher empfunden, jedoch bemängeln die Nutzer auch hier eine fehlende Frische der Luft.

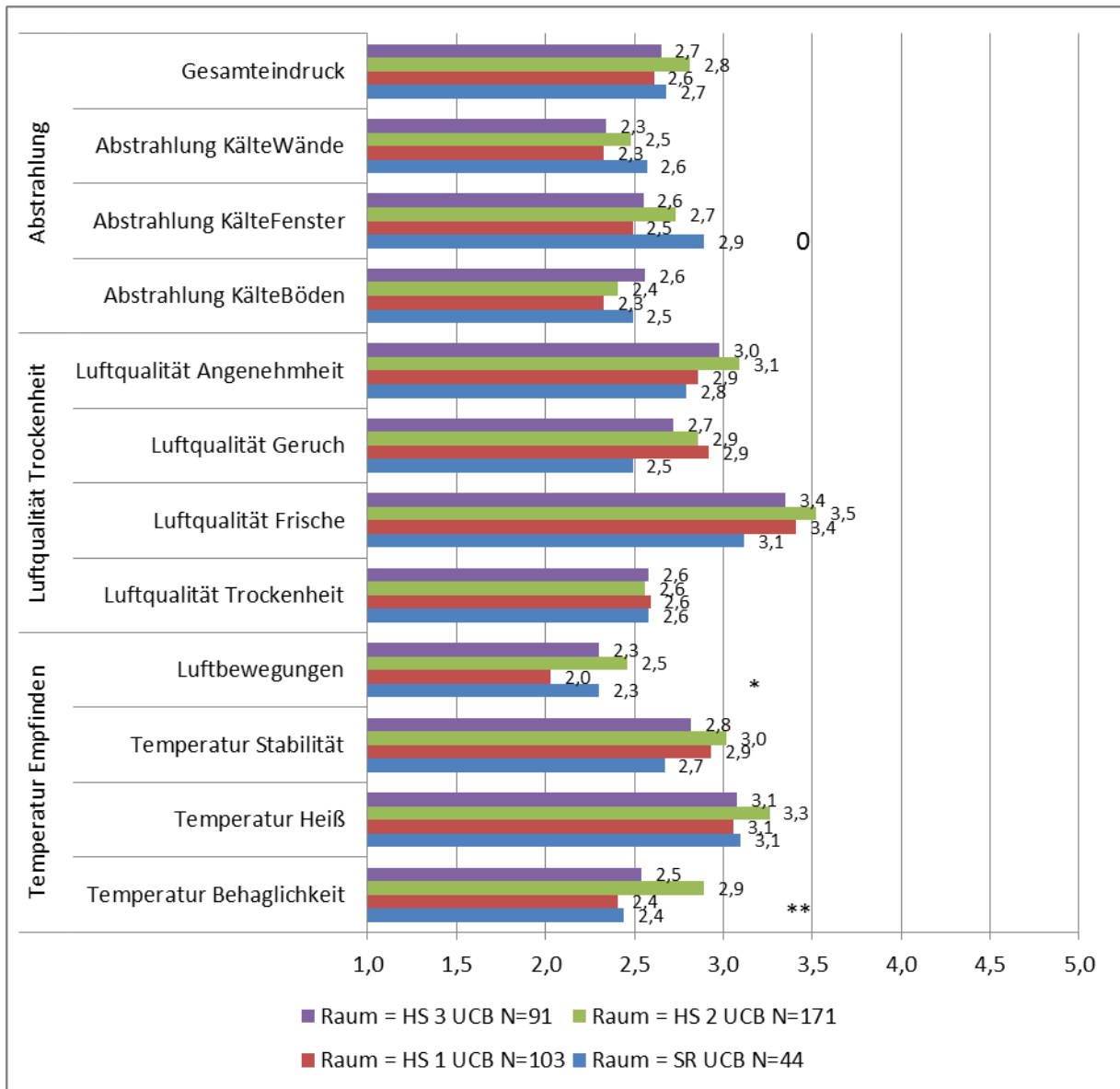


Abbildung 87: Bewertung der klimatischen Situation in Hörsälen am UCB bei der Baseline-Erhebung

** signifikant auf 1%-Niveau; * signifikant auf 5%-Niveau; ⁰ Trend

In Abbildung 87 sind die Mittelwerte der einzelnen Items im Fragebogen UVE aus den Erhebungen am UCB dargestellt, eine Einschränkung zur Aussagekraft bilden jedoch die deutlich unterschiedlichen Gruppengrößen an Befragten. Die ungünstigste Bewertung erhält hierbei der HS 2. Insbesondere bemängeln die Nutzer hier die fehlende Frische der Luft im Raum und eine niedrige Raumtemperatur. Signifikant sind bei den Bewertungen der Befragten die zugigen Luftbewegungen und eine unbehagliche Temperatur im Raum HS 2 gegenüber den anderen Räumen am UCB. Die Kälte Wirkung durch die Fenster wird tendenziell im Raum SR höher bewertet als in den Hörsälen am UCB. In allen Räumen am UCB fällt auf, dass die Luft als zu trocken bewertet wird.

Intervention Wärmeschulung am UCB im Wintersemester 2014

Nach der Stromschulung im Sommersemester 2014 wurde am UCB keine eigene Erhebung durchgeführt. Von den dort vermittelten Kenntnissen wurden keine Effekte auf das Komfortempfinden erwartet, weshalb diese Maßnahme hier unberücksichtigt bleibt.

Im Folgenden werden die Mittelwerte der Items aus den Erhebungen am UCB im Wintersemester 2013 mit denen aus den Erhebungen im Wintersemester 2014 nach der Wärmeschulung (WS 2014) verglichen. An der ersten Wärmeschulung nahmen 71 Studierende teil, 79 Personen füllten im Anschluss den Fragebogen UVE aus.

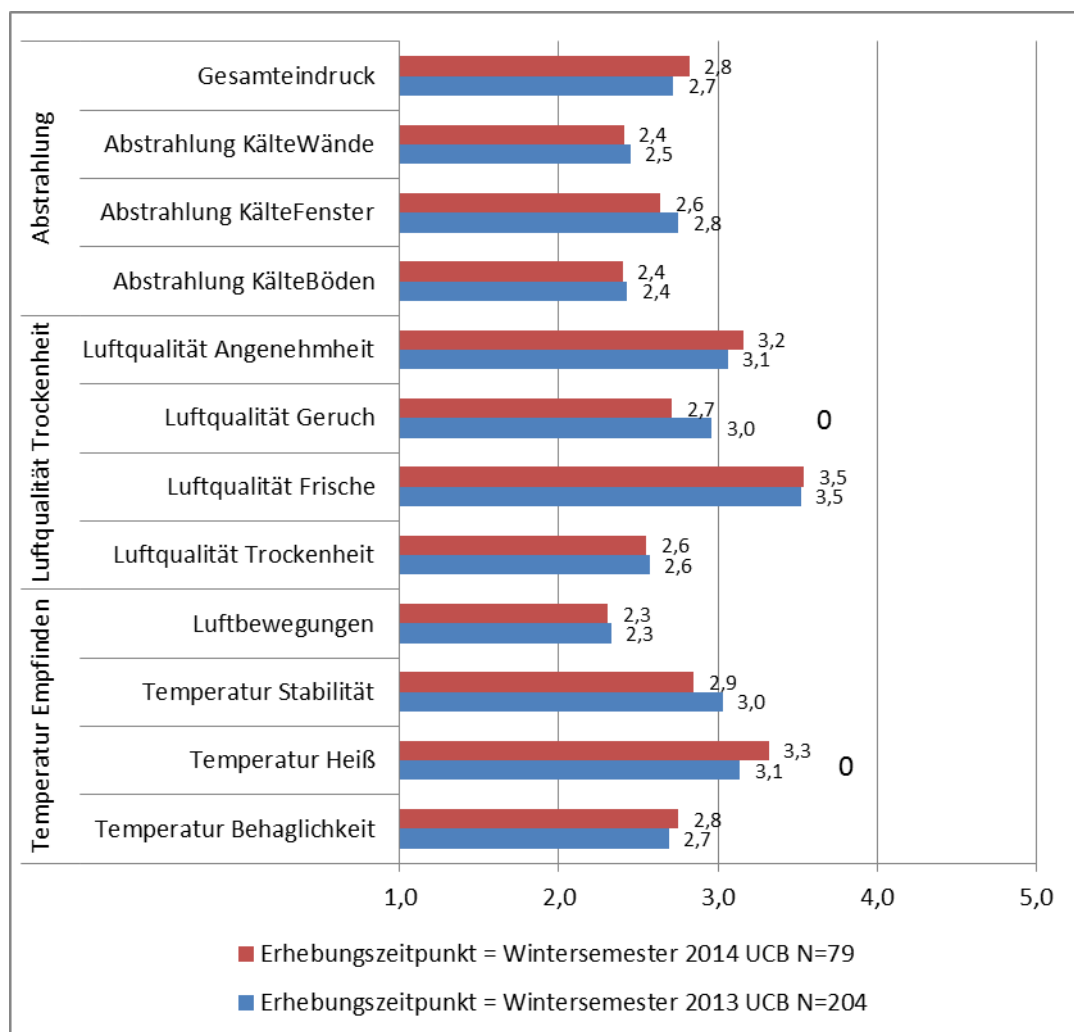


Abbildung 88: Vergleich Mittelwerte der Items aus Fragebogen UVE aus Baseline und nach Strom- und Wärmeschulung (SS 14 bzw. WS 14) am UCB

⁰ Trend

In Abbildung 88 werden keine wesentlichen Veränderungen der Bewertung der klimatischen Situation deutlich. Es können allenfalls Trends zur Veränderung festgestellt werden bei den Items „Luftqualität Geruch“ und „Temperatur Heiß“ – der Geruch der Luft in den Hörsälen wird dabei in der Befragung nach den Interventionen

unangenehmer bewertet als zuvor, gleichzeitig berichten die Befragten einen Trend zu kühleren Raumtemperaturen. Eine Einschränkung bildet erneut die deutlich unterschiedliche Gruppengröße bei den Erhebungen. Die Erhebung der Interventionsmessung fand zur gleichen Jahreszeit statt wie die Baseline-Erhebung.

Im März 2015 wurden Veränderungen an der Belüftung der drei Hörsäle am UCB vorgenommen. Daher werden die Mittelwerte der Items aus den Erhebungen am UCB im Wintersemester 2014 mit denen aus den Erhebungen im Sommersemester 2015 nach der technischen Umrüstung verglichen (Abbildung 89).

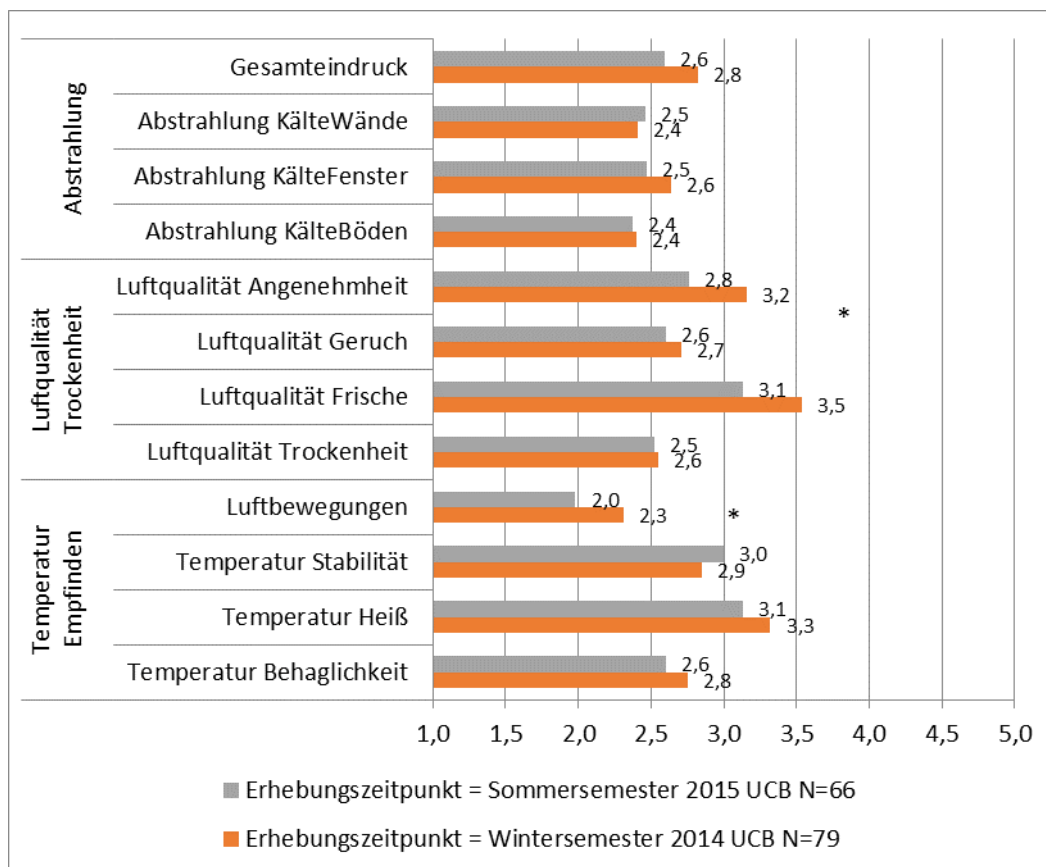


Abbildung 89: Mittelwert-Vergleich der Items aus Fragebogen UVE aus erster Interventionsmessung und nach zweiter Interventionsmessung (geringinvestive Maßnahme) am UCB

* signifikant auf 5%-Niveau

Im Gesamteindruck wird im Sommersemester 2015 das Raumklima als behaglicher bewertet als es noch im Wintersemester 2014 der Fall war. Signifikante Veränderungen in der Bewertung erfahren dabei die Items „Luftbewegungen im Raum“ (im Sommersemester weniger zugig) und „Luftqualität Angenehmheit“ (besser bewertet als im Wintersemester 2014). Die Luftqualität wird als frischer bewertet als im Winter, jedoch sind diese Unterschiede nicht signifikant. Diese zweite Interventionsmessung wurde als einzige Erhebung am UCB im Sommer durchgeführt, möglicherweise beeinflusste die Jahreszeit die Bewertung der Studierenden.

Schließlich werden noch die Mittelwerte der Items aus den Erhebungen am UCB im Sommersemester 2015 mit denen aus den Erhebungen im Wintersemester 2015 nach der zweiten Wärmeschulung im WS 2015 (insgesamt dritte Intervention) verglichen (Abbildung 90).

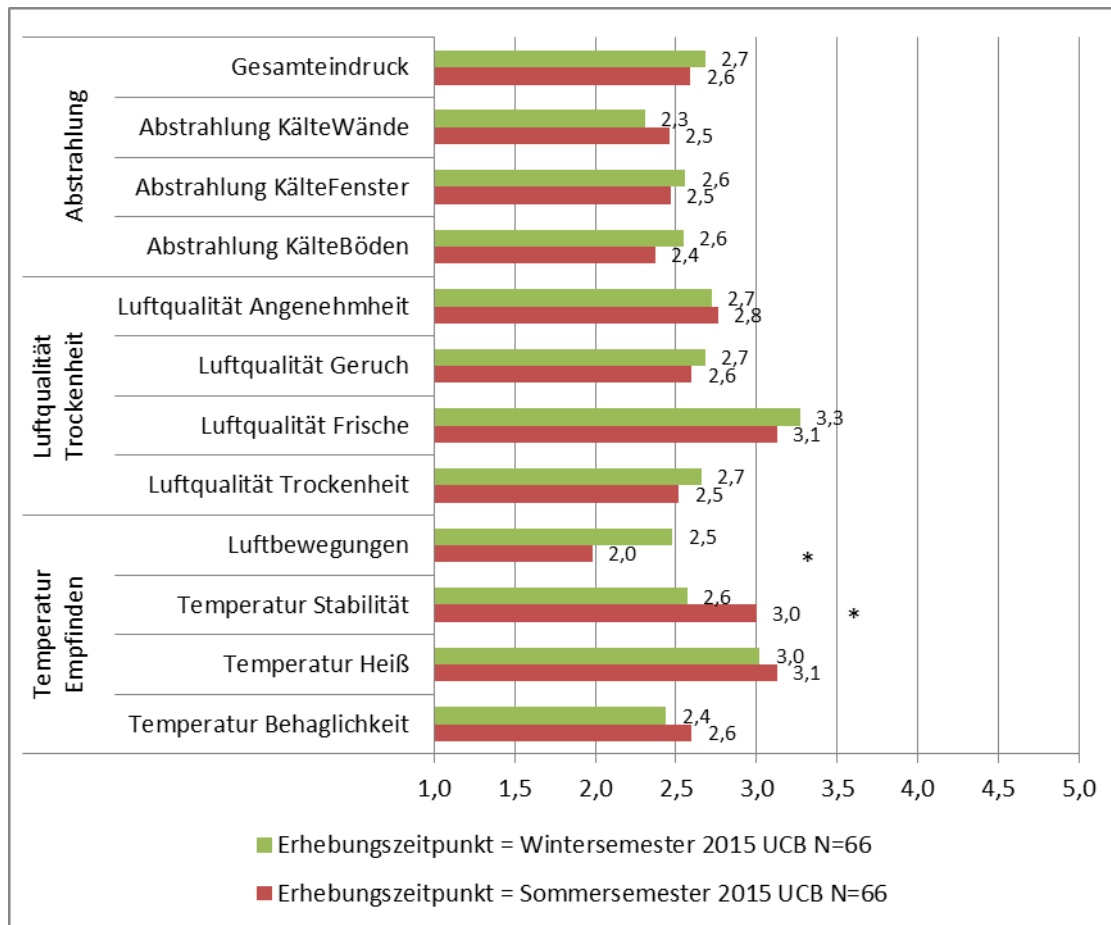


Abbildung 90: Vergleich Mittelwerte der Items aus Fragebogen UVE nach Strom- und Wärmeschulung (SS 14 bzw. WS 14) und Stromschulung (SS 15), Erhebungen im WS 14 und SS 15 am UCB

* signifikant auf 5%-Niveau

Die Studierenden bewerteten im Wintersemester 2015 erneut den Gesamteindruck im Raum als unbehaglicher als im Sommersemester 2015. Es wird weniger Frische und mehr Geruch in der Luft wahrgenommen, ebenso werden mehr Luftbewegungen berichtet (Abbildung 91). Die Temperatur wird jedoch wärmer und stabiler bewertet als zuvor, dies könnte auf die geringinvestive Maßnahme aus dem Frühjahr 2015 zurückzuführen sein.

An der Hochschule Niederrhein wurden als geringstinvestive Maßnahme lediglich Heizkörperthermostate in den Hörsälen arretiert. Von dieser Maßnahme kann nur wenig Auswirkung erwartet werden.

Im Folgenden werden die Mittelwerte der Items aus den Erhebungen an der HN im Wintersemester 2014 mit denen aus den Erhebungen im Sommersemester 2015 nach der Arretierung der Heizkörperthermostate verglichen. Da der Sommer keine Heizperiode ist, werden keine wesentlichen Änderungen in der Bewertung erwartet.

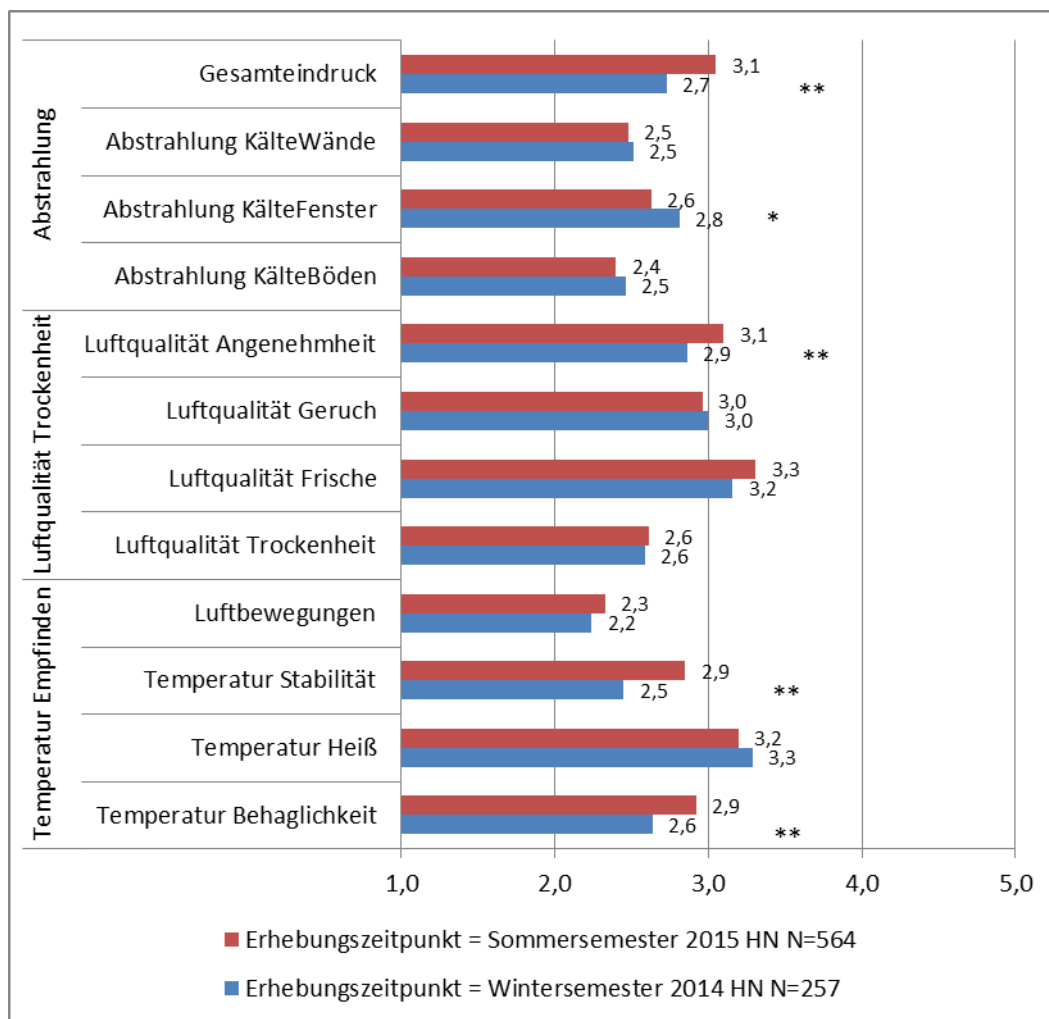


Abbildung 91: Vergleich der Mittelwerte der Items aus den Erhebungen an der HN aus Baseline-Erhebung mit Interventionsmessung im Sommersemester 2015

** signifikant auf 1%-Niveau; * signifikant auf 5%-Niveau

Der Gesamteindruck der Klimasituation wird nach der Intervention im Sommersemester 2015 als unbehaglicher bewertet als bei der Baseline-Erhebung, insbesondere wird die Luftqualität als unangenehmer bewertet und eine stickige Luft beklagt. Folgende Items werden im Sommersemester 2015 signifikant schlechter bewertet als im Wintersemester 2014: „Temperatur Behaglichkeit“, „Temperatur Stabilität“, „Luftqualität Angenehmheit“ und „Gesamteindruck“. Es scheinen Einflüsse des Außenklimas ursächlich für die ungünstigere Bewertung zu sein. Schließlich werden noch die Mittelwerte der Items aus den Erhebungen an der HN im Sommersemester 2015 mit denen aus den Erhebungen im Wintersemester 2015 nach der Wärmeschulung verglichen.

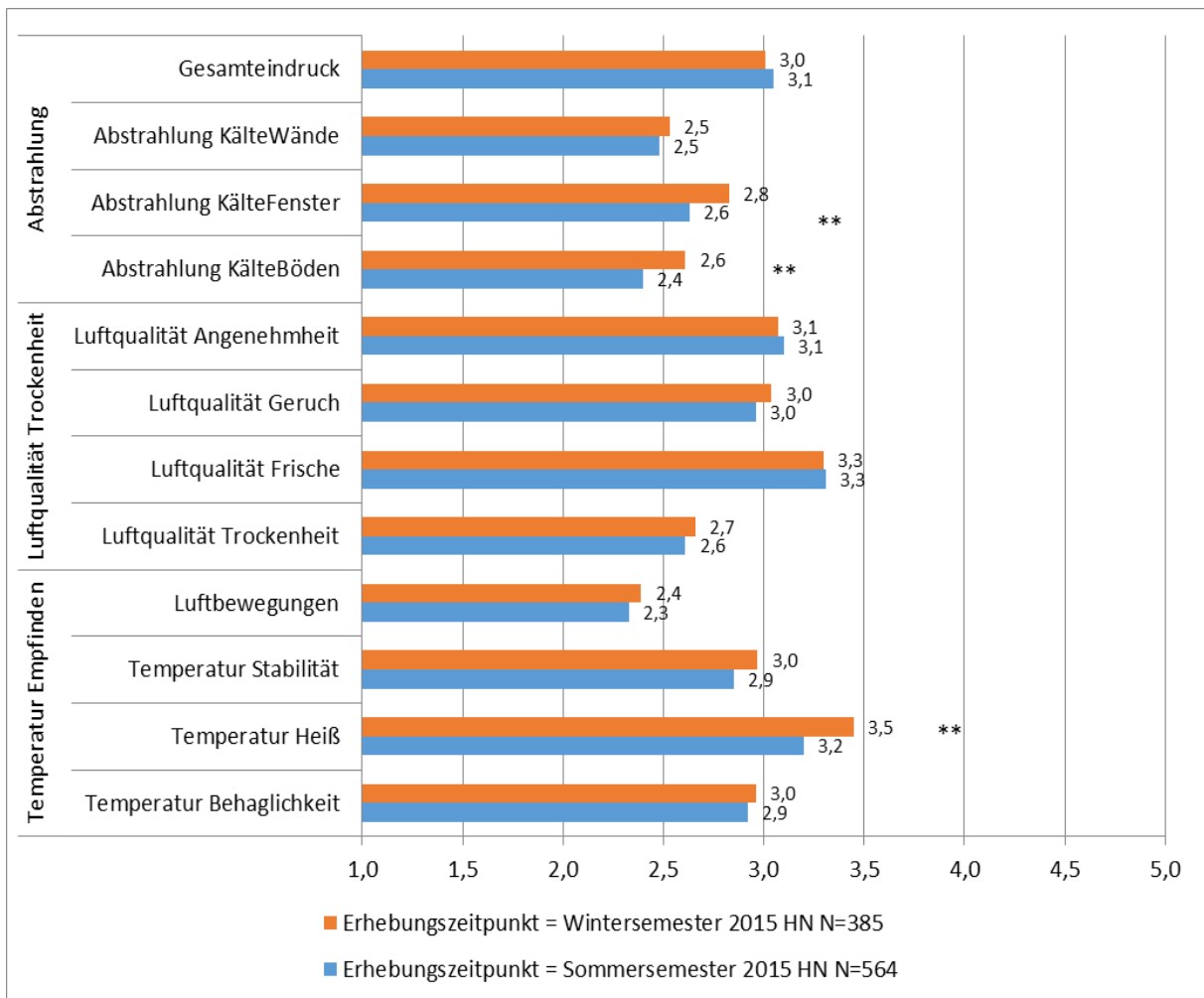


Abbildung 92: Vergleich Mittelwerte der Items aus Fragebogen UVE nach der Stromschulung (SS 15) und nach der Wärmeschulung (WS 15) an der HN

** signifikant auf 1%-Niveau

In Abbildung 92 werden nur geringe Unterschiede zwischen den Bewertungen der Hörsaalnutzer nach der ersten und der zweiten Interventionsmessung sichtbar. Die Raumtemperatur wird signifikant als kühler wahrgenommen, was aber auch durch das Außenklima bedingt sein kann. Zudem wird die Kälte der Böden und Fenster stärker wahrgenommen.

Die Raumnutzenden haben in Hörsälen selten die Möglichkeit, selbst Einstellungen an der Klimatechnik zu verändern, können jedoch in der Regel Anfragen an die Abteilung Gebäudetechnik richten. Es wurde im Fragebogen erhoben, ob die Person selbst oder Mitstudierende bereits Anfragen zur Verbesserung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimasituation im Gebäude gestellt haben: 118 Personen gaben an, dies bereits getan zu haben, 1.849 Personen hingegen machten von dieser Möglichkeit bislang keinen Gebrauch, 31 Personen machten keine Angabe hierzu. Am UCB hatten 79 Personen eine Verbesserungsanfrage gestellt, 331 Personen verneinten dies und fünf Personen machten hierzu keine Angaben.

Im Anschluss an die letzten beiden Interventionen an den Hochschulen wurden die Studierenden im Fragebogen UVE gefragt, ob ihnen die REGENA-Hinweise (Plakate, Prompts) in den Räumen und Sanitärräumen aufgefallen sind: an der HN sind 275 Personen diese Hinweise aufgefallen (54%), 231 Personen dagegen nicht (46%). Am UCB gaben 129 Personen (61%) an, sich an die Hinweise zu erinnern, 81 (39%) Personen haben diese nicht gesehen.

Schließlich wurden die Hörsaalnutzenden noch nach ihrer Teilnahme an den Informationsveranstaltungen gefragt. An den Stromschulungen nahmen nach eigener Angabe an der HN 30 Personen teil, 97 Personen kreuzten „nein“ an. Am UCB nahmen nach eigener Angabe 10 Personen an den Stromschulungen teil, 200 nicht. An der HN gaben 13 Personen an, an der Wärmeschulung teilgenommen zu haben, 363 Personen nahmen nach eigener Aussage nicht daran teil. Am UCB gaben 31 Personen an, an den Wärmeschulungen teilgenommen zu haben, 179 Personen nahmen nach eigener Aussage nicht daran teil.

5.6.7 Zusammenhänge zwischen Einstellungen, Verhaltensweisen und Komfort in den Hörsälen der beiden Hochschulen

Neben den Erhebungen mit den Fragebögen EVE und UVE wurden auch von zuvor geschulten Beobachter(inne)n die Umgebungsbedingungen in den Vorlesungsräumen erfasst und Verhaltensbeobachtungen von Hörsaalnutzenden mittels Beobachtungsbogen durchgeführt. Zu den Umgebungsbedingungen zählen Parameter wie CO₂-Gehalt der Raumluft, Innenraumtemperatur und (relative) Luftfeuchte. Das Nutzerverhalten lässt sich beispielsweise durch Tür- und Fensterschließungsverhalten oder Gewohnheiten beim Stromverbrauch (Benutzung von elektrischen Geräten) charakterisieren.

Im Mittelpunkt der Beobachtungen standen das Komfortempfinden, Einstellungen und Nutzerverhalten in Bezug auf die Ressourceneffizienz. Baseline-Erhebungen bildeten die Grundlage für die nachfolgenden Messungen. Um die Wirkung der verhaltensverändernden Maßnahmen überprüfen zu können, muss zunächst eine Vergleichsbasis geschaffen werden. Die Erhebungen im Rahmen der Beobachtungen fanden jeweils zu den Erhebungszeitpunkten der Befragungen von Studierenden mit den Fragebögen EVE und UVE in den Hörsälen statt (vgl. Kap. 6).

5.6.7.1 Ablauf der Datenerhebung

Die Orte der Erhebung waren an der HN Hörsäle im Gebäude F und am UCB die Hörsäle im Glasbau sowie ein Seminarraum. Der Tabelle 49 können die Anzahl der Erhebungen zur Beobachtung, die durchschnittliche Personenzahl im Raum, Zu- und Abgänge während einer Vorlesung sowie die minimale und die maximale Anzahl entnommen werden. Bereits an dieser Stelle fallen beträchtliche Anwesenheitsschwankungen auf: an der HN befinden sich zu Beginn der Vorlesung stets mehr Personen im Raum als zum Ende der Vorlesung. Das bedeutet, dass einzelne Personen oder Personengruppen im Laufe der Zeit den Raum durch eine oder mehrere Türen verlassen (vgl. Tabelle 49). In einigen Fällen wurde beobachtet, dass diese

Türen nicht mehr geschlossen wurden. Weiterhin fällt an der HN auf, dass die Räume nicht optimal auslastet sind: z. B. befanden sich vier Personen in Raum 20022582, der über 200 Sitzplätze verfügt. Diese Minderbelegung kann sich auf das empfundene (subjektive) Komfortempfinden der Anwesenden auswirken, wenn die Räume sparsam beheizt werden und nur wenige Personen anwesend sind, die entsprechend wenig Körperwärme an die Umgebung abgeben.

Am UCB lässt sich das weniger häufig beobachten. Der Seminarraum ist ohnehin kleiner, hier schwankt die Anzahl der Personen zu Beginn und zum Ende der Vorlesungen nicht so stark. Einschränkend sei angemerkt, dass vom UCB insgesamt wesentlich weniger Beobachtungsdaten vorliegen als von der HN.

Tabelle 49: Anzahl der Personen in den jeweiligen Vorlesungen an beiden Hochschulen

Raum		Anzahl Erhebungen	MW Personen im Raum	Anzahl Personen Beginn	Anzahl Personen Ende	Minimum beobachtete Personen	Maximum beobachtete Personen
HN	20009035	67	77,2	67	65	17	165
	20022582	76	46,6	75	73	4	180
	20001081	72	76,3	71	70	10	261
UCB	SR	6	13,6	13	14	3	27
	HS 1	6	26,5	26	26	11	50
	HS 2	8	24,1	24	24	6	41
	HS 3	4	21,9	20	23	13	31

Im April 2015 wurde an der HN ein CO₂-Monitor Airflow XL, der CO₂, relative Luftfeuchte und Temperatur visualisierte, an der Kopfseite des Hörsaals 20001081 angebracht. Die Informationen zur Luftqualität sollten die Studierenden sensibilisieren und durch eine visuelle Warnanzeige bei sehr starkem CO₂-Gehalt im Raum zum richtigen Lüften unterstützen bzw. darauf aufmerksam machen, dass im Normbereich keine Lüftung notwendig ist.

Bei den gleichzeitig durchgeführten Verhaltensbeobachtungen dokumentierten die Mitglieder des Beobacherteams, in welchen Situationen, wie oft und wie lange die Fenster und Türen durch die Studierenden geöffnet wurden; außerdem wurde die erfasst, ob die Fenster ganz geöffnet oder nur gekippt wurden.

5.6.7.2 Erfassung der Umgebungsbedingungen durch Messungen und Beobachtungen

Als Umgebungsbedingungen in den beobachteten Räumen wurden CO₂, relative Luftfeuchte und Temperatur erfasst. Die Vorlesungsräume sind mit raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) ausgestattet, die über einen CO₂-Sensor die Belüftung regeln, jedoch nicht die Luftfeuchtigkeit. In den Räumen befinden sich an den Fensterseiten auch Heizkörper, ausgestattet mit konventionellen Thermostaten.

Es wurden 215 Vorlesungen an sechs Messzeitpunkten in den drei o. g. Räumen an der HN begleitet. Alle 15 Minuten wurden manuell CO₂-Werte erhoben und jeweils einmal zu Beginn und zu Ende der Vorlesung die Luftfeuchte und die Raumtemperatur gemessen. Am UCB wurden 24 Vorlesungen an drei Messzeitpunkten beobachtet. Auch hier wurden alle 15 Minuten manuell CO₂-Werte erhoben und jeweils einmal zu Beginn und zu Ende der Vorlesung die relative Luftfeuchte und die Raumtemperatur gemessen. Einen Überblick gibt die Tabelle 50.

Im Durchschnitt finden sich an der HN keine Auffälligkeiten im Bereich des CO₂. Bei insgesamt 85 Ablesungen wurden 1000 ppm überschritten, der maximal gemessene Wert betrug 1172,6 ppm. Damit liegt keine Gesundheitsgefährdung durch CO₂ für die Anwesenden vor. Die relative Luftfeuchte erreicht in 237 von 430 Messungen nicht die arbeitswissenschaftlich empfohlenen 40% bis 50%. Im Durchschnitt über alle Erhebungen an der HN nahm die gemessene Luftfeuchte im Laufe der Vorlesungen stets ab: dies ist daran erkennbar dass der gemessene Wert zu Ende der Vorlesung im Durchschnitt niedriger war, als zu Beginn der Vorlesung. Der Mittelwert der gemessenen Innenraumtemperatur in den drei Hörsälen an der HN ist höher als die arbeitswissenschaftlich empfohlenen 21°C, wobei jedoch auch vereinzelt in sechs Fällen in zwei Räumen (20022582 und 20001081) niedrige Raumtemperaturen unter 19°C gemessenen wurden. Der Raum 20009035 war davon nicht betroffen.

Tabelle 50: Überblick über die gemessenen Umgebungswerte in Hörsälen der HN und am UCB

Raum		Anzahl Personen	CO ₂ [ppm]			Rel. Luftfeuchte [%]			Innentemperatur [°C]		
			MW	Min	Max	MW	Min	Max	MW	Min	Max
H N	20009035	77,2	674,9	153,2	1.202,5	74,8	22,7	70	22,5	19,3	26,3
	20022582	46,6	595,6	145,8	1.172,6	62,0	14,5	63,8	22,5	18,6	25,1
	20001081	76,3	584,9	276,2	1.172,6	51,9	17,1	60,6	22,9	14,8	28,3
U C B	SR	13,6	1.569,3	872,0	2.520,0	49,2	42,0	60,0	21,3	19,3	22,4
	HS 1	26,5	965,3	550,5	1.585,0	46,3	39,0	58,0	21,4	17,9	23,4
	HS 2	24,1	858,9	637,5	1.251,0	43,7	32,0	59,0	21,4	19,9	24,3
	HS 3	21,9	801,8	564,0	1.021,5	44,9	35,0	55,0	21,4	19,8	24,0

Am UCB wurden bei insgesamt 56 Ablesungen des CO₂-Wertes 1.000 ppm überschritten. Der maximal gemessene Wert betrug 2.520 ppm, wobei der tatsächliche Werte an sieben Messpunkten nicht mehr ermittelt werden konnte, weil das Messgerät den Wert nicht mehr ausgeben konnte, diese Problematik betraf jedoch nur den Raum SR. Die Luftfeuchte der Räume am UCB unterschreitet in 10 von 48 Messungen die arbeitswissenschaftlich empfohlenen 40% bis 50%. Im Durchschnitt über alle Erhebungen am UCB gesehen, nahm die gemessene Luftfeuchte im Laufe der Vorlesungen stets ab: dies ist daran erkennbar dass der gemessene Wert zu Ende der

Vorlesung im Durchschnitt niedriger war, als zu Beginn der Vorlesung, am geringsten war dieser Effekt im Raum SR. Der Mittelwert der gemessenen Innenraumtemperatur in den Räumen am UCB lag im Durchschnitt um die arbeitswissenschaftlich empfohlenen 21°C, wobei in zwei Fällen zu Vorlesungsbeginn Werte unter 19°C gemessen wurden, was eventuell auf das Lüften vor Vorlesungsbeginn oder auf offene Eingangstüren hindeuten könnte (vgl. Tabelle 51).

Eine nähere Betrachtung offener Fenster und Türen wird nachfolgend vorgenommen. Während der Vorlesungszeiten wurde auf einem Beobachtungsbogen protokolliert, welche Türen und Fenster wie lange offen standen oder zum verspäteten Betreten bzw. vorzeitigem Verlassen des Raumes nur kurz geöffnet oder geschlossen wurden.

Tabelle 51: gemessene Umgebungsbedingungen zu Beginn und Ende der Vorlesungen in den Hörsälen an der HN und am UCB

Raum		Wert	Rel. Luftfeuchte [%]		Temperatur Innenklima [°C]	
			Beginn	Ende	Beginn	Ende
HN	20009035	MW	40,0	37,9	22,2	22,9
		Min	22,7	23,2	19,3	20,1
		Max	70,0	70,0	26,0	26,3
	20022582	MW	38,3	35,6	22,1	22,8
		Min	22,5	14,5	18,6	19,4
		Max	63,8	53,5	25,1	24,9
	20001081	MW	40,1	36,9	22,6	23,2
		Min	19,7	17,1	14,8	17,8
		Max	60,6	55,0	28,3	28,1
UCB	SR	MW	49,3	49,0	20,6	22,1
		Min	42,0	46,0	19,3	21,0
		Max	60,0	54,0	22,4	23,0
	HS 1	MW	49,8	42,8	20,6	22,1
		Min	44,0	39,0	17,9	20,9
		Max	58,0	45,0	23,3	23,4
	HS 2	MW	45,3	41,9	21,1	21,7
		Min	34,0	32,0	20,0	19,9
		Max	59,0	46,0	22,2	24,3
	HS 3	MW	47,5	42,3	20,4	22,5
		Min	38,0	35,0	19,8	21,6
		Max	55,0	49,0	20,8	24,0

In Tabelle 52 ist die gemessene Zeitdauer der Fenster zur Kipplüftung in den Vorlesungsräumen der beiden Hochschulen dargestellt. Die Hörsäle an der HN befinden sich im 2. und 3. OG, daher können die Fenster im Vorlesungsbetrieb aus Sicherheitsgründen nur auf Kippstellung geöffnet werden. Im Raum 20022582 sind zehn Fenster vorhanden, in den Räumen 20001081 und 20009035 jeweils zwölf.

Am UCB sind die drei aneinander untersuchten Hörsäle auf einen „Innenhof“ ausgerichtet. Die acht Fenster dieser Hörsäle können nicht nach außen, sondern, und auch nur teilweise, ausschließlich zum innenliegenden Lichthof hin geöffnet werden. Der betrachtete Seminarraum am UCB kann durch sechs Fenster nach außen belüftet werden. In allen Räumen können die Fenster vollständig geöffnet werden (vgl. Tabelle 53).

Es ist ersichtlich, dass an der HN im Sommer im Durchschnitt deutlich mehr Fenster geöffnet sind als im Winter. Die meisten offenen Fenster und auch die längsten Lüftungszeiten wurden im Sommersemester 2013 erfasst. Es wird weiter deutlich, dass die Öffnung der Fenster damit zusammenhängen könnte, in welchem Raumteil die meisten Raumnutzer sitzen, da stets unterschiedliche Fenster des Raumes zur Lüftung geöffnet wurden. Während der Beobachtungen im Wintersemester 2015 an der HN (nach der Wärmeschulung) wurde deutlich weniger gelüftet als in den Erfassungsphasen der beiden vorhergehenden Wintersemester.

Tabelle 52: gemessene Durchschnitts-Dauer der Fensteröffnung (Kipplüftung) während der beobachteten Vorlesungen an der HN in Minuten

HN	Raum	Anzahl Beobachtungen	Fenster 1	Fenster 2	Fenster 3	Fenster 4	Fenster 5	Fenster 6	Fenster 7	Fenster 8	Fenster 9	Fenster 10	Fenster 11	Fenster 12	Summe je Raum	MW je Raum	
SS 13	20022582	N=31	00:17	00:11	01:33	01:28	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n.v.	n.v.	03:29	00:20
	20001081	N=33	01:07	00:50	01:18	00:16	00:11	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	03:42	00:18
	20009035	N=21	00:38	00:25	00:05	00:03	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	01:11	00:05
WS 13	20022582	N=9	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n.v.	n.v.	00:00	00:00
	20001081	N=4	00:10	00:10	00:10	00:21	00:21	00:21	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	01:33	00:07
	20009035	N=8	01:08	00:35	00:10	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	01:53	00:09
SS 14	20022582	N=6	00:00	00:00	00:10	00:10	00:10	00:43	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n.v.	n.v.	01:13	00:07
	20001081	N=8	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
	20009035	N=9	00:10	00:10	00:17	00:00	00:00	00:00	00:00	00:10	00:17	00:37	00:17	00:10	00:00	02:08	00:10
WS 14	20022582	N=8	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n.v.	n.v.	00:00	00:00
	20001081	N=2	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
	20009035	N=7	00:00	00:00	00:00	00:15	00:00	00:12	00:15	00:15	00:15	00:32	00:31	00:15	00:00	02:30	00:12
SS 15	20022582	N=16	00:00	00:07	00:00	00:07	00:07	00:03	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n.v.	n.v.	00:24	00:02
	20001081	N=18	00:29	00:22	00:00	00:00	00:06	00:16	00:00	00:00	00:10	00:10	00:05	00:23	00:00	02:01	00:10
	20009035	N=17	00:00	00:04	00:00	00:00	00:05	00:15	00:04	00:07	00:07	00:07	00:05	00:00	00:00	00:54	00:04
WS 15	20022582	N=6	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n.v.	n.v.	00:00	00:00
	20001081	N=7	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:12	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:12	00:01
	20009035	N=5	00:00	00:00	00:00	00:18	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:18	00:01

n. v.: Fenster nicht vorhanden

Tabelle 53: Gemessene durchschnittliche Fensteröffnungsdauer während der beobachteten Vorlesungen am UCB in Minuten

UCB	Raum	Anzahl Beobachtungen	Fenster 1	Fenster 2	Fenster 3	Fenster 4	Fenster 5	Fenster 6	Fenster 7	Fenster 8	Fenster 9	Fenster 10	Fenster 11	Fenster 12	Summe je Raum	MW je Raum
WS 13	SR	N=3	00:08	00:02	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 1	N=5	01:25	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 2	N=5	00:56	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 3		n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
WS 14	SR	N=2	00:00	00:05	00:05	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 1		n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 2	N=2	00:10	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 3	N=3	01:30	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
WS 15	SR	N=1	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 1	N=1	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 2	N=1	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		
	HS 3	N=1	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.		

n. e.: nicht erfasst (es fand dort keine Erhebung statt); n. v.: Fenster nicht vorhanden

Am UCB ist ebenfalls zu beobachten, dass sich die Lüftungszeiten nach den Wärmeschulungen deutlich verringert haben: im Wintersemester 2014 waren die Fenster noch 60 Minuten geöffnet, im WS 2015 wurde keine Fensteröffnung während der Vorlesungszeiten mehr beobachtet (vgl. Tabelle 53). Eine Einschränkung an der Genauigkeit der Beobachtungen bildet jedoch die geringe Anzahl an beobachteten Vorlesungen am UCB.

Tabelle 54: Geöffnete Türen und gezählte Kurzöffnungen der Türen während der Vorlesungen

		Türen offen in Minuten (MW)	Häufigkeit Kurzöffnung Türen (MW)
HN	SS 13	38:17	3,0
	WS 13	11:43	5,7
	SS 14	30:13	3,3
	WS 14	64:05	5,3
	SS 15	32:51	4,1
	WS 15	36:39	6,8
UCB	WS 13	12:24	3,5
	WS 14	0	3,5
	WS 15	0	0,0

An der HN standen deutlich öfter eine oder mehrere Tür(en) zu den Vorlesungsräumen offen als am UCB. Hierbei ist auch keine Abnahme nach der Wärmeschulung oder allgemein in der kälteren Jahreszeit zu beobachten. Einige Lehrende gaben auf Nachfrage an, dass sie sich weniger durch dauerhaft geöffnete Türen gestört fühlten, als durch häufiges Zufallen der Türen beim Hineingehen oder Verlassen des Raumes. Deswegen wurde kein Wert auf ordnungsgemäßes Schließen der Eingangstüren zum Energiesparen gelegt. Dieser Umstand wurde voranstehend in Tabelle 49 bereits diskutiert, da an der HN häufig Studierende den Raum bereits vor Vorlesungsende verlassen. Hier besteht ein erheblicher Unterschied zum Verhalten der Studierenden am UCB: dort wurde im WS 2013 lediglich in drei Vorlesungen beobachtet, dass zeitweise eine Tür offen stand (Tabelle 54).

Wenn eine oder alle Türen überwiegend geschlossen waren, so wurde zusätzlich erhoben, wie oft die sonst geschlossene Tür zum verspäteten Hingehen oder vorzeitigem Verlassen betätigt wurde. Hierzu führte der Beobachter eine Strichliste. In der Spitze wurde an der HN eine Tür während einer 90 minütigen Vorlesung 23 Mal geöffnet/geschlossen, ebenso konnten aber auch Beobachtungen ohne eine einzige Betätigung der Tür(en) dokumentiert werden. Im Durchschnitt jedoch liegt die Anzahl dieser Kurzöffnungen zwischen drei- und sieben Mal pro Vorlesung, im Winter werden dabei die Türen häufiger betätigt als im Sommer. Am UCB wurde lediglich bei der letzten Beobachtung im Wintersemester 2015 keine geöffnete Tür während einer Vorlesung beobachtet.

Zusätzlich wurde protokolliert, ob Stromverbraucher wie Laptops, Mobiltelefone oder Overheadprojektoren in den Räumen verwendet oder aufgeladen wurden (vgl. Tabelle 55).

Während der Betrieb von Beamern mittlerweile zur Grundausstattung der Räume gehört (in mehr als der Hälfte der beobachteten Vorlesungen an der HN und über 2/3 der Vorlesungen am UCB waren Beamer im Einsatz), erscheint das Einsparpotenzial bei Overheadprojektoren insbesondere an der HN recht groß. Es ist anzunehmen, dass viele dieser Overheadprojektoren nur hin und wieder benötigt werden, aber ständig eingesteckt in der Steckdose sind. Hinsichtlich des Gebrauchs von Laptops und dem Aufladen von Mobiltelefonen in den Hörsälen zeichnet sich ein uneinheitliches Bild ab: Die Anzahl der genutzten Geräte an der HN schwankt recht stark, auch ist kein Rückgang in der Nutzung nach den Strom- bzw. Wärmeschulungen erkennbar. Am UCB ist ein Rückgang der Steckdosennutzung zum Aufladen der Laptop-Akkus zu erkennen, der jedoch nicht zwingend mit den Interventionen zum Stromsparen zusammenhängen muss. Auffällig ist jedoch, dass am UCB zu keinem Beobachtungszeitpunkt Mobiltelefone aufgeladen wurden.

Tabelle 55: Zählung der angeschlossenen Stromverbraucher im Hörsaal

		Anzahl Beobachtungen	Laptop-Akku aufladen	Mobiltelefon-Akku laden	Beamer in Betrieb	Overhead-Projektor
HN	SS 13	85	86	19	60	12
	WS 13	21	29	17	20	1
	SS 14	23	7	7	20	5
	WS 14	17	44	11	14	2
	SS 15	51	64	17	45	26
	WS 15	18	7	8	12	4
UCB	WS 13	13	10	0	8	2
	WS 14	7	0	0	5	3
	WS 15	4	0	0	4	0

Angabe absolute Häufigkeiten

Tabelle 56: Zusammenhang von Umgebungsbedingungen (CO₂, Luftfeuchte, Temperatur) und Komfortempfinden in den Hörsälen an der HN

N variierend zwischen 209 und 215		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	CO ₂														
2	Luftfeuchte	-.048													
3	Temperatur	-.222 **	-.103												
4	Behaglichkeit	-.014	-.163 *	.075											
5	Hitze Kälte	-.112	-.160 *	.097	.274 **										
6	Temperatur stabil	-.128	.123	.089	.145 *	.090									
7	Luftbewegung	.029	-.075	-.042	.112	.230 **	.018								
8	Trockenheit	.027	-.081	.157 *	.044	-.067	.050	.057							
9	Frische	-.064	-.040	.068	.287 **	-.123	.179 **	-.228 **	-.013						
10	Geruchlosigkeit	-.040	-.195 **	.167 *	.262 **	.161 *	.122	-.001	.008	.338 **					
11	Angenehmheit	-.137 *	-.097	.105	.444 **	.069	.190 **	.016	-.066	.483 **	.614 **				
12	Abstrahlung Boden	-.111	-.186 **	.198 **	.242 **	.360 **	.049	.170 *	.056	.066	.251 **	.176 *			
13	Abstrahlung Fenster	-.116	-.120	.137 *	.132	.335 **	.151 *	.170 *	.128	.021	.118	-.001	.555 **		
14	Abstrahlung Wand	-.056	-.178 *	.127	.158 *	.259 **	.098	.112	.137 *	-.054	.220 **	.083	.592 **	.597 **	
15	Gesamteindruck	-.047	-.054	.014	.511 **	.209 **	.176 *	.137 *	.064	.307 **	.405 **	.484 **	.209 **	.137 *	.160 *

Bravais-Pearson zweiseitig; ** Korrelationen auf dem 1%-Niveau signifikant; * Korrelationen auf dem 5%-Niveau signifikant

5.6.7.3 Zusammenhang zwischen Umgebungsbedingungen, Komfort und Verhalten

Unbehaglichkeitsempfindungen gehen häufig mit der subjektiven Wahrnehmung von schlechter Luft einher, wobei die gemessenen CO₂-Werte in den meisten Fällen unter 1.000 ppm lagen und damit im Normbereich. Es wurden die möglichen Korrelationen zwischen den objektiv messbaren Umgebungsfaktoren und den selbstberichteten Wahrnehmungen sowie diesen untereinander berechnet. Dazu wurden die über die beobachteten Vorlesungen gemittelten subjektiven Werte sowie die gemessenen Umgebungsvariablen verwendet. Die Korrelationen wurden mit dem Verfahren nach Bravais-Pearson berechnet, einem dimensionslosen Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei mindestens intervallskalierten Merkmalen. Die Daten können Tabelle 56 entnommen werden. Die wichtigsten Befunde hierbei waren:

- Die Behaglichkeit korreliert mit der Angenehmheit und dem Gesamteindruck
- Geruchslosigkeit der Innenraumluft hat einen Zusammenhang mit der empfundenen Angenehmheit der Raumluft
- CO₂ und relative Luftfeuchte zeigen einen schwachen gegenläufigen Zusammenhang. Je höher die relative Luftfeuchte, desto geringer der CO₂-Gehalt der Luft
- Die berichtete Angenehmheit der Luft korreliert nicht mit objektiven Umgebungsvariablen
- Kälteabstrahlung vom Boden, Kälteabstrahlung durch die Fenster und Kälteabstrahlung der Wände korrelieren miteinander

5.6.8 Diskussion der Effekte

Bei fünf Skalen „positive Einstellung“, „Personale Norm“, „Relevant Others“, „Verantwortungsabwehr“ und „Verhaltensintention“ zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Hochschulen. So haben Studierende am UCB eine positivere Einstellung gegenüber dem Energiesparen. Auch das eigene Verantwortungsgefühl, etwas zu tun, ist deutlich höher, sowie auch der Austausch mit anderen Hochschulangehörigen. Geringer ist auch die Verantwortungsabwehr ausgeprägt (Tabelle 40). Erklärbar wird dies durch einen Selbstselektionseffekt bei den Studierenden. Der „Umwelt“-Campus bietet vermehrt im Studium eine Auseinandersetzung mit Themen der nachhaltigen Entwicklung an.

Es sind vor allem die Schulungen, die zu Veränderungen in den Einstellungen und bei anderen Prädiktoren der Verhaltensintentionen führen. Weitere Maßnahmen scheinen eher der Aufrechterhaltung von Einstellungen und Verhaltensintentionen zu dienen. Einstellungen und andere Prädiktoren der Verhaltensintention ließen sich nur in geringem Umfang beeinflussen. Erfreulich ist aber, dass die Veränderungen über die Zeit bestehen bleiben. Ein Problem der Datenerhebung ist allerdings die schwindende Akzeptanz bei den Teilnehmenden. Dem sollte mit einer Kürzung des Fragebogens begegnet werden.

5.7 Aktivierende Interventionen bei Studierenden: Die interdisziplinären Projekte am Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen der Hochschule Niederrhein (IP 1-3)

5.7.1 Vorbemerkung

Interventionen wurden entlang des Projektplans gemeinsam mit dem UCB geplant und durchgeführt (vergleichende Untersuchungen). Darüber hinaus wurden auch an der HN spezifische Interventionen durchgeführt, um energieeffiziente Verhaltensweisen zu unterstützen und zu stabilisieren oder Fragestellungen zu vertiefen. Während die vergleichenden Untersuchungen dem klassischen Ansatz der Evaluationsforschung mit Baseline-Messung, Intervention und Nachher-Messung folgten, wurden die aktivierenden Interventionen durch Interdisziplinäre Projekte innerhalb des Curriculums verankert: Eigenverantwortung für das Projekt, Kompetenzentwicklung und interdisziplinäre Zusammenarbeit standen im Vordergrund. Mit der intensiven Beschäftigung mit dem Thema Energie sind die Projekte vom Typus her damit den Initiativen zur Bildung für nachhaltige Entwicklung vergleichbar (siehe das Kapitel „Partizipation als Schlüssel für Verhaltensänderungen“).

Die interdisziplinären Projekte (IP) sind Projekte, die innerhalb des Studienverlaufs von Studierenden durchgeführt werden müssen. Die Studierenden können sich auf Themen bewerben und werden von den Lehrenden gecoacht. Es wurden drei IPs zum Thema Energieeffizienz durchgeführt: IP 1 beschäftigte sich intensiv mit dem Zusammenhang zwischen Einstellungen, Verhalten und Komfortempfinden, IP 2 untersuchte die Intervention mittels einer CO₂-Ampel und IP 3 sollte die Informationsangebote verbessern, um die Motivation weiter zu steigern.

Der Erkenntnisgewinn aus beiden Vorgehensweisen befruchtete sich gegenseitig, wie sich aus dem Überblick in Tabelle 57 der nachfolgenden Interventionen zeigt. Die Arbeit mit den Studierenden war wesentlicher Bestandteil des Transfers im Projekt REGENA.

Tabelle 57: Projekte mit intensiver studentischer Beteiligung

WS 14	Aktivierende Intervention: IP 1 / 2 Kurzschulungen, Plakate und Prompts und CO ₂ -Messgerät
WS 15	Aktivierende Intervention: IP 3 Energieleitfaden

5.7.2 IP 1 und 2: Zusammenhänge zwischen Einstellungen, Verhaltensweisen und Komfort

Die Ergebnisse beruhen auf den Datenerhebungen der Studierenden und bei den Wärmelastberechnungen auch auf den Ausarbeitungen der Studierenden. Beteiligt waren Yannik Sill, Arda Yavuz, Dennis Böer, Dietrich Friesen, Bernd Krönauer, Hamiyyet Sönmez, Daniela Bernethun und Muhammed Atahan Avsar (IP1) sowie Bastian Tolls, Fabian Meyer, Christian Hunsänger, Alexander Iwanow, Tom Funke, Thomas Weiss, Andrea Schmeier, Kristian Stinn, Michael Neuenhofer und Tumen-Ulzii Damdin-Jenn (IP2). Durchgeführt wurden IP 1 und 2 im WS 14/15 (Oktober bis Januar). Begleitet wurde das Projekt zusätzlich von der Professorin Dr. Ingela Tietze (Energietechnik- und Energiewirtschaft).

Im Mittelpunkt des Projektes standen Komfortempfinden, Einstellungen und Nutzerverhalten in Bezug auf die Ressourceneffizienz. Baseline-Erhebungen bilden bei jeder Forschungsarbeit die Grundlage für die nachfolgenden Messungen. Um die Wirkung der verhaltensverändernden Maßnahmen überprüfen zu können, muss zunächst eine Vergleichsbasis geschaffen werden. Erhoben wurden die Variablen Komfortempfinden, Einstellungen und Verhalten der Studierenden sowie Komfortempfinden (Tolls, et al., 2014) mit den Fragebögen EVE und UVE: Umgebungsbedingungen wurden erhoben und Verhaltensbeobachtungen durchgeführt. Aufgrund der erhobenen Daten (Daten zu geöffneten Fenstern, Temperatur usw.) und Heizdaten wurden Wärmelastberechnungen durchgeführt, die erlaubten, die Wärmeverluste zu schätzen, die durch das Öffnen von Fenstern entstehen.

5.7.2.1 Ablauf der Datenerhebung in den Interdisziplinären Projekten

Alle Maßnahmen wurden im Rahmen von fünf Vorlesungen zu drei Messzeitpunkten t_1 , t_2 , und t_3 durchgeführt. Ort der Erhebung waren das Gebäude H, da dort der Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen zu diesem Zeitraum untergebracht war.

Nach einer Baseline-Erhebung zum Zeitpunkt Ende Oktober bis Anfang November wurde eine 15-minütige Schulung von Studierenden für Studierende zu energieeffizientem Verhalten durchgeführt. Die Studierenden erhielten nicht nur die Informationen bereitgestellt, sondern wurden auch zur aktiven Mitarbeit durch Fragen, Dialoge und Einbringen eigener Ideen ermutigt. Zum Schluss des Kurzvortrags wurden die im Rahmen des Projekts entworfenen und gedruckten Aufkleber ausgeteilt. Die Prompts sollten nicht nur das Thema des Energiesparens in Erinnerung rufen, sondern auch die Wirkung des Plakats unterstützen und so zu Verhaltensänderungen führen. Parallel wurden Plakate im Gebäude H angebracht.

Im Dezember wurde der CO₂-Monitor Airflow XL, der CO₂, Luftfeuchte und Temperatur visualisierte, an der Kopfseite des Vorlesungsraums angebracht. Die Informationen zur Luftqualität sollten die Studierenden sensibilisieren. Die visuelle Warnanzeige bei erhöhtem CO₂-Gehalt im Raum sollte das richtige Lüftungsverhalten unterstützen bzw. anzeigen, wann keine Lüftung notwendig ist.

Zu drei Messzeitpunkten wurden in je fünf Vorlesungen CO₂, relative Luftfeuchte und Temperatur gemessen. Die Messungen erfolgten mit einem Tischgerät, dem CO₂-

Monitor „5020-0105“. Bei den gleichzeitig durchgeführten Verhaltensbeobachtungen dokumentierten die Mitglieder des Beobachtungsteams, in welchen Situationen, wie oft und wie lange die Fenster und Türen durch die Studierenden geöffnet wurden. Außerdem wurde die erfasst, ob die Fenster ganz geöffnet oder nur gekippt wurden, wie in Tabelle 58 abzulesen ist.

Tabelle 58: Erhebungen und Interventionen im IP 1 und 2

Messzeitpunkte	t1		t2		t3
Zeitraum	28.Okt bis 06. Nov.	9. Nov. bis 22. Nov.	25. Nov. bis 28. Nov.	01. Dez. bis 13. Dez.	16. Dez. bis 19. Dez.
Intervention		Kurz- schulungen aktivierend		CO ₂ -Monitor wird installiert	
Daten- erhebung	EVE und UVE CO ₂ und Temperatur		EVE und UVE CO ₂ und Temperatur		EVE und UVE CO ₂ und Temperatur

Für die CO₂-Messungen wurden je zwei Geräte des gleichen Typs (TFA AirCO₂ntrol Life CO₂-Monitor) pro Vorlesungsraum genutzt, die zusätzlich die Temperatur sowie die Luftfeuchtigkeit erfasst haben. Die erfassten Daten wurden mithilfe SPSS ausgewertet. Beobachtungen wurden während der Vorlesung durchgeführt.

5.7.2.2 Die Zielgruppe: Teilnehmerzahlen und Rücklauf

Die Teilnehmerzahlen an den Befragungen sind der Tabelle 59 zu entnehmen. Die Studierenden nahmen an Vorlesungen des ersten, dritten und fünften Semesters teil. Mit der Wahl der Vorlesungen sollten alle Studierenden des Fachbereichs im Wintersemester angesprochen werden. Ein Problem bei den Befragungen war die permanente Fluktuation der Studierenden während der Vorlesungszeiten. Der Rücklauf beim Fragebogen EVE nahm von 39,0% auf 21,5% ab. Die Akzeptanz des UVE war höher mit einem Rücklauf von 56,3% bis 34,5% (vgl. Tabelle 59).

Da die Fragebögen mit einem Code versehen waren, konnte nachvollzogen werden, ob Messwiederholung bei Wissens-, Einstellungs- und Verhaltensintentionen bei den Studierenden vorlag. Da weniger als 10 Studierende fortgesetzt an den Befragungen teilnahmen, konnten keine Auswertungen mit verbundenen Stichproben durchgeführt werden. Stattdessen wurden statistische Verfahren ohne Messwiederholung verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass die teilnehmenden Studierenden in den Kursen vielfach untereinander kommunizierten und daher auch erfuhren, dass Schulungen stattfanden, Plakate aufgehängt und Prompts verteilt wurden. Vor allem der CO₂-

Monitor war für alle sichtbar und führte zu regen Diskussionen unter den Studierenden.

Tabelle 59: Anzahl der verteilten Fragebögen zu den Befragungszeitpunkten und Rücklauf

	Befragungszeitpunkt t1	Befragungszeitpunkt t2	Befragungszeitpunkt t3
Gesamtzahl der in den Vorlesungen anwesenden Personen	364	339	274
Rücklauf auswertbare Fragebögen EVE	142	75	59
Rücklaufquote EVE	39,0%	22,1%	21,5%
Rücklauf auswertbare Fragebögen UVE	205	117	109
Rücklaufquote UVE	56,3%	34,5%	39,8%

Tabelle 60: Anzahl der Personen in den jeweiligen Vorlesungen

Raum	Vorlesung	Anzahl t1	Anzahl t2	Anzahl t3
R 107	1	34	29	16
	2	63	73	44
	3	38	31	18
R 010	4	111	107	104
	5	118	99	92
gesamt		364	339	274

5.7.2.3 Veränderungen bei Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE)

Über die verschiedenen Messzeitpunkte zeigten die Befragten einen geringen, aber signifikanten Zuwachs an Wissen über Energieeffizienz ($F_{2/273} = 15,301$; $p \leq 0,001$), die Bereitschaft, sich energieeffizienter zu verhalten ($F_{2/273} = 4,513$; $p = 0,012$) und eine vermehrte Wahrnehmung, dass organisationale Anstrengungen unternommen werden, um energieeffizientes Verhalten zu unterstützen ($F_{2/273} = 17,763$; $p \leq 0,001$). Bei den anderen Skalen sind keine Veränderungen zu berichten. Die Skala Relevant Others (Relevante Andere) zeigt einen Trend ($F_{2/273} = 2,229$; $p = 0,59$).

Es ist überraschend, dass die Akzeptanz von Energieeffizienzmaßnahmen, positive Einstellungen und andere Konstrukte, die typischerweise als Prädiktoren der Verhaltensintention angesehen werden können, nicht stiegen, die Bereitschaft, sich zukünftig energiebewusster zu verhalten, dagegen schon.

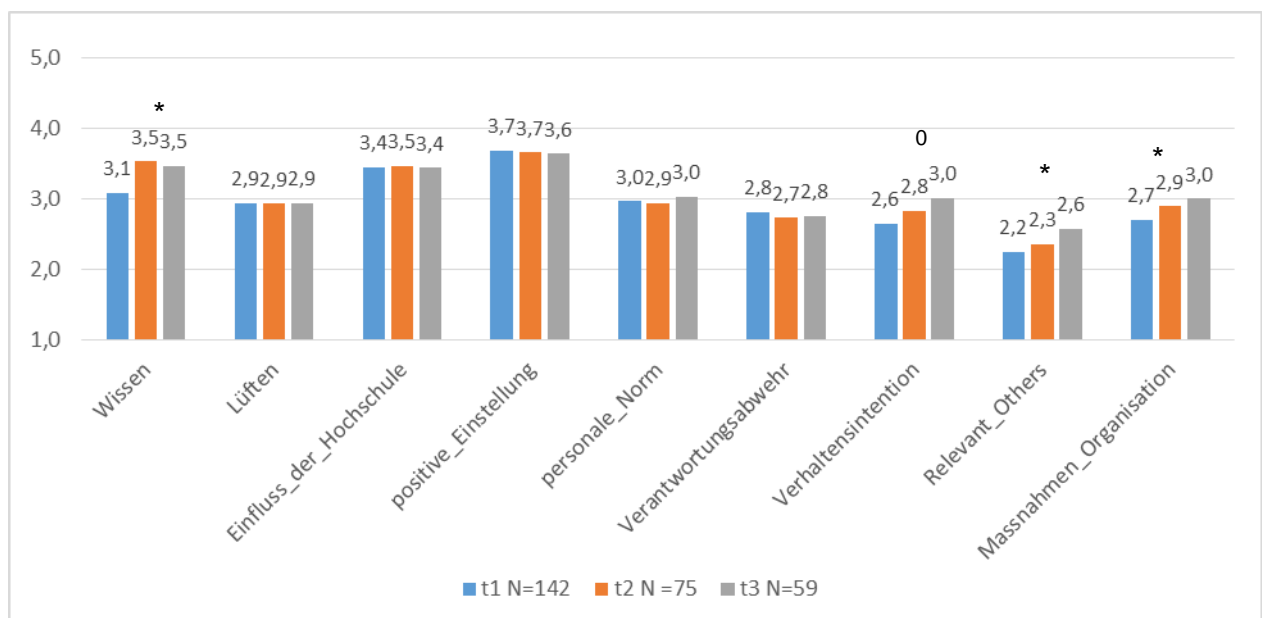


Abbildung 93: Veränderungen in den Skalen des Fragebogens EVE über drei Messzeitpunkte

t1-Baseline; t2-nach Schulung; t3-nach Anbringen des CO₂-Messgerätes;
 * signifikante Veränderung; ⁰ Trend

5.7.2.4 Die Beurteilung der objektiv messbaren Umgebungsbedingungen

Als Umgebungsbedingungen in den beobachteten Räumen R 107 und R 010 wurden CO₂, relative Luftfeuchte und Raumtemperatur erfasst. Die Vorlesungsräume sind mit raumluftechnischen (RLT-) Anlagen ausgestattet, die über einen CO₂-Sensor die Belüftung regeln. In den Räumen befinden sich an den Fensterseiten auch Heizkörper, ausgestattet mit programmierbaren Thermostaten.

Es wurden fünf Vorlesungen zu drei Messzeitpunkten in den zwei o. g. Räumen begleitet und alle 15 Minuten die Werte manuell erhoben. Alle Werte wurden zweimal erfasst und gemittelt. So wurden sieben Mal Daten innerhalb einer Vorlesung genommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 61 abzulesen. Im Durchschnitt finden sich keine negativen Auffälligkeiten im Bereich des CO₂. Nur einmal werden 1000 ppm überschritten. Die Luftfeuchte erreicht in 12 von 15 Messungen im Durchschnitt nicht die arbeitswissenschaftlich empfohlenen 40 bis 50%. Der Mittelwert der Temperatur bei den 15 Messungen der Temperatur ist höher als die arbeitswissenschaftlich empfohlenen 21°C.

Tabelle 61: Überblick über die gemessenen Umgebungswerte in den Räumen R 107 und R 010 der HN

	Raum		CO ₂			Luftfeuchte			Temperatur		
			Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max
t1	R 107	1	782,86	737,00	863,50	39,07	36,50	43,00	22,38	21,55	23,00
		2	836,86	699,50	878,50	36,71	34,00	41,50	23,70	21,00	24,80
		3	729,00	619,00	769,00	47,21	44,50	50,50	23,16	21,95	23,80
	R 010	4	735,07	575,50	774,50	39,21	22,00	50,00	23,61	21,45	24,75
		5	791,29	773,50	832,50	38,71	33,00	49,00	23,45	21,15	24,45
t2	R 107	1	810,50	706,50	856,50	28,36	27,50	29,50	22,30	21,80	22,60
		2	843,79	642,50	918,00	31,14	28,50	35,50	23,61	21,35	24,45
		3	725,79	712,00	750,50	35,43	29,00	44,50	21,53	20,05	22,50
	R 010	4	845,07	696,00	945,00	28,71	24,00	35,00	24,81	21,85	25,90
		5	939,79	804,00	1012,5	32,57	28,50	41,00	24,99	22,15	26,00
t3	R 107	1	629,43	566,50	693,50	44,57	38,50	55,00	21,54	18,45	23,10
		2	739,36	696,50	769,50	34,14	32,50	36,50	22,59	22,25	22,90
		3	753,75	530,50	891,50	37,63	36,00	39,00	22,19	21,00	22,80
	R 010	4	721,71	607,50	800,50	50,93	48,00	55,00	23,15	21,35	24,05
		5	716,79	595,50	752,00	50,29	44,50	58,50	22,83	21,10	23,65

Vorlesungen 1, 2 und 3 fanden in R 107 statt, Vorlesungen 4 und 5 in R 010

5.7.2.5 Die subjektive Bewertung des Komfortempfindens

Für die Bewertung des Komforts im Fragebogen UVE werden die wahrgenommene Temperatur, Luftgüte und gefühlte Abstrahlung herangezogen (vgl. Tabelle 62 und Abbildung 94 bis Abbildung 96). Dabei variierten die Einschätzungen über Räume und Messzeitpunkte deutlich. Beispielsweise nimmt die wahrgenommene Kälte der Fenster, Wände und Böden bei Absinken der Außentemperaturen von Oktober bis Dezember zu, bedingt durch den spürbaren Wärmeentzug, der subjektiv auch als „Abstrahlung“ dieser Raumelemente empfunden wird. Die Luftqualität im Raum R 010 wird als deutlich schlechter wahrgenommen als die in Raum R 107. Auch im Punkt Behaglichkeit schneidet Raum R 107 besser ab.

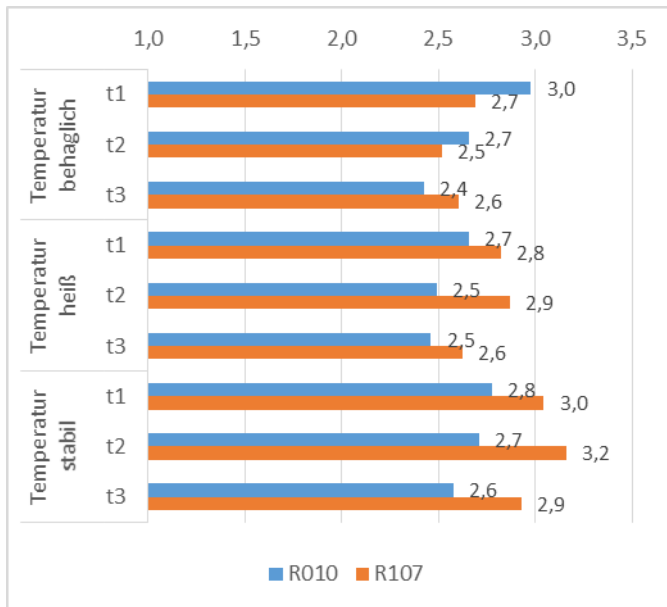


Abbildung 94: Temperaturempfinden

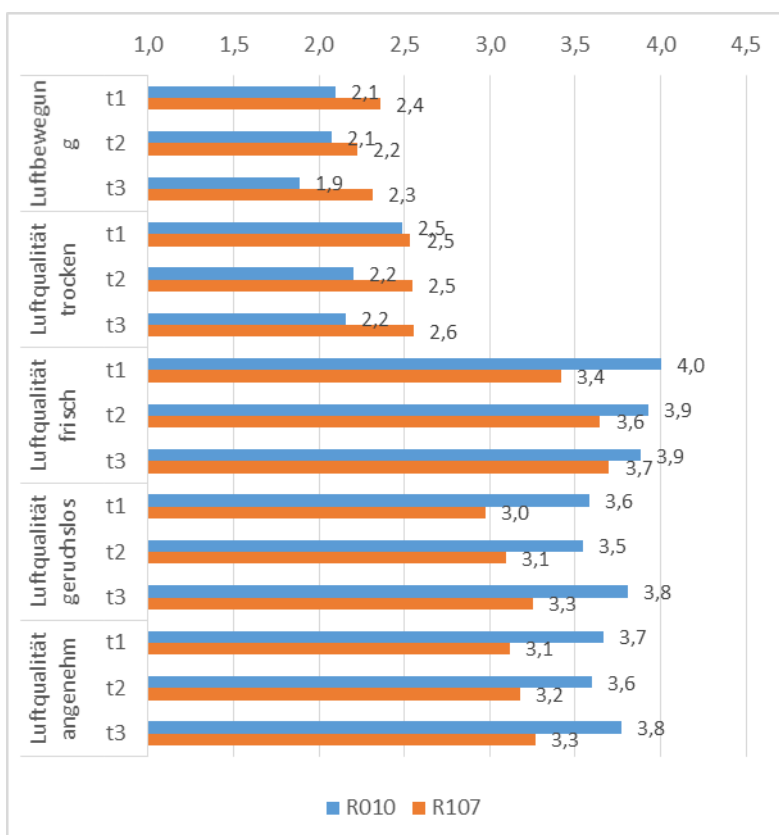


Abbildung 95: Luftgüte

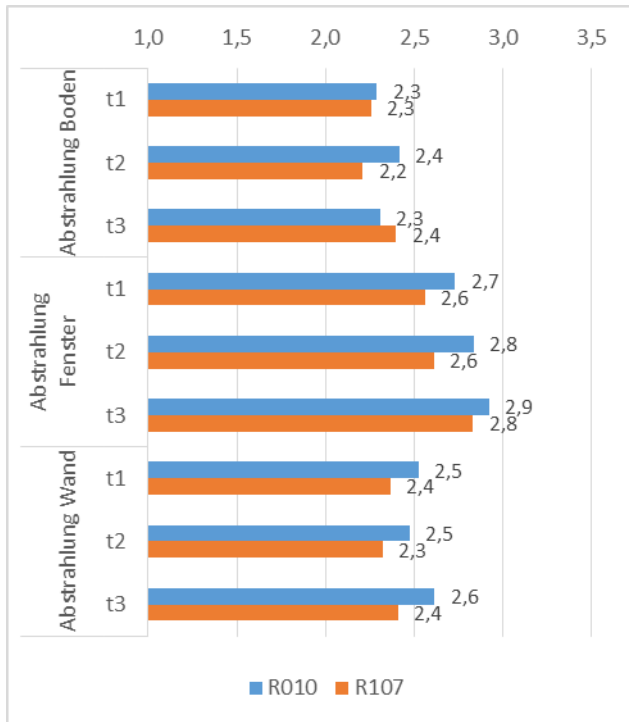


Abbildung 96: Empfundene kalte „Abstrahlung“

Tabelle 62: Komfortempfinden, subjektive Wahrnehmung der Umgebungsbedingungen

	Skala von 1 bis 5	Temperatur im Raum			Eindruck der Luftgüte					Empfundene Abstrahlung			Gesamtein- druck
		behaglich (1) nicht behaglich (5)	zu heiß (1) zu kalt (2)	stabil (1) variiert (5)	Luftbewegung wenig (1) viel (5)	trocken (1) feucht (5)	frisch (1) stickig (5)	geruchslos (1) stinkend (5)	angenehm (1) nicht angenehm (5)	Boden wenig (1) bis viel (5)	Fenster wenig (1) bis viel (5)	Wand wenig (1) bis viel (5)	
t1	1	2,5	2,9	2,7	2,1	2,5	3,5	2,9	3,0	2,3	2,6	2,3	2,8
	2	2,8	2,8	3,4	2,7	2,6	3,4	2,9	3,2	2,3	2,6	2,4	2,9
	3	2,7	2,8	2,7	2,0	2,5	3,1	3,3	3,2	2,1	2,5	2,6	2,6
	4	3,0	2,7	2,6	2,1	2,6	4,0	3,5	3,6	2,3	2,8	2,5	3,0
	5	2,8	2,7	3,3	2,1	2,1	4,1	3,8	4,0	2,1	2,6	2,5	3,0
t2	1	2,1	3,1	3,1	2,0	2,6	3,3	2,8	2,8	2,3	2,6	2,3	2,6
	2	2,8	2,8	3,1	2,3	2,6	3,9	3,3	3,5	2,3	2,7	2,5	3,0
	3	2,4	2,4	3,6	2,6	2,3	3,6	3,0	3,0	1,8	2,1	1,9	3,2
	4	2,7	2,5	2,8	2,3	2,3	4,0	3,5	3,6	2,4	2,8	2,3	2,9
	5	2,6	2,5	2,6	1,9	2,1	3,9	3,6	3,6	2,5	2,8	2,6	3,0
t3	1	2,3	3,1	2,9	2,4	2,8	3,2	2,8	2,7	2,1	2,6	2,2	2,6
	2	2,7	2,6	3,1	2,4	2,6	3,6	3,1	3,2	2,5	2,8	2,5	2,7
	3	2,7	2,4	2,7	2,1	2,4	4,2	3,7	3,7	2,5	3,0	2,4	2,9
	4	2,4	2,3	2,2	2,1	2,5	3,9	3,6	3,7	2,5	3,2	2,5	2,8
	5	2,5	2,6	2,9	1,7	1,8	3,8	4,0	3,8	2,2	2,7	2,7	3,2

Vorlesungen 1, 2, 3 fanden in Raum R 107 statt, Vorlesungen 3 und 4 in Raum R 010

5.7.2.6 Zusammenhänge zwischen Umgebungsbedingungen, Komfort und Verhalten (IP)

Subjektiv wahrgenommene schlechte Luft kann Unbehaglichkeit hervorrufen, wenn gleich die objektiv registrierten CO₂-Werte unter dem Grenzwert (1000 ppm) liegen. Daher wurden die möglichen Korrelationen zwischen den objektiv messbaren Faktoren der Umgebungsbedingungen und den selbstberichteten Wahrnehmungen sowie diesen untereinander berechnet. Verwendet wurden die über die jeweilige Vorlesung gemittelten subjektiven Werte sowie die gemessenen Umgebungsvariablen. 15 Messzeitpunkte wurden aufgenommen. Die Daten wurden mit Kendall tau berechnet, einem non-parametrischen Korrelationsverfahren, das v. a. bei kleinen Stichprobengrößen eingesetzt wird. Die Daten können Tabelle 61 bis Tabelle 63 entnommen werden.

Tabelle 63: Zusammenhang zwischen Umgebungsbedingungen (CO₂, Luftfeuchte, Temperatur) und Komfortempfinden

Kendall-Tau-b															
N=15		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	CO ₂														
2	Luftfeuchte	-.581 **													
3	Temperatur	.498 **	-.153												
4	Behaglichkeit	.337	-.106	.406 *											
5	Hitze - Kälte	.038	-.077	-.125	-.039										
6	Temperatur Stabil	.000	-.249	-.163	.019	.221									
7	Luftbewegung	.057	-.211	-.106	.193	.010	.490 *								
8	Trockenheit Feuchte	-.097	-.058	-.194	-.078	.320	.049	.223							
9	Frische	.163	-.125	.251	.379	-.406 *	-.155	-.039	-.273						
10	Geruchlosigkeit	.010	.181	.249	.298	-.498 **	-.287	-.306	-.522 **	.567 **					
11	Angenehmheit	.134	.134	.337	.348	-.471 *	-.240	-.260	-.456 *	.609 **	.880 **				
12	Abstrahlung Bo- den	.249	-.077	.202	.116	-.356	-.452 *	-.125	.049	.329	.249	.337			
13	Abstrahlung Fens- ter	.172	-.019	.221	.039	-.471 *	-.510 **	-.221	.010	.444 *	.325	.413 *	.702 **		
14	Abstrahlung Wand	-.115	.268	.317	.135	-.221	-.298	-.519 **	-.262	.097	.478 *	.471 *	.202	.260	
15	Allgemeineindruck	.116	-.039	.204	.351	-.359	.049	.049	-.480 *	.332	.406*	.359	-.126	-.029	.165

Subjektive Wahrnehmungen; fünfstufige Skalen von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“;

Wesentliche Ergebnisse sind

- Je häufiger die Fenster geöffnet sind, desto weniger behaglich wird der Raum bewertet ($\tau = .406^*$). Die Länge der geöffnete Fenster hat weder einen Zusammenhang mit dem CO₂-Wert noch mit der Temperatur noch mit der Luftfeuchte.
- Von den Umgebungsbedingungen zeigt Temperatur einen signifikanten Zusammenhang mit subjektiven Einschätzung Behaglichkeit, allerdings gegenläufig. Das heißt, je höher die Temperatur, desto weniger behaglich wird der Raum eingeschätzt.
- CO₂ und Luftfeuchte zeigen einen gegenläufigen Zusammenhang. Je höher die Luftfeuchte, desto geringer CO₂.
- Je höher das CO₂, desto höher auch die Temperatur. Dies ist auf die Zahl der anwesenden Personen zurückzuführen
- Die Angenehmheit der Luft korreliert nicht mit objektiven Umgebungsvariablen, verbindet sich aber positiv mit Geruchslosigkeit, Frische, geringer Feuchte und eher einer Kühle-Empfindung.

5.7.2.7 Veränderungen auf der Verhaltensebene

Betrachtet man das Lüftungsverhalten der Studierenden zu den verschiedenen Messzeitpunkten, stellt man eine Veränderung von November zu Dezember fest. Im Dezember wurden zu den Beobachtungszeitpunkten keine Fenster geöffnet. Diese Verhaltensänderung dürfte jedoch aufgrund der Jahreszeit eher der Kälte zuzuordnen sein, und nicht dem CO₂-Gerät. Ob ein CO₂-Gerät in einem Hörsaal sinnvoll eingesetzt werden kann, lässt sich hieraus nicht bewerten.

Tabelle 64: Verhalten im Raum R 107 an der HN

Zeitangaben in Stunden	Dauer Kippstellung der Fenster		Dauer ganz geöffnete Fenster und Türen	
	Rote Fenster	Blaue Fenster	Rote Fenster	Blaue Fenster
t1	5,08 h		0,35 h	
t2	5,08 h	0,92 h		0,03 h
t3	0 h	0 h	0 h	0 h

Daten entnommen Sill et al (2015)

5.7.2.8 Wärmebedarfsberechnungen für den Raum R 107

Es sollten einprägsame Möglichkeiten erarbeitet werden, die Verluste durch unsachgemäße Lüftung zu veranschaulichen. Da Geld eine Maßeinheit ist, die alle Menschen gut kennen, sollten die Verluste monetarisiert werden. Für die Berechnungen der Energie-Gewinne und -verluste müssen Transmissions- und Lüftungswärmebedarfe und die Wärmeverluste durch das Öffnen von Fenstern und Türen berechnet

werden. Die Darstellungen beruhen auf den Ausarbeitungen von Sill et al. (2015) für den R 107. Die Berechnung erfolgte nach (Ihle, et al., 2011).

Anzumerken ist, dass die Umlegung der eingesparten Energiekosten auf die Zeitdauer, in der Fenster geöffnet sind sowie die Anzahl der geöffneten Fenster der Veranschaulichung dient. Die Energieeinsparungen sind von sehr vielen Variablen abhängig und diese Darstellung stellt nur eine leicht verständliche Näherung dar (siehe Tabelle 65). Die Temperatur-Nachtabsenkung wurde vernachlässigt. Die Betriebszeit der Räume wurde mit 10 Stunden und den Betriebstagen hochgerechnet (Oktober 23 Tage, November 20 Tage). Als Einsparpotenziale konnten ermittelt werden: 50, 60 kWh und für November 48 kWh. Für die Ermittlung der Preise wurden die Preise der Fernwärme mit 6,7 Cent / kWh der Stadt Krefeld herangezogen. So lassen sich für den Oktober 1,47 Cent pro Stunde geöffnetes Fenster und für den November, 1,61 Cent pro Stunde errechnen.

Tabelle 65: Wärmeverluste durch geöffnete Fenster und Türen, Raum R 107 an der HN

	Oktober	November
Transmissionswärmebedarf für Seiten, Flure und Fensterseite		
Q_{TF} Flure	182,28 W	186,50 W
Q_{TSW} Längsseite (Fensterseite)	520,49 W	769,15 W
Q_{TGM} Giebelwandfläche	773,00 W	1059,32 W
Lüftungwärmebedarf Fenster- und Türfugen		
Q_{FLG} Fugendurchlasskoeffizient	441,75 W	652,79 W
$Q_{L, min}$ Lüftungwärmebedarf	774,63 W	1.144,70 W
Q_{RLT} Raumluftechnische Anlage	536,54 W	223,41 W
Norm- und Heizwärmebedarf		
Q_N Normwärmebedarf	1,54 kW	2,20 kW
Q_{NW} Heizwärmebedarf	340,41 kW	484,91 kW
Solare Gewinne	119,89 kWh	61,17 kW
Errechneter zuzuführender Heizwärmebedarf	83,55 kWh	302,48 kWh
Heizwärmebedarf		
Q_N Normwärmebedarf	1.547,33 W	2.204,13 W
Q_{NW} Heizwärmebedarf	340,41 kW	484,91kW
Wärmeverluste (berücksichtigt wurden Windrichtungen und Wärmeverluste durch Fenster und Türen)		
Q_{FK} Rote Fenster gekippt	85,69 W	155, 57 W
Q_{FK} Blaue Fenster gekippt	144,45 W	246, 02 W
Q_{FK} Türen / Fenster ganz offen	1.544,07 W	2.274, 38 W
Errechnete Wärmeverluste für 90 min Vorlesung		
Q_{FK} Rote Fenster gekippt	0,44 kWh	0,79 kWh
Q_{FK} Blaue Fenster gekippt	0 kWh	0,23 kWh
Q_{FK} Türen / Fenster ganz offen	0,54 kWh	0,07 kWh

	Oktober	November
Heizkostenermittlung		
Heizkosten bei geschlossenen Fenstern	5,60 €	20,27 €
Zusätzliche Heizkosten durch geöffnete Fenster	3,39 €	3,22 €

5.7.2.9 Zusammenfassung der Ergebnisse aus IP 1 und IP 2

Umgebungsbedingungen und Komfortempfinden zeigen nur wenige Zusammenhänge, insbesondere bei der Bewertung der Luftgüte. Die relativ hohe Raumtemperatur kann sich auf die Bewertung der Luftgüte negativ auswirken, da Frischewahrnehmungen eher mit kühleren Temperaturempfindungen einhergehen.

Der CO₂-Monitor scheint keine weiteren Auswirkungen auf die Studierenden gehabt zu haben. Nach einer kurzen Anfangsphase, in der er allgemeines Gesprächsthema bei Lehrenden und Studierenden war, wurde er nicht weiter beachtet. Die veränderten Verhaltensweisen, die im Dezember dazu führten, dass die Fenster nicht mehr geöffnet wurden, lassen sich nicht kausal mit dem CO₂-Gerät in Verbindung bringen.

Die Wärmeverlustberechnungen ergeben quantifizierbare Größen, die sich monetär bewerten lassen. Eine Stunde geöffnetes Fenster (Kippstellung) führt ungefähr zu 1,5 Cent Kosten. Das ist leider eine Größenordnung, die bei Studierenden keinen Eindruck erweckt und daher nicht als verhaltenssteuernd angesehen werden kann. Erst durch die Addition über die Menge an Räumen und Gebäuden kann hier eine eindrucksvolle Größe entstehen. Diese Erkenntnis war der Ausgangspunkt für das IP 3, das im übernächsten Abschnitt dargestellt wird.

5.7.3 Vergleich der Veränderungen zwischen aktivierenden und nicht aktivierenden Interventionen (Studierende im Gebäude F versus Gebäude H)

Von Interesse ist, wie sich die verschiedenen Interventionen auswirken. UCB konnte aufgrund seiner besseren technischen Ausstattung mit den Interventionen früher beginnen als die HN. Nachdem sich dort abzeichnete, dass die Intervention Schulung als solche zu wenig Effekten führt, interessierte, ob eine interaktive, partizipativ ausgerichtete Schulung höherer Effekte in Einstellungen und Verhaltensintention für Energieeffizienz erzeugt.

Im Folgenden werden die Daten der Einstellungsänderungen bei den Studierenden, die im Gebäude F befragt wurden, mit den Daten der Studierenden, die in Gebäude H befragt wurden, verglichen. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass Studierende, die vielfältiger mit Befragungen und Interventionen durch ihre Kommiliton(inn)en, betreut von Professor(inn)en, konfrontiert werden, stärkere Veränderungen auf den Skalen des EVE aufweisen als Studierende, die nur einfach unterwiesen wurden.

Es wurden also die Daten zu Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE) nach der ersten Intervention „Wärmeschulung“ jeweils aus dem Gebäude H und dem Gebäude F verglichen. Sowohl im Gebäude F wurde als auch im Gebäude H wurde ei-

ne Schulung vorgenommen; im Gebäude H konnten die Studierenden aber mehr Rückfragen stellen und Vorschläge diskutieren.

Was in Abbildung 97 erkennbar ist: Die Schulungen zeigen Wirkungen. Studierende ohne Schulung haben zeigen geringeres Wissen, weniger positive Einstellungen und zeigen weniger Verpflichtungsgefühl oder Verhaltensbereitschaft für energieeffizientes Verhalten. Wie aus den vorangegangenen Abschnitten sichtbar, lässt sich schon durch einfache Maßnahmen mehr Wissen, mehr positive Einstellungen und mehr Verpflichtungsgefühl für energieeffizientes Verhalten erzeugen (gemessen mit dem Fragebogen EVE).

Tabelle 66: EVE vor und nach Schulung, Mittelwerte und Standardabweichungen

		Wissen	Lüften	Einfluss der Hochschule	positive Einstellung	personale Norm	Relevant Others	Verantwortungsabwehr	Verhaltensintention	Maßnahmen der Organisation
HN Baseline WS 14 (Gebäude H) (N=142)	MW	3,08	2,93	3,44	3,68	2,96	2,24	2,80	2,65	2,70
	SD	0,54	0,50	0,45	0,45	0,50	0,89	0,55	0,77	0,45
HN Baseline WS 14 (Gebäude F) (N=153)	MW	3,07	3,84	3,36	3,76	3,72	2,15	2,82	2,61	2,50
	SD	0,71	0,72	0,70	0,70	0,81	0,85	0,64	0,80	0,60
HN Intervention. 1 WS 14 (Gebäude H) (N=75)	MW	3,52	2,93	3,46	3,66	2,94	2,35	2,72	2,82	2,89
	SD	0,71	0,47	0,45	0,42	0,48	0,86	0,51	0,79	0,40

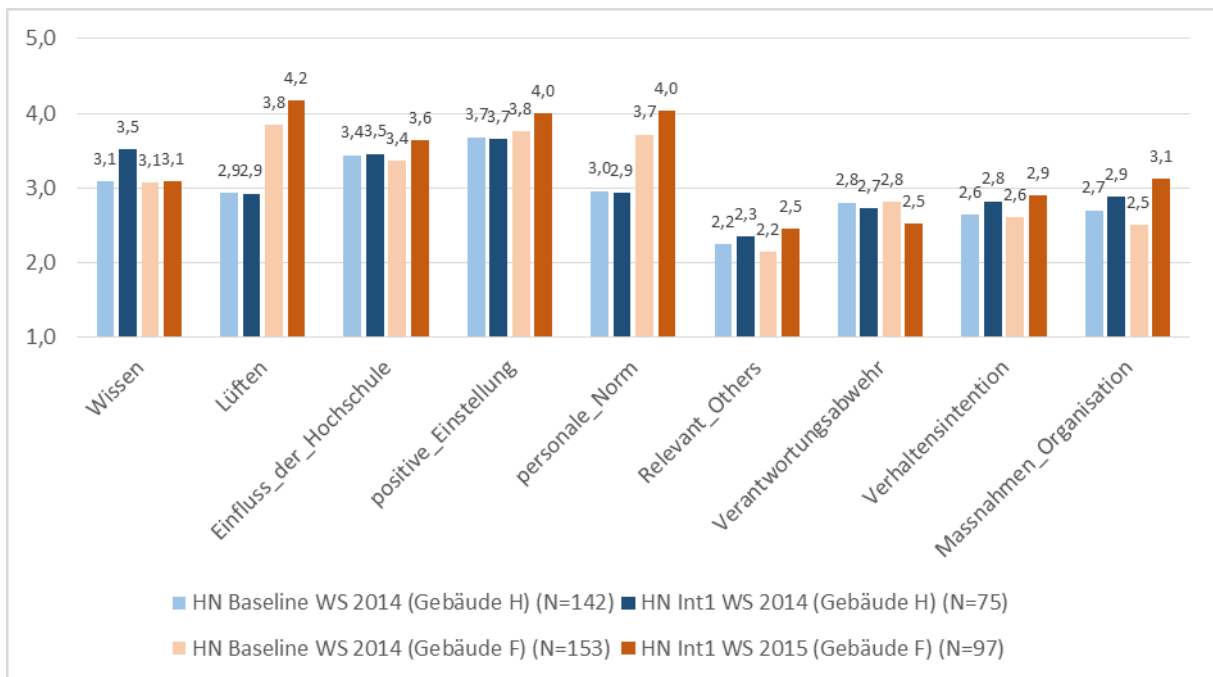


Abbildung 97: Messungen von EVE vor und nach Interventionen

Betrachtet man den Zuwachs mittels einer einfachen Differenzbildung in den verschiedenen Skalen von EVE, wird allerdings deutlich, dass eine stärker aktivierende Intervention nicht mehr Einstellungsveränderung als eine einfache Schulung erzeugt. Auffällig ist, dass die Studierenden des Gebäudes H von einem deutlich niedrigen Gesamtniveau in allen Selbstaussagen starten. Die Studierenden im Gebäude F haben von jeher mehr Wissen über richtiges Lüften, positivere Einstellungen gegenüber Energieeinsparungen und ein höheres Verantwortungsgefühl, welche zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention noch deutlicher ausgeprägt sind.

Die Verhaltensbereitschaft und die Bereitschaft, mit anderen über Energieeffizienz zu sprechen und sich gegenseitig aufmerksam zu machen, ließ sich bei den Studierenden im Gebäude H erst noch weiter mit dem Einführen des CO₂-Monitors steigern (siehe nochmals Abbildung 93). Die Intensität der Maßnahmen ganz allgemein scheint einen kleinen Einfluss zu haben.

Insgesamt ist aber eine hohe Vorsicht bei den Interpretationen geboten, da äußere Einflüsse wie z. B. das von den Medien mit hoher Aufmerksamkeit begleitete Klimaabkommen von Paris u. ä. auch einen Einfluss auf Einstellungen und Normen aufweisen dürften. Zudem konnten wegen fehlender Anwesenheitspflicht Studierende nicht in ausreichender Zahl in einer echten Messwiederholung befragt werden.

5.7.4 IP 3: Entwicklung eines Energieleitfadens

Im Rahmen der Interdisziplinären Projekte (IP) des Fachbereichs Wirtschaftsingenieurwesen an der HN wurde ein „Energieleitfaden“ entwickelt, der eine weitere Sensibilisierung des energiebezogenen Nutzungsverhaltens an den Campi Krefeld Süd und Krefeld West der Hochschule Niederrhein zum Ziel hatte (Aydemir, et al., 2015-2016). Das IP beinhaltete eine differenzierte Analyse der verschiedenen Raumbestände an den beiden Campi, um die Einsparpotenziale exemplarisch für eines der Gebäude (Gebäude B) zu errechnen. Differenziert nach Wärme und Strom sollten Energieverbrauch und Energiekosten anschaulich gemacht werden. Die effektivsten Maßnahmen sollten zielgruppenorientiert aufbereitet werden und durch Broschüren, Flyer, Poster, Infoscreens und in Quizform vermittelt werden (Aydemir, et al., 2015-2016). Das IP „Energieleitfaden“ wurde zusätzlich von Prof. Dr. Joachim Schettel begleitet.

Auf der Grundlage ausführlicher Literaturrecherchen insbesondere zum Projekt Change (Matthies, et al., 2011) sowie Vor-Ort-Begehungen zur Dokumentation der technischen Ausstattung der verschiedenen Raumtypen ermittelte die Projektgruppe die wesentlichen Einsparpotenziale des untersuchten Gebäudes. Danach können bis zu 18% Strom und 9% der Heizenergie durch Verhaltensänderungen eingespart werden. In Tabelle 67 sind die wesentlichen Energiesparmaßnahmen aufgeführt:

Tabelle 67: Energieeffizienzmaßnahmen nach Raumtyp und Einsparpotenziale

Raumtyp	Einsparpotenzial	Maßnahme
Alle	9%	Stoßlüften statt Kipplüften
	4-10%	Beleuchtung nur bei Bedarf einschalten
	6%	Raumtemperatur um 1°C senken (ideale Raumtemperatur 20 - 21°C)
Büroräume	14%	Abschalten technischer Geräte mittels Steckdosenleisten sowie Power-management am PC (Stand-by-Nutzung)
EDV-Labore	13%	Einschalten des PCs nur bei Bedarf (z. B. bei 15 min Theorieeinführung durch den Professor kann man den PC ausgeschaltet lassen)
Gänge, Treppenhäuser, Foyers	9%	Schließen der Türen zu Gängen, Räumen und außenliegenden Bereichen

In Anlehnung an das Projekt Change, (Matthies, et al., 2011), zitiert nach (Aydemir, et al., 2015-2016)

Anhand dieser Angaben wurden die Kosten und Einsparmöglichkeiten des Gebäudes B abgeschätzt, siehe Tabelle 68. Über das gesamte Gebäude B wurde ein Einsparpotenzial von 158.499 Euro ermittelt. Die Ergebnisse wurden für Informationsmaterialien aufbereitet und u. a. im Energiesparpaket für die Beschäftigten verwendet.

Tabelle 68: Einsparpotenziale der Hochschule Niederrhein in Krefeld in Euro

Einsparpotenzial in Euro pro Jahr	Raumtemperatur 1°C abgesenkt	Stoßlüften statt Fenster kippen	Licht aus beim Verlassen des Raumes	Alle Stromverbraucher ausschalten	Summe
Bürräume	4.513	6.778	19.061	41.400	71.752
Flure	6.378	9.579	5.835	0	21.792
Laborräume	2.841	4.267	5.057	13.150	2.5315
Seminarräume	2.399	3.603	1.167	0	7.169
Vorlesungssäle	5.629	8.454	7.780	0	21.863
Sonstige	4.240	6.368	0	0	10.608
Summe	26.000	39.049	38.900	54.550	158.499

Quelle: (Aydemir, et al., 2015-2016)

5.8 Interventionen bei den Hochschul-Beschäftigten

5.8.1 Überblick über die Messungen und Interventionen bei den Beschäftigten

Im Folgenden werden die Interventionen bei den Beschäftigten beider Hochschulen beschrieben. Nach einer Baseline-Erhebung mittels der Fragebögen EVE und UVE sollten erst Stromschulungen und anschließend jahreszeitgemäß Wärmeschulungen durchgeführt werden. Zusätzlich wurde an der Hochschule Niederrhein noch eine Intervention mit Energiesparpaketen durchgeführt (Sommer 2016). Jeweils im Anschluss wurden Erhebungen mit dem EVE durchgeführt, um Veränderungen in Einstellungen und Verhaltensintentionen festzustellen. Zur Orientierung über die Instrumente und Interventionen wird der Ablauf der Datenhebung in der nachfolgenden Tabelle 69 dargestellt.

Zudem wurde der Fragebogen UVE eingesetzt, der nach Umgebungsbedingungen und konkreten Verhaltensweisen zum Energiesparen von Personen sowie Daten zum Komfortempfinden erfragt. Über die Erhebung der Verhaltensweisen sollte die Wirksamkeit der Interventionen abgeschätzt werden.

Tabelle 69: Übersicht über die Interventions- und Erhebungszeitpunkte (Beschäftigte)

	HN	UCB
SS 13	Baseline UVE	
WS 13	Baseline 1 EVE	Baseline EVE und UVE
SS 14		Erhebung EVE und UVE
SS 14		Intervention Kurzschulung Strom
WS 14		Intervention Kurzschulung Wärme
WS 14		Interventionsmessung 1 EVE und UVE nach Strom und Wärme
SS 15	Baseline 2 EVE und UVE	Intervention Kurzschulung Strom
SS 15	Intervention Kurzschulung	Intervention Kurzschulung Wärme
WS 15	Intervention Türhänger	
WS 15	Interventionsmessung 1 EVE und UVE	Erhebung nach Intervention EVE und UVE
SS 16	Intervention Energiesparpaket	
SS 16	Interventionsmessung 2 EVE und Energiepaket	

An den Befragungen nahmen – aufgrund der Freiwilligkeit der Teilnahme – nicht immer die gleichen Personen teil. Es haben sich, an Zugehörigkeit und den Angaben zu den Räumen der Hochschule gemessen, recht unterschiedliche Personengruppen beteiligt (vgl. Tabelle 70). Durch die Codierung war nachvollziehbar, dass nur wenige Beschäftigte mehrfach an Befragungen teilnahmen. Dies ist nur teilweise mit Desinteresse zu erklären, sondern vielmehr durch befristete Stellen und Leiharbeit, die z. B. an der HN in dieser Zeit anstiegen. Ursache dafür waren die doppelten Abiturjahrgänge und das Aussetzen der Wehrpflicht, die zu einem massiven Anwachsen der Studierendenzahlen in NRW führten und damit auch zu einem Anwachsen der Beschäftigtenzahlen.

Tabelle 70: Altersstruktur der befragten Beschäftigten, ausgegebene Fragebögen EVE und Rücklauf (beide Hochschulen)

Befragungszeitpunkt	Ort	N	Altersstruktur Beschäftigte		Anzahl Fragebögen	
			MW	SD	Ausgabe	Rücklauf
WS 13 (Oktober/November)	HN	18	40,94	10,11	60	19
	UCB	14	39,36	11,73	28	14
SS 14 (April - Mai)	UCB	11	45,64	8,69	18	11
WS 14 (November - Januar)	UCB	8	44,50	10,99	20	8
SS 15 (März)	HN	16	45,62	9,91	45	16
WS 15 (November - Februar)	HN	23	41,73	9,74	45	23
	UCB	8	37,50	12,68	28	8
SS 16 (Mai - Juni)	HN	15	44,53	9,69	41	15

Der folgenden Tabelle 47 sind die Rücklaufquoten der Fragebögen UVE zu entnehmen. Der Rücklauf der ausgegebenen Fragebögen variiert erheblich zwischen 16,7% und 50%.

Tabelle 71: Ausgegebene Fragebögen UVE und Rücklauf (Beschäftigte beider Hochschulen)

Befragungszeitpunkt	Ort	Anzahl Fragebögen	
		Ausgabe	Rücklauf
SS 13 (Aug – Sep)	HN	60	22
WS13 (Nov - Jan)	HN	30	5
WS 13 (Nov - Jan)	UCB	28	14
SS 14 (Apr - Mai)	UCB	19	10
WS 14/15 (Jan)	UCB	30	10
SS 15 (März)	HN	45	16
WS 15/16 (Nov - Feb)	HN	45	20
WS 15/16 (Nov - Feb)	UCB	30	8
SS 16 (Mai - Jun)	HN	41	15

Angabe: Absolute Häufigkeiten

5.8.2 Vergleich der Einstellungen und Verhaltensintentionen bei den Beschäftigten beider Hochschulen – Baseline

Die Beschäftigten in einem ausgewählten Gebäude an beiden Hochschulstandorten wurden hinsichtlich energierelevanter Einstellungen und Verhaltensintentionen mit dem Fragebogen EVE befragt. An der HN waren dies das Gebäude A und am UCB das Fachbereichsverwaltungsgebäude.

An der HN wurden 19 Beschäftigte befragt, davon fünf Männer und 14 Frauen, das Durchschnittsalter betrug 40,94 (SD = 10,11). Am UCB wurden 14 Personen zur Erfassung der Baseline befragt, davon waren sechs männlich und acht weiblich. Das Durchschnittsalter dieser Beschäftigten war 39,36 Jahre (SD = 11,73).

Abbildung 98 beschreibt Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE) der Beschäftigten vor jeglichen Interventionen. An der HN wurden die Beschäftigten zweimal vor der ersten Intervention befragt. Dieser Umstand war dadurch bedingt, dass Verzögerungen durch die technischen Umrüstungen eintraten und der zeitliche Abstand zwischen der ersten Befragung im WS 2013 und dem Beginn der Interventionen im Sommer 2015 zu lang erschien, um eine Veränderungsmessung durchzuführen. Zudem fanden in dem betrachteten Gebäude zwischenzeitlich Umzüge statt, so dass angenommen werden musste, dass ein Großteil der zuvor befragten Beschäftigten nicht mehr in diesem Gebäude arbeitete. In diesem Zwischenraum wurde eine weitere Skala (Maßnahmen der Organisation) mit sieben Items in den Fragebogen EVE aufgenommen.

Es ist erkennbar, dass sich das Wissen bei den Beschäftigten der Hochschule Niederrhein über Energieverbrauch auf einem mittleren Niveau bewegt (MW = 3,1 in der Erhebung im Wintersemester 2013, MW = 3,4 in der Erhebung im Sommersemester 2015). Der Einfluss der Hochschulleitung zum Energiesparen wird von den Beschäftigten ebenfalls auf mittlerem Niveau mit MW = 3,7 bzw. MW = 3,8 bewertet. Eine hohe Zustimmung erhalten die Skalen positive Einstellung gegenüber Energiesparen (MW = 4,2 in beiden Befragungen) und personale Norm, also dem persönlichen Verantwortungsgefühl gegenüber Energiesparen (MW = 4,4 in der Erhebung im Wintersemester 2013, MW = 4,5 in der Erhebung im Sommersemester 2015). Ein Austausch über Energieverschwendung oder Interaktion mit Kollegen (Relevant Others) über Energieverschwendung wird als nur gering angegeben (MW = 2,2 in der Erhebung im Wintersemester 2013, MW = 2,4 in der Erhebung im Sommersemester 2015).

Das Wissen der Beschäftigten am UCB über Energieverbrauch bewegt sich auf einem ähnlichem Niveau (MW = 3,1) wie bei den Beschäftigten an der HN, wie auch der Einfluss der Hochschulleitung des UCB zum Energiesparen (MW = 3,7). Auch die Skalen positive Einstellung gegenüber Energiesparen (MW = 4,3) und personale Norm (MW = 4,5) werden ähnlich hoch bewertet wie an der HN. Relevante Andere haben nur einen geringen Einfluss auf die befragten Beschäftigten am UCB (MW = 2,2).

Vor Durchführung der ersten Interventionen fallen kaum Unterschiede zwischen Beschäftigten an der HN und am UCB hinsichtlich energierelevanter Verhaltensintentionen auf (Abbildung 98). Auch zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten an der Hochschule bestehen nur geringe Unterschiede, obwohl bedingt durch die Umzugsaktivitäten an der HN nur zu einem geringen Teil die gleichen Personen an den Befragungen teilnahmen. Die Beschäftigten in der Verwaltung, die an der Befragung teilnehmen, scheinen daher ähnliche Einstellungen aufzuweisen. Stärker sind die Unterschiede in der Verhaltensintention, die beim UCB unerwartet deutlich niedriger als an der HN ausfällt.

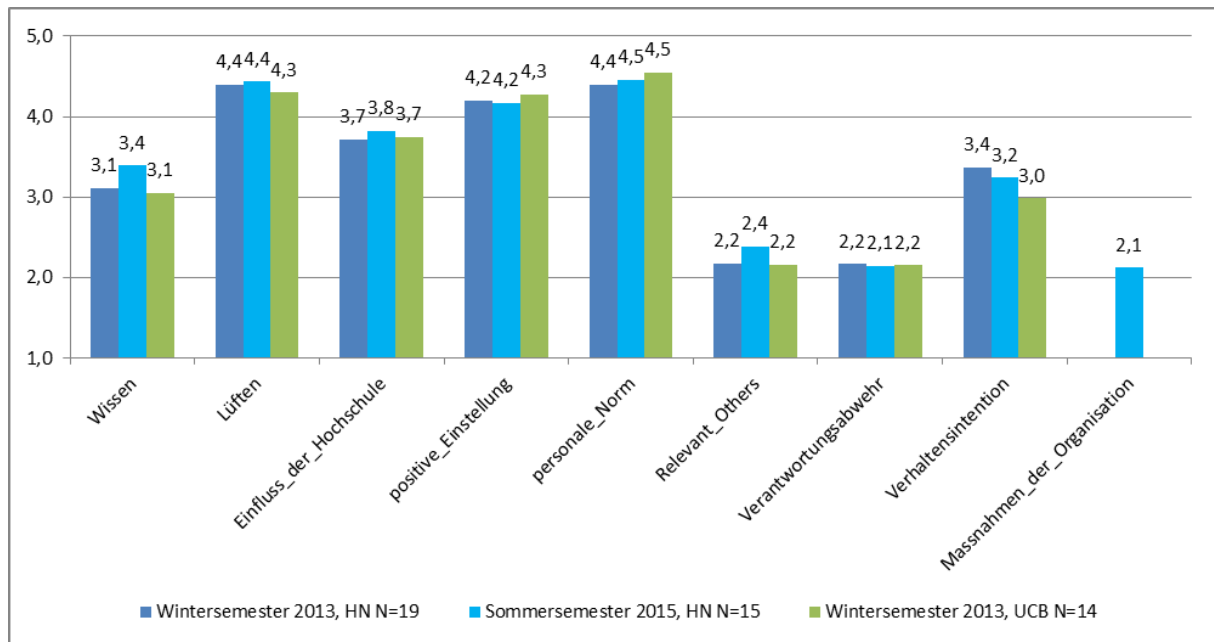


Abbildung 98: Skalenmittelwerte, EVE-Baseline-Befragungen (Beschäftigte beider Hochschulen)

Fünfstufige Skala mit den Ankerpunkten „1 = stimme gar nicht zu“ und „5 = stimme voll und ganz zu“

5.8.3 Intervention: Schulung mit Kleingruppenarbeit

Bei der Entwicklung des Schulungskonzepts für die Beschäftigten wurde berücksichtigt, dass die Teilnahme nur auf freiwilliger Basis erfolgen konnte. Es war daher ausdrücklich an interessierte Mitarbeitende als potenzielle Multiplikatoren gerichtet. Verwendet wurden didaktisch aufbereitete Materialien, wie sie in den Abschnitten 5.5 bzw. 5.8.6 beschrieben wurden. Die Schulungseinheiten sollten maximal eine Stunde dauern und die Informationen kompakt und schlüssig sein, um die begrenzten freien Kapazitäten der teilnehmenden Beschäftigten zu berücksichtigen, die kaum mit „stundenlangen Vorträgen eines Dozenten oder Trainers“ vereinbar sind (Döring, 2008, p. 56).

Ziel der Schulungen mit Powerpoint-Präsentationen zum Thema Energieeffizienz und anschließender Diskussion und Ideensammlung in Kleingruppen war es, die Multipli-

katoren im Dialog an der Interventionsplanung zu beteiligen und ihre Ideen und Vorschläge zu technischen und motivierenden Maßnahmen aufzugreifen, da sie ihre Arbeitsumgebung, Abläufe und Gepflogenheiten am besten kennen (siehe dazu auch Abschnitt 5.3.2.3, Partizipation). Die in der Kleingruppenarbeit entwickelten Maßnahmen sollten in den Arbeitsalltag übertragbar sein und durch die geschulten Multiplikatoren in ihren angestammten Arbeitsbereichen eingeführt werden.

Am UCB fanden insgesamt vier Schulungstermine statt: im Mai 2014 und Juni 2015 als Stromschulung mit neun bzw. drei Teilnehmenden und im Oktober 2014 sowie Oktober 2015 zu Beginn der Heizperiode als Wärmeschulung zu korrektem Heizverhalten mit je drei Teilnehmenden (jeweils nach mehrmaliger Erinnerung). Jeweils anschließend wurden Erhebungen mit dem Fragebogen EVE durchgeführt.

An der Hochschule Niederrhein wurde im WS 2015 die erste Kleingruppen-Stromschulung für Beschäftigte als Informationsveranstaltung angeboten. Der mehrfachen Einladung folgte jedoch nur eine einzelne Mitarbeiterin. Parallel dazu wurden in den Verwaltungsbereichen der Gebäude A und F die informativen REGENA-Plakate an nach Sicherheitsaspekten ausgewählten Stellen angebracht. Als Konsequenz auf die fehlende Nachfrage zur Schulung erhielten die Beschäftigten die Schulungsunterlagen per Rundschreiben in schriftlicher Form. Die Anchlusserhebung mit dem Fragebogen EVE entfiel.

Dem Engagement Interessierter und der Übernahme von Verantwortung stehen auch Stellenwechsel und hohe Workload entgegen. Es erscheint an dieser Stelle fraglich, ob ein Multiplikatoren-Modell ohne umfassende strukturelle Unterstützung der Organisation funktionieren kann. Eine grundlegende Implementierung von Energieeffizienz müsste organisatorische Anpassungen auf allen (personellen) Ebenen, konkrete Integration in die regulären Arbeitsabläufe, Stellenbeschreibungen und Leitlinien und Bereitstellung der erforderlichen zeitlichen und informationellen Ressourcen beinhalten.

5.8.4 Veränderungen von Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE) nach den Interventionen bei den Beschäftigten

Es wurden Unterschiede der Skalenmittelwerte des EVE mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse berechnet. Die Beschäftigten am UCB wurden dazu im WS 2013 vor der ersten Stromschulung, im WS 2014 nach der ersten Stromschulung und der ersten Wärmeschulung und erneut im WS 2015 nach der zweiten Stromschulung und der zweiten Wärmeschulung befragt. Es fanden also zweimal zwei Interventionen zwischen den Befragungen statt. Im SS 2014 fand eine zusätzliche Erhebung mit dem Fragebogen EVE am UCB statt, es wurden elf Beschäftigte befragt. Diese Datensätze können bei der Bewertung des Interventionserfolges leider nicht herangezogen werden, weil die Erhebung kurz vor der ersten Intervention stattfand, die Berücksichtigung wäre nur sinnvoll, wenn die Erhebung kurz nach der Intervention stattgefunden hätte.

Ergebnisse an der Hochschule Niederrhein (HN)

Aufgrund der geringen Resonanz der Beschäftigten an der Hochschule Niederrhein erfolgte keine EVE-Befragung und Auswertung zur Intervention „Kleingruppenarbeit“, sondern erst wieder im Anschluss an die Interventionen „Info-Plakate“ und „Türhänger“.

Ergebnisse am Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB)

Betrachtet man die Daten, so zeigt sich zwischen der Baseline-Messung und nach der ersten und der zweiten Schulung am UCB eine Zunahme auf den meisten Skalen (Wissen, Einstellungen, soziale Norm und Verhaltensintention, siehe Abbildung 99). Danach scheint eine Art „Ermüdung“ aufzutreten, u. a. mit einem Absinken der Werte von Motivation und sozialer Norm. Signifikant werden die Unterschiede, auch bedingt durch die geringen Stichprobengrößen, lediglich bei der Skala Wissen (das Wissen über umweltgerechtes Verhalten) hat im Vergleich zum WS 2013 (Basislinie) zugenommen $F(3,38) = 6,70, p = 0,001$. In Tabelle 72 bzw. Abbildung 99 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA dargestellt. Nach Prüfung mittels Tukey-HSD-Test und Bonferroni-Korrektur wird deutlich, dass nur die Wissenszunahme zwischen dem WS 2013 und dem WS 2014 signifikant ist.

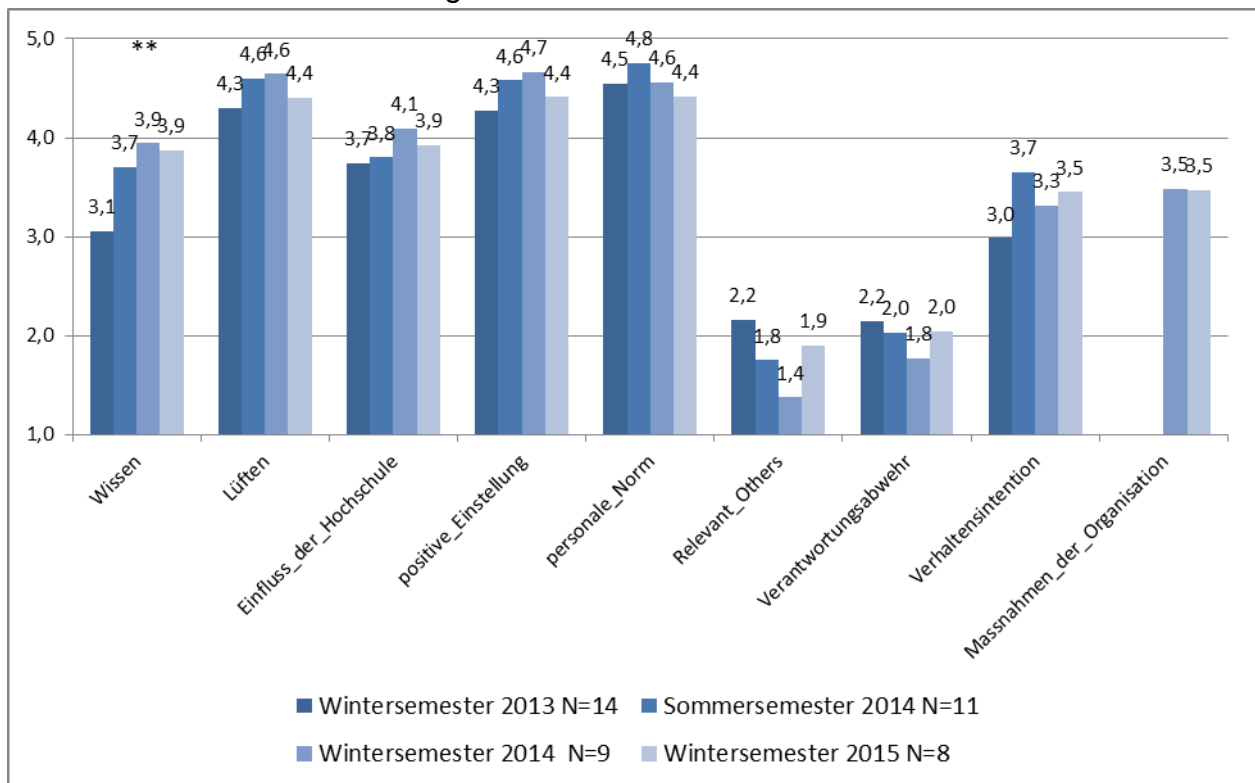


Abbildung 99: Darstellung aller erhobenen Skalenmittelwerte bei Beschäftigten mit dem Fragebogen EVE am UCB

Fünfstufige Skala mit den Ankerpunkten „1 = stimme gar nicht zu“ und „5 = stimme voll und ganz zu; ** signifikant auf 1%-Niveau

Tabelle 72: Einfaktorielle ANOVA, Einstellungen und Verhaltensintentionen zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten (EVE, Hochschul-Beschäftigte, UCB)

UCB	WS 13		SS 14		WS 14		WS 15		F-Wert	Signifikanz
	N=14		N=11		N=8		N=8			
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD		
Wissen	3,05	0,44	3,70	0,46	3,94	0,69	3,88	0,63	F(3,38)=6,70	0,001 **
Lüften	4,30	0,52	4,60	0,32	4,64	0,40	4,40	0,55	F(3,38)=1,44	0,247
Einfluss der Hochschule	3,74	0,79	3,80	0,77	4,09	0,66	3,93	0,55	F(3,38)=0,47	0,706
positive Einstellung	4,28	0,55	4,58	0,41	4,67	0,41	4,46	0,50	F(3,38)=1,46	0,242
personale Norm	4,55	0,43	4,76	0,26	4,56	0,44	4,42	0,64	F(3,38)=0,99	0,408
Relevant Others	2,16	0,96	1,75	0,82	1,38	0,39	1,90	0,43	F(3,38)=2,06	0,122
Verantwortungsabwehr	2,15	0,40	2,03	0,45	1,77	0,44	2,05	0,58	F(3,38)=1,29	0,293
Verhaltensintention	2,98	0,78	3,65	0,40	3,31	0,71	3,45	0,70	F(3,37)=2,12	0,114
Maßnahmen der Organisation	nicht erhoben		nicht erhoben		3,48	0,64	3,47	0,33	F(1,15)=0,003	0,956

Fünfstufige Skala mit den Ankerpunkten „1 = stimme gar nicht zu“ und „5 = stimme voll und ganz zu, ** signifikant auf 1%-Niveau

5.8.5 Intervention Stromschulung und Anbringen von Türhängern

Eine weitere Intervention erfolgte im Dezember 2015 an der Hochschule Niederrhein über einen Türhänger, der gebäudespezifische Spartipps beinhaltete. Die Türhänger wurden vor dem morgendlichen Eintreffen der Beschäftigten außen an den Türen angebracht, so dass man sie in der Regel in die Hand nehmen musste. Die Türhänger erzeugten, wie sich über spontane und erfreute Rückmeldungen der Beschäftigten an die Forschergruppe zeigte, eine hohe Aufmerksamkeit. Sie erscheinen geeigneter als Plakate und Prompts, um Aufmerksamkeit zu erzeugen. Diese positive Rückmeldung war auch Anlass für die nächste Intervention.

Bei den Beschäftigten der HN, die die Türhänger erhielten, wurde im Januar 2016 (WS 2015) eine Erhebung mit dem Fragebogen EVE durchgeführt. Es beantworteten 23 Personen den Fragebogen EVE, davon waren sechs Personen männlich und 17 weiblich. Das Durchschnittsalter der Befragten war 41,73 (SD = 9,74). Es wurden insgesamt 45 Fragebögen verteilt, die Rücklaufquote betrug damit 51%.

Es wurden Unterschiede der Skalenmittelwerte mittels eines t-Tests berechnet. Zur Messung von Veränderungen wurden die EVE-Daten aus dem SS 2015 vor der Strom-Informationsveranstaltung und die EVE-Daten aus dem WS 2015 nach Verteilung der Türhänger miteinander verglichen. Da Klagen über die Vielzahl der Befragungen laut wurden, wurde unmittelbar nach der Schulung (zu der ohnehin nur eine Teilnehmerin erschien) keine Messung durchgeführt. Die Ergebnisse beziehen sich demnach auf eine Intervention, die die Wirkung von Schulungsunterlagen und Türhängern zusammen betrachtet.

Doch finden sich wiederum bei den Beschäftigten keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich energierelevanter Einstellungen und Verhaltensintentionen. Eine Ausnahme bildet dabei die Wahrnehmung von Maßnahmen, die die Organisation Hochschule vornimmt (vgl. Abbildung 100, Tabelle 73). Die Türhänger wurden als Maßnahmen der Organisation wahrgenommen.

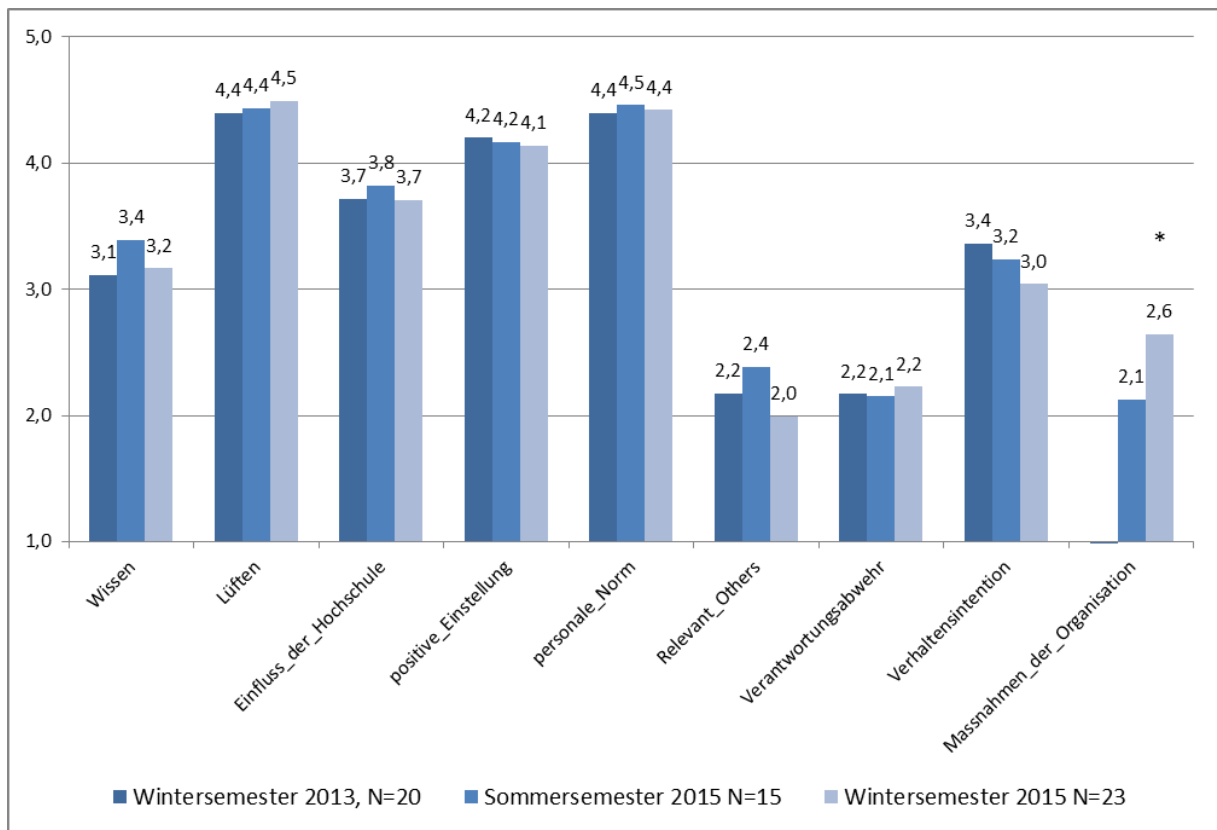


Abbildung 100: Skalenmittelwerte Fragebogen EVE der Befragungen bis zum Wintersemester 2015 (nach Verteilung der Türhänger), Beschäftigte der Hochschule Niederrhein

Fünfstufige Skala mit den Ankerpunkten „1 = stimme gar nicht zu“ und „5 = stimme voll und ganz zu; * signifikant auf 5%-Niveau

Die Datenerhebung im Sommersemester 2015 fand vor der Stromschulung statt. Überraschenderweise hat genau in jener Erhebung das Wissen der Befragten zugenommen und nahm anschließend nach der Erhebung im Wintersemester 2015 wieder ab. Das Wissen um korrektes Lüftungsverhalten hat sich nicht verändert. Es sind weiterhin keine Veränderungen in den Skalen „Einfluss der Hochschule“, „positive Einstellung“ „personale Norm“ und „Verantwortungsabwehr“ zu beobachten. Relevante Andere nahmen in der Erhebung im Sommersemester einen höheren Stellenwert ein als in den anderen beiden Erhebungen, jedoch könnte allein die vorherige Ankündigung der geplanten Schulung ursächlich hierfür sein. Die Verhaltensintention nahm bei den Befragten sogar ab (vgl. Abbildung 100).

Tabelle 73: t-Test, Wirksamkeit von Schulungsunterlagen und Türhängern bei Beschäftigten der Hochschule Niederrhein (Vergleich vor und nach Türhängern)

HN	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	T	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	SS 15	16	3,39	1,04	0,31
	WS 15	23	3,17		
Lüften	SS 15	16	4,43	-0,39	0,70
	WS 15	23	4,50		
Einfluss der Hochschule	SS 15	16	3,83	0,59	0,56
	WS 15	23	3,70		
positive Einstellung	SS 15	16	4,17	0,20	0,85
	WS 15	23	4,14		
personale Norm	SS 15	16	4,46	0,24	0,81
	WS 15	23	4,42		
Relevant Others	SS 15	15	2,39	1,19	0,24
	WS 15	23	1,99		
Verantwortungsabwehr	SS 15	16	2,15	-0,52	0,61
	WS 15	23	2,23		
Verhaltensintention	SS 15	15	3,24	0,76	0,45
	WS 15	23	3,04		
Maßnahmen der Organisation	SS 15	15	2,12	-2,44	0,02 *
	WS 15	23	2,65		

5.8.6 Evaluation des Energiesparpakets: Neue Informationsmaterialien und Zugangswege für die Beschäftigten

Ausgehend von der geringen Beteiligung der Verwaltungsbeschäftigten an den angebotenen Schulungen wurde im Laufe des Projektes an der HN die Entscheidung getroffen, eine weitere Interventionsphase kurz vor Abschluss des Projektes zu organisieren, auch weil einzelne Beschäftigte ihr Interesse an den Themen ausdrücklich signalisierten. Im Wintersemester 2015/2016 wurden von Studierenden in einer Interdisziplinären Projektarbeit (IP 3) u. a. Flyer und Broschüren mit zielgruppenspezifischer Ansprache sowie Inhalte zum Einsatz auf Infoscreens in den öffentlichen Bereichen der Hochschule Niederrhein erarbeitet und weiterentwickelt. Die Ergebnisse wurden für eine weitere Intervention angepasst und durch das Referat Hochschulkommunikation professionell aufbereitet, so z. B. der Flyer „Energieleitfaden“.

5.8.6.1 Methodik und Zielgruppe

Wie aus den Ergebnissen der Erhebungen mit dem Fragebogen UVE deutlich wurde, sind nicht in allen Büroräumen der Verwaltung von vornherein abschaltbare Steckdosenleisten installiert. Es wurde ein „Energiesparpaket“ zusammengestellt, bestehend aus einer Stofftasche mit aufgedruckten REGENA-Piktogrammen zum Thema Energieeffizienz, die den Beschäftigten bereits von Plakaten und Aufklebern bekannt sind. Diese mit einem Türhänger, Flyer, Prompts und der Elektroleiste ausgestatteten Taschen wurden an 59 Verwaltungsmitarbeiterinnen und -mitarbeiter ausgegeben.

Die Beschäftigten an der HN wurden im Wintersemester 2015 nach Verteilung der Türhänger und erneut nach dem Erhalt der Energiesparpakete im Sommersemester 2016 befragt. Es wurden 41 Fragebögen EVE verteilt, den 15 Beschäftigte beantworteten, die zuvor das Paket erhielten. Doch finden sich bei den Beschäftigten keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich energierelevanter Einstellungen und Verhaltensintentionen.

5.8.6.2 Veränderungen von Einstellungen und Verhalten vor und nach dem Verteilen des Energiesparpakets

Es wurden Unterschiede der Skalenmittelwerte mittels eines t-Tests berechnet (siehe Tabelle 74). Wie bereits zuvor beschrieben, hat genau in jener Erhebung vor der Stromschulung im Sommersemester 2015 das Wissen der Befragten zugenommen und nahm anschließend nach der Erhebung im Wintersemester 2015 wieder ab.

Tabelle 74: t-Test, Wirksamkeit der Intervention „Energiesparpaket“ bei Beschäftigten der Hochschule Niederrhein (Vergleich nach Türhängern und nach Energiesparpaket)

HN	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	T	Signifikanz (2-seitig)
Wissen	WS 15	23	3,17	-1,15	0,26
	SS 16	15	3,41		
Lüften	WS 15	23	4,50	-0,05	0,96
	SS 16	15	4,50		
Einfluss der Hochschule	WS 15	23	3,70	-0,46	0,65
	SS 16	15	3,80		
positive Einstellung	WS 15	23	4,14	-1,45	0,16
	SS 16	15	4,38		
personale Norm	WS 15	23	4,42	0,36	0,72
	SS 16	15	4,36		
Relevant Others	WS 15	23	1,99	-0,26	0,80
	SS 16	15	2,08		
Verantwortungsabwehr	WS 15	23	2,23	0,97	0,34
	SS 16	15	2,08		
Verhaltensintention	WS 15	23	3,04	-0,29	0,78
	SS 16	15	3,11		

HN	Erhebungszeitpunkt	N	Mittelwert	T	Signifikanz (2-seitig)
Maßnahmen der Organisation	WS 15	23	2,65	-0,24	0,81
	SS 16	15	2,70		

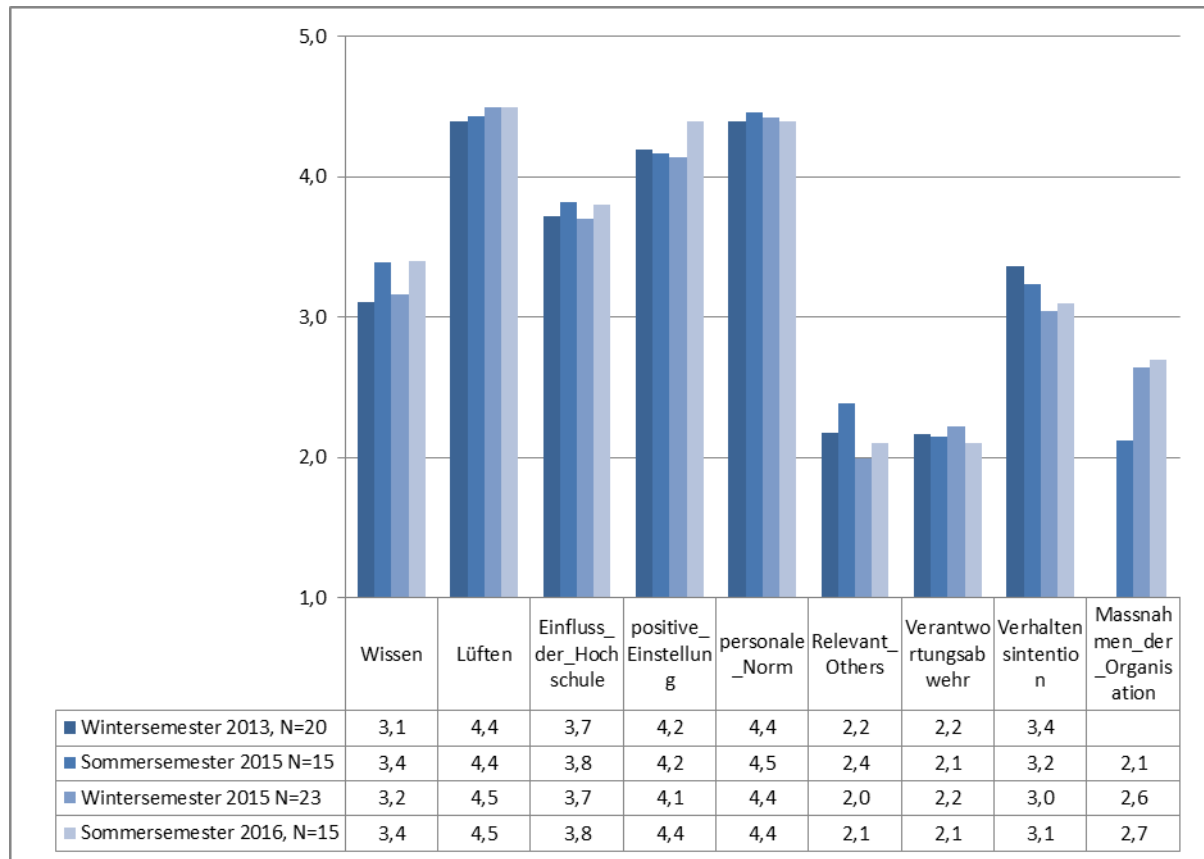


Abbildung 101: Darstellung aller erhobenen Skalenmittelwerte bei Beschäftigten mit dem Fragebogen EVE an der Hochschule Niederrhein

Nach der Verteilung des Energiesparpakets stieg das Wissen erneut auf ein ähnliches Niveau an, welches vor der Stromschulung vorlag. Das Wissen um korrektes Lüftungsverhalten hat sich kaum verändert. Die Skala „positive Einstellung“ hat in der Erhebung nach Verteilung des Energiesparpakets zugenommen, jedoch ist dieser Anstieg nicht signifikant. Es sind weiterhin keine Veränderungen in den Skalen „Einfluss der Hochschule“, „personale Norm“ und „Verantwortungsabwehr“ zu beobachten. Relevante Andere nahmen in der Erhebung im Sommersemester 2016 wieder einen geringfügig höheren Stellenwert ein als in den Erhebungen in den Wintersemestern, erreichen jedoch nicht mehr den Wert aus dem Sommersemester 2015. Die Verhaltensintention, künftig energiesparende Geräte zu beschaffen, nahm zwischenzeitlich bei den Befragten sogar ab und stieg nur geringfügig wieder an. Ein weiterer, aber nicht signifikanter Anstieg zeigt sich bei der Skala „Maßnahmen der Organisation“. In der Wahrnehmung der Befragten wurde das Energiesparpaket nicht dem Pro-

jekt REGENA zugeordnet, sondern als Maßnahmen der Organisation Hochschule zugeordnet (vgl. Abbildung 101).

Erste spontane Rückmeldungen beim Verteilen der Pakete beinhalteten, dass man sich schon viel früher derartige Impulse gewünscht hätte. Gleichzeitig wurde aber auch kritisch angemerkt, dass derartige Interventionen nicht aus dem Projekt, sondern vielmehr aus der Hochschule selbst erfolgen sollten.

5.8.6.3 Veränderungen der Stromdaten vor und nach dem Verteilen des Energiesparpakets

Es interessieren aber nicht nur die Einstellungen und Veränderungsbereitschaft, sondern tatsächliche Energieeinsparungen. Daher wurden die Stromverbräuche nochmals gesondert betrachtet. Über eine konsequente Nutzung der Steckerleisten bei allen Beschäftigten sollte eine Energieeinsparung auftreten.

Die Messungen wurden aufgeteilt auf drei verschiedene Bereiche. Diese Bereiche entfallen allesamt auf die Büros der Beschäftigten der HN und die dazugehörigen Flure. Aus datenschutztechnischen Gründen werden die Bereiche im Folgenden Bereich 1, 2 und 3 (B1, B2 und B3) genannt (Tabelle 75: Übersicht Flächen der verschiedenen Bereiche).

Tabelle 75: Übersicht Flächen der verschiedenen Bereiche

Bereichsbezeichnung	Fläche (m ²)
B1	387,35
B2	328,55
B3	695,04

Zum Zeitpunkt der Verteilung der Energiesparpakete I ergaben sich wieder Schwierigkeiten mit der Datenübertragung. Vom 1.5.2016 bis 20.6.2016 wurden keine Daten weitergeleitet, was zunächst nicht bemerkt wurde: Da die INES-Boxen ohne einen hohen Zeitaufwand nicht mehr funktionstüchtig gemacht werden konnte, wurden ab dem 21.6.2016 die Werte wöchentlich manuell abgelesen. Über die Gesamtverbräuche für den Zeitraum können die fehlenden Daten geschätzt werden.

Für die statistische Analyse wurde der Gesamtverbrauch von Mai und Juni für die einzelnen Messgeräte anteilmäßig auf die beiden Monate geschätzt. Verschiedene statistische Verfahren wurden nach ihrer Reliabilität bewertet. Die beste Näherung wurde durch eine lineare Regression erreicht. Die ermittelten Werte wurden anschließend mit dem ermittelten Verbrauchsfaktor multipliziert, sodass sie summiert dem Gesamtverbrauch der beiden Monate entsprechen. Die Monitoringphase endete

am 29.07.2016 mit der letzten manuellen Ablesung der Zählerstände. Im Anschluss folgte der Vergleich der Energieverbräuche mit den vorangegangenen Jahren. Hierdurch soll Aufschluss darüber erlangt werden, ob die letzte Intervention mit den Energiesparpakten, die eine abschaltbare Steckerleiste enthalten, zu messbaren Einsparungen geführt haben.

Die Verbräuche elektrischen Stroms wurden in den Monaten Januar bis Juli 2016 mit den entsprechenden Monaten des Vorjahres verglichen. Es war schnell erkenntlich, dass die angestrebte Senkung des elektrischen Energieverbrauchs nicht erreicht wurde. In der folgenden Abbildung Abbildung 102: Verbrauchsgegenüberstellung des Stroms an der HN 2015/2016 sind die Entwicklungen der einzelnen Bereiche graphisch dargestellt:

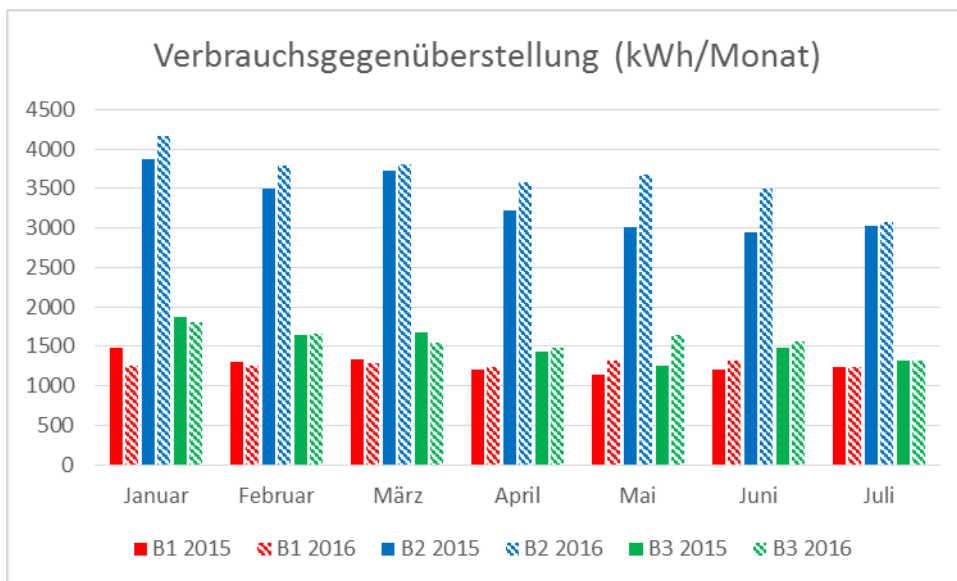


Abbildung 102: Verbrauchsgegenüberstellung des Stroms an der HN 2015/2016

Wie zu erkennen ist, ist der monatliche Energieverbrauch in den meisten Fällen gestiegen. Auffällig ist hierbei, dass dies im Bereich B2 durchgehend der Fall ist. Der Verbrauch in den Monaten April bis Juni – also den Monaten, in denen man eine Verminderung erwarten hätte sollen) ist in allen Bereichen gestiegen (Tabelle 76: Übersicht Stromverbrauch HN).

Betrachtet man die unterschiedlichen Bereiche getrennt voneinander, so wird deutlich, dass Bereich 2 ein viel größeres Verhältnis von Energieverbrauch zu Fläche hat. Dies liegt daran, dass der Bereich anders als Bereich 1 und 3 keine Flure umfasst, sondern nur Büros. Büros weisen aufgrund der Vielzahl an elektrischen Geräten eine deutlich höhere Energienutzungsdichte auf (Abbildung 103: Flächen- und Verbrauchsanteile an der HN 2016).

Tabelle 76: Übersicht Stromverbrauch HN

Monat	Stromverbrauch 2015 (kWh)	Stromverbrauch 2016 (kWh)	Prozentuale Veränderung zu 2015 (%)	Prozentuale Veränderung zum Vormonat (%)
Jan	7230,88	7231,32	+0,01	
Feb	6439,68	6705,08	+4,12	-0,073
Mär	6724,84	6640,28	-1,26	-0,010
Apr	5872,52	6292,71	+7,16	-0,052
Mai	5398,08	6654,03	+23,27	0,057
Jun	5628,92	6374,26	+13,24	-0,042
Jul	5586,00	5619,93	+0,61	-0,118
SUMME	42880,92	45517,61	+6,15	

FLÄCHEN- & VERBRAUCHSANTEILE

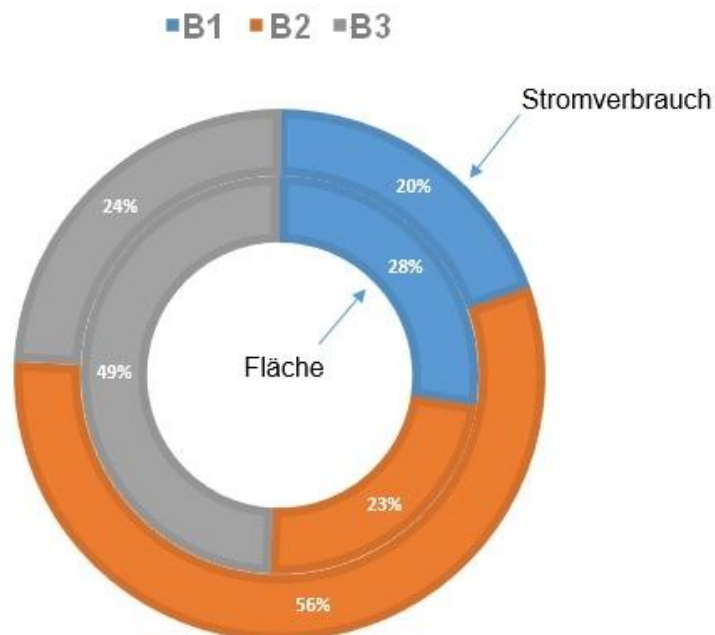


Abbildung 103: Flächen- und Verbrauchsanteile an der HN 2016

Vergleicht man die Monate Januar bis Juli der Jahre 2015 und 2016, erkennt man, dass der beobachtete Stromverbrauch in allen Bereichen zusammen um 6,15% gegenüber dem Vorjahr gestiegen ist. Besonders auffällig ist dies für April, Mai und Ju-

ni. Betrachtet man die Daten nur innerhalb des Jahres 2016 für die Monate Januar bis Juli so sind die Änderungen im Verhalten so gering, dass man keinerlei Effekte durch die Intervention mit den Energiesparpaketen annehmen darf.

Dass die Energieverbräuche trotz der Interventionsmaßnahmen gestiegen sind, erscheint widersprüchlich. Das Wetter kann das Nutzerverhalten in Bezug auf elektrischen Strom stark beeinflussen. Durch geringere Sonnenstunden können die Nutzungszeiten elektrischer Beleuchtung zunehmen und durch niedrigere Temperaturen werden eventuell elektrische Heizlüfter in den Räumlichkeiten der Hochschule verwendet.

Tabelle 77: Wetterdaten Krefeld

Monat	Ø Temperatur 2015 (°C)	Ø Temperatur 2016 (°C)	Sonnenstunden 2015	Sonnenstunden 2016
Jan	3,7	4,7	38,5	62,5
Feb	3,1	4,6	90,7	79,6
Mär	6,4	5,3	125,4	111,3
Apr	9,7	9,3	222,4	162,6
Mai	13,3	15,1	190,2	202,1
Jun	16,9	17,5	227,3	137,3
Jul	19,8	19,5	206,9	192

Wie jedoch Tabelle 77: Wetterdaten Krefeld zu entnehmen ist, gibt es beim Vergleich der Jahre 2015 und 2016 kaum Unterschiede. Lediglich im Juni 2016 waren deutlich weniger Sonnenstunden als im Vorjahr, was zu erhöhter Beleuchtungsnutzung geführt haben kann. Zur Überprüfung dieser Theorie wurde dreimal bei bewölktem Wetter 11.00 Uhr morgens und dreimal bei sonnigem Wetter 11.00 Uhr morgens nachträglich beobachtet, wie sich das Nutzerverhalten in Bezug auf die Beleuchtung an sonnigen und bewölkten Tagen unterscheidet. Das Ergebnis ist, dass an bewölkten Tagen deutlich häufiger tagsüber Licht genutzt wird. Auch abends bleibt dann häufiger die Beleuchtung an und brennt dann die gesamte Nacht (Erhebung: 20.45 Uhr). Dieser Unterschied ist nicht zu vernachlässigen und sollte ein Hauptgrund für den gestiegenen Energieverbrauch sein (Siehe Tabelle 78: Anzahl der Räume mit und ohne Beleuchtung). Diese im Projektverlauf letzte Erhebung zeigt also, dass auch niedrigschwellige Angebote, die eine leichte Veränderung möglich machen sollten, nicht wirksam sind.

Tabelle 78: Anzahl der Räume mit und ohne Beleuchtung

	Räume mit Beleuchtung (Anzahl)	Räume ohne Beleuchtung (Anzahl)	nicht erfassbare Räume (Anzahl)	Räume, in denen abends das Licht angelassen wurde (Anzahl)
1. sonniger Tag	6	15	20	
2. sonniger Tag	7	16	18	1
3. sonniger Tag	7	14	19	
1. bewölkter Tag	13	9	18	1
2. bewölkter Tag	16	6	18	2
3. bewölkter Tag	15	5	20	

5.8.7 Umgebung und Veränderungen der Verhaltensweisen der Beschäftigten: Die Auswertungen der Befragungen mit dem UVE

An der HN wurden bei den Beschäftigten von Sommer 2013 bis Sommer 2016 fünf Erhebungen mit dem Fragebogen UVE durchgeführt, am UCB wurden ebenfalls 5 Erhebungen zwischen Winter 2013/2014 und Winter 2015/2016 durchgeführt. In Tabelle 71 sind die Anzahl der ausgegebenen Fragebögen und der Rücklauf der verwertbaren Fragebögen ersichtlich.

Auch die Anzahl variierte sehr, so dass keine inferenzstatistischen Auswertungen über die Erhebungszeitpunkte durchgeführt wurden. Die Anzahl schwankte zwischen 5 und 22 und Fragebögen.

In den nun folgenden Tabellen und Abbildungen wird als N immer die Anzahl des Rücklaufs angegeben. Missings und „Nein“-Antworten werden nicht extra gekennzeichnet, sondern nur „Ja“ bzw. Zustimmung-Antworten, um die Tabellen nicht zu unübersichtlich zu gestalten. Bedingt durch die geringen Teilnahmezahlen an den Befragungen wird hier auch auf jegliche induktive Statistik verzichtet.

5.8.7.1 Personenmerkmale der befragten Beschäftigten

Die durchschnittliche Beschäftigungsdauer der Befragten an der HN über alle Messzeitpunkte berechnet betrug 6,4 Jahre (SD = 12,0) bzw. am UCB 14,4 Jahre (SD = 23,2). Die Beschäftigungsdauer der Befragten, die bisherige Aufenthaltsdauer im derzeit genutzten Gebäude und die Wochenarbeitszeiten zu den Messzeitpunkten ist Abbildung 104 zu entnehmen.

Die Anzahl der Stunden, die am Arbeitsplatz verbracht wird, variiert beträchtlich. Anwesenheitszeiten unter 30 Stunden die Woche deuten auf einen hohen Anteil an Frauen und/oder wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter hin. Andere Personenmerkmale wurden aus Datenschutzgründen nicht erhoben, da durch eine Kombination von Daten eine Individualisierbarkeit möglich schien.

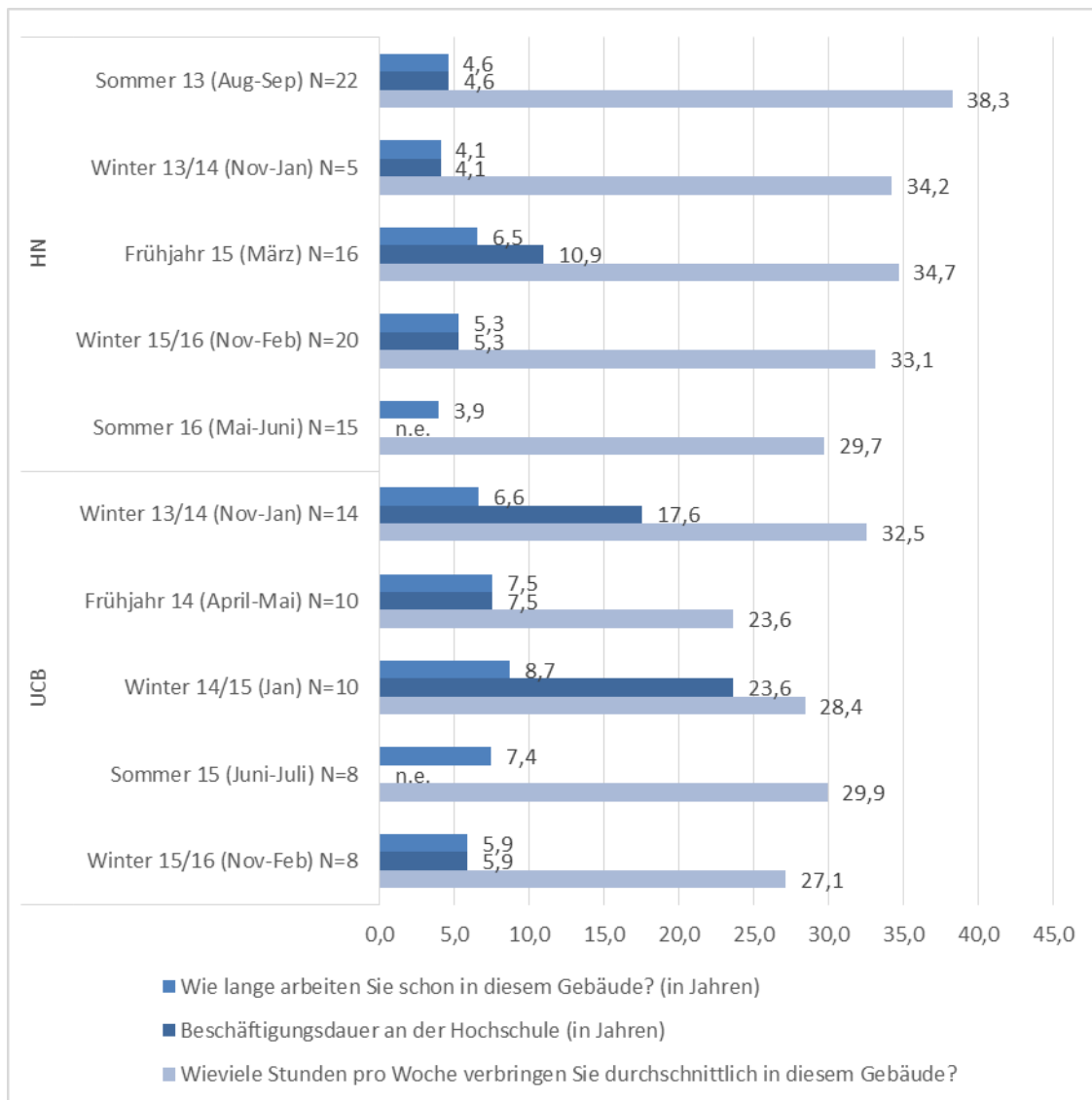


Abbildung 104: Zeiträume Gebäudenutzung, Beschäftigung und Wochenarbeitszeit

5.8.7.2 Wahrnehmung des Projektes REGENA bei den Beschäftigten

Es gab Angebote für die Beschäftigten, sich über Energieeffizienz zu informieren. Schulungen, Informationsfolien, Plakate und Prompts, die in den Gebäuden verteilt wurden, sollten Aufmerksamkeit für das Thema Energieeffizienz erzeugen und Verhaltensänderungen initiieren. Von den Befragten gaben nur wenige an, dass sie an Schulungen teilnahmen oder die per E-Mail versandten Informationsmaterialien gelesen hätten. So berichteten an der HN zwei Personen im Winter 2015/2016 und sechs Personen im Sommer 2016, an Stromschulungen teilgenommen zu haben; die Teilnahme an einer Wärmeschulung berichteten acht bzw. neun Personen. Ähnlich se-

hen die Daten bei den Beschäftigten des UCB aus. Die informativen Plakate zum Wärme- und Stromsparen wurden stärker wahrgenommen (Tabelle 79). Diese Art der Information erreichte immerhin 50% bis 85% der Befragten an der HN und 70% bis 100% der Befragten am UCB. E-Mails scheinen als Informationsmedium weniger effektiv zu sein als die „analogen“ Plakate und Prompts.

Tabelle 79: Wahrnehmung der Informationsangebote zum Energiesparen

Informations- angebot	HN		UCB		
	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
	N=20	N=15	N=10	N=8	N=8
Stromschulung	2	6	3	5	6
Wärmeschulung	8	9	1	5	5
REGENA-Hinweise im Gebäude	10	13	7		7

Angaben: Anzahl der Teilnehmenden, absolute Häufigkeiten

5.8.7.3 Räumliche Umgebungsbedingungen der Arbeitsbereiche

Die Zahl der Beschäftigten in den Räumen unterscheidet sich zwischen HN und UCB. So sind an der HN Einzel-, Zweier- oder auch Gruppenbüros üblich, die bis zu 10 Personen im Raum umfassen können. Die mittlere Zahl an Personen in Büros schwankt zwischen zwei und 4,7 Personen bei der HN. Dagegen sind am UCB überwiegend Einzelbüros, selten Zweierbüros üblich (Abbildung 105: Anzahl der Beschäftigten in den Büros). Gruppenbüros bieten in der Regel durch eine effizientere Auslastung der Fläche auch energetische Vorteile, jedoch oft einhergehend mit höherem Geräuschpegel und eingeschränkten Möglichkeiten, die Raumtemperatur den eigenen Bedürfnissen anzupassen, sodass das allgemeine Wohlbefinden beeinträchtigt sein kann.

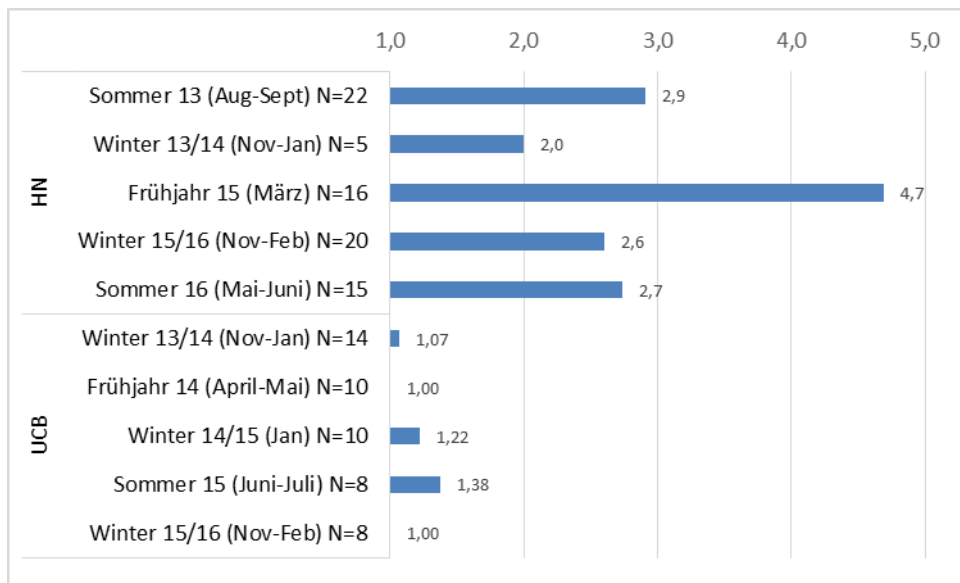


Abbildung 105: Anzahl der Beschäftigten in den Büros

Angaben: Absolute Häufigkeiten

Tabelle 80 gibt die räumlichen Umgebungsbedingungen an den beiden Hochschulstandorten wieder. An der Hochschule Niederrhein (HN) wie auch beim Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) waren nahezu alle Befragten in Büroräumen untergebracht und nur wenige waren zusätzlich in einem Labor oder in Seminarräumen tätig.

Tabelle 80: Arbeitsräume der Beschäftigten der Hochschule Niederrhein

HN		Sommer 13 (Aug-Sept) N=22	Winter 13/14 (Nov-Jan) N=5	Frühjahr 15 (März) N=16	Winter 15/16 (Nov-Feb) N=20	Sommer 16 (Mai-Juni) N=15
Büro	ja	22	5	16	20	15
Seminarraum	ja	1	0	0	1	0
Labor	ja	1	0	0	0	0
Etage Arbeitsraum	EG	10	0	11	10	3
	1. OG	12	5	5	9	12
Himmels- richtung Fenster	Ost	7	0	5	7	8
	Süd	2	0	2	1	1
	West	10	5	6	8	4
	Nord	3	0	3	4	2

Angaben: Absolute Häufigkeiten

Tabelle 81: Arbeitsräume der Beschäftigten am Umwelt-Campus Birkenfeld

UCB		Winter 13/14 (Nov-Jan) N=14	Frühjahr 14 (April-Mai) N=10	Winter 14/15 (Jan) N=10	Sommer 15 (Juni-Juli) N=8	Winter 15/16 (Nov-Feb) N=8
Büro	ja	13	10	8	8	8
Seminarraum	ja	2	7	1	1	1
Labor	ja	0	1	1	0	1
Etage Arbeitsraum	EG	10	6	8	7	8
	1. OG	4	4	0	1	0
Himmels- richtung Fenster	Ost	3	5	2	0	2
	Süd	0	1	1	1	1
	West	2	4	3	2	3
	Nord	2	0	2	2	2

Angaben: Absolute Häufigkeiten

5.8.7.4 Komfortempfinden in Abhängigkeit von den Raumumgebungsdaten

Bringt man die Raumumgebungsdaten mit den Daten zu Komfort und Behaglichkeit in Verbindung, so wird deutlich, dass der Komfort unmittelbar mit der Zahl der Beschäftigten variiert. Je mehr Personen im Raum, desto weniger behaglich, frisch usw. wird die Umgebung wahrgenommen. So berichten die Beschäftigten im UCB von höherem Komfort als die Beschäftigten an der HN (siehe Abbildung 107 a, b).

Beim UCB wird insgesamt eine höhere Behaglichkeit berichtet und dass es weder zu heiß noch zu kalt sei. Insgesamt wurden weniger Luftbewegungen wahrgenommen. Im Winter 13/14 wurde im UCB eine erhöhte Luftgeschwindigkeit beklagt. Diese wurde in den darauffolgenden Messperioden besser bewertet. Die Luftgüte ist im mittleren Bereich (weder frisch noch stickig) ein wenig besser als bei der HN. Es gibt auch bessere Werte bei Geruch und Angenehmheit. Die Luftgüte und andere Umgebungsbedingungen werden allerdings im Zeitverlauf geringfügig besser bei beiden Hochschulen.

Unterschiede treten auf im Bereich der Wahrnehmung der Abstrahlungen von Fenstern, Böden und Wänden. Beim UCB berichten die Befragten von etwas stärker empfundenen Abstrahlungen im Winter gegen über der Sommerzeit, während dies die Befragten an der HN umgekehrt berichten (Abbildung 106). Der allgemeine Eindruck der Behaglichkeit beim UCB ist höher als bei der HN. Unterschiede im Allgemeindruck Behaglichkeit treten beim UCB v. a. zwischen Winter und Sommer auf. Der

Allgemeineindruck Behaglichkeit ist dort im Sommer etwas höher; an der HN im Winter. Dies könnte auf die unterschiedliche Bausubstanz in den beiden Hochschulen zurückzuführen sein.

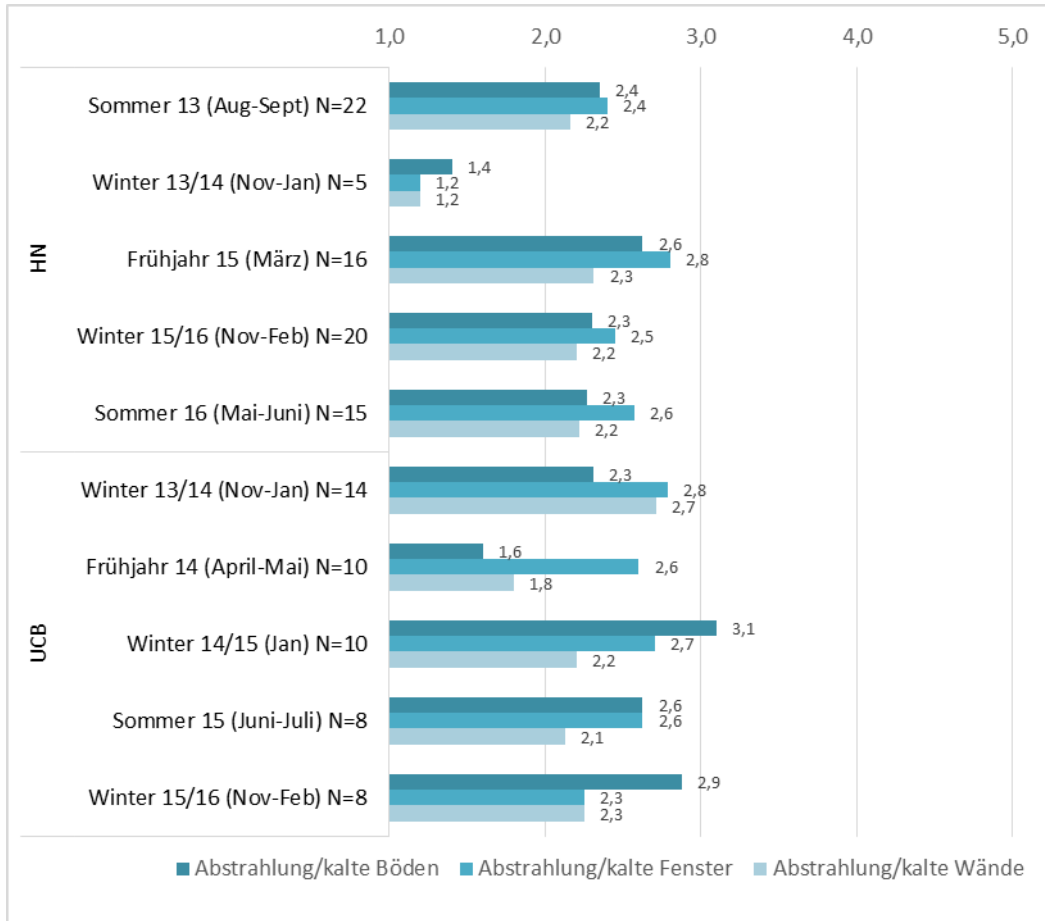


Abbildung 106: Empfundene Abstrahlung von Böden, Fenster und Wänden bei Kälte

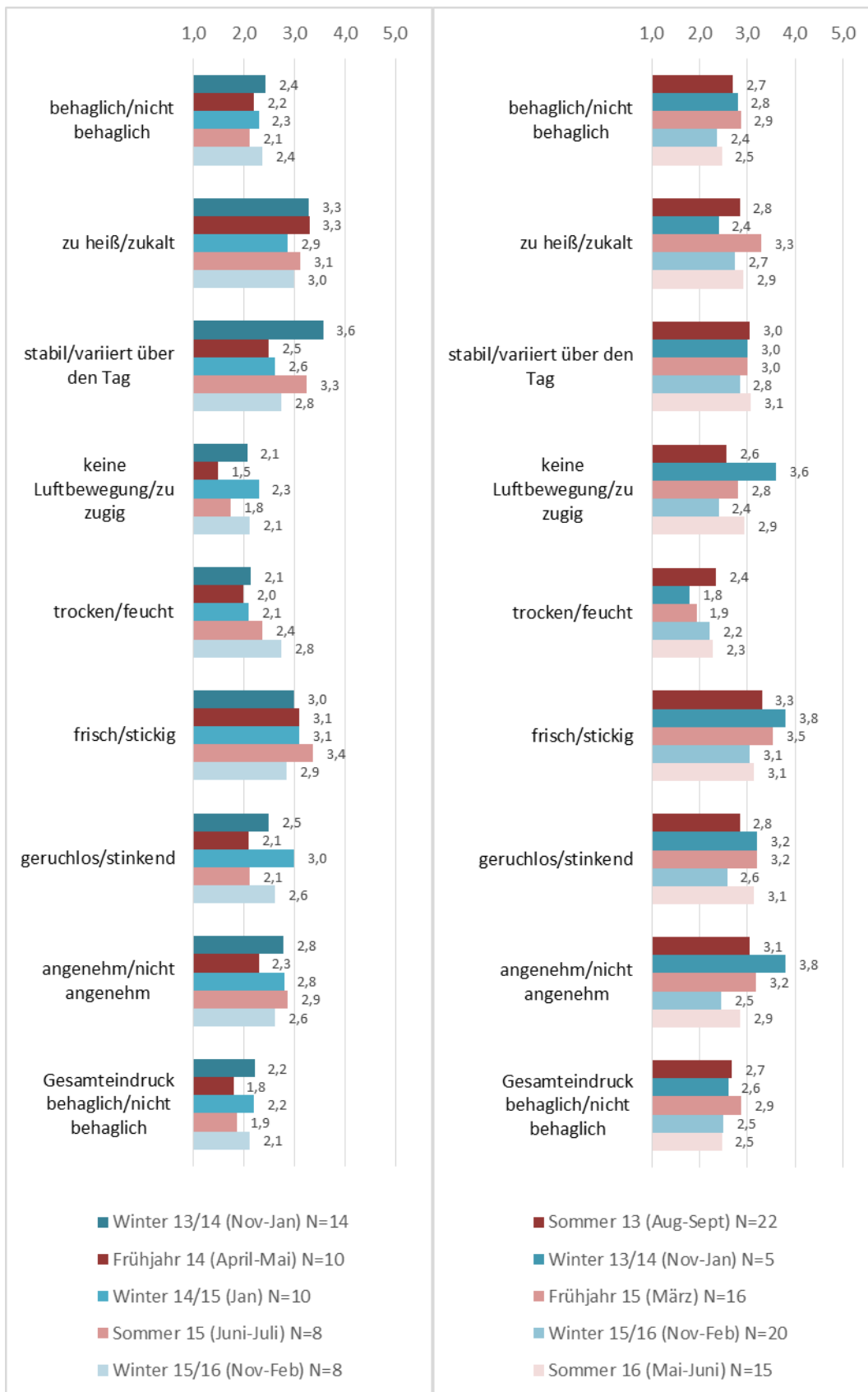


Abbildung 107: a Komfortempfinden HH b Komfortempfinden UCB

Fünfstufige Skala von „1 = behaglich“ bis „5 = nicht behaglich“

Die Möglichkeiten, auf die Umgebungsbedingungen Einfluss zu nehmen, werden bei den Beschäftigten des UCB deutlich besser bewertet als von den Beschäftigten der HN. Eine Ausnahme ist dabei die Umgebungsbedingung Lärm, die bei beiden Hochschulen mittlere bis hohe Werte erhält, gleichbedeutend mit geringen bis gar nicht vorhandenen Einflussmöglichkeiten.

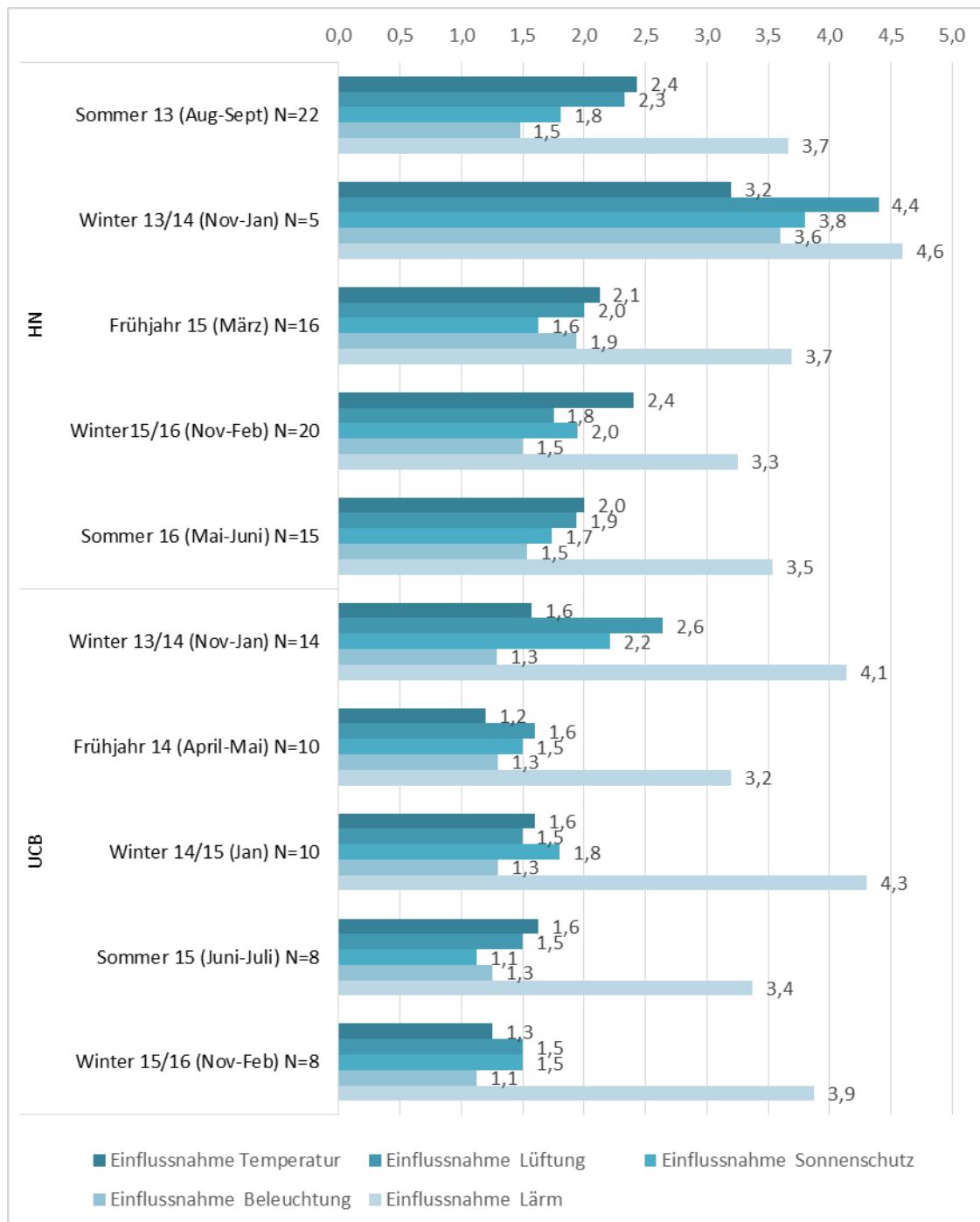


Abbildung 108: Einflussmöglichkeiten der Beschäftigten auf die Raumklimafaktoren

Zwar haben alle Büros an der HN und am UCB einschließlich der großen Büros an der HN Fenster, die sich in der Regel ganz öffnen lassen. Nur vereinzelt gibt es Nennungen, die nur die Möglichkeit zu Kippen angeben, wie der Tabelle 82 zu entnehmen ist.

Tabelle 82: Varianten Fensterpositionen

HN	Sommer 13 (Aug-Sep)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer16 (Mai-Juni)
Fenster lassen sich ...	N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
öffnen	22	5	16	20	15
vollständig öffnen und kippen	21	5	14	19	13
kippen, aber nicht vollständig öffnen	1	0	2	1	2
UCB	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
Fenster lassen sich ...	N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
öffnen	14	10	10	8	8
vollständig öffnen und kippen	13	10	9	7	8
kippen, aber nicht vollständig öffnen	0	0	1	1	0

5.8.7.5 Zusammenhänge zwischen Anzahl der Personen und Komfortempfinden

Je mehr Personen im Raum, desto weniger Kontrolle berichten die Beschäftigten über ihre Umgebungsbedingungen (siehe Tabelle 83). Es bestehen systematische Zusammenhänge (Korrelationen) zwischen der wahrgenommenen Kontrolle über Temperatur ($r = ,412^{**}$), Lüftung ($r = ,356^{**}$), Beleuchtungskontrolle ($r = ,330^{**}$) und Lärm ($r = ,300^{**}$). Alle Korrelationen sind auf dem 1%-Niveau signifikant mit Ausnahme des Items Sonnenschutz ($r = ,143$, nicht signifikant). Wenig erstaunlich sind demnach dann auch die signifikanten mittleren Zusammenhänge von geringer Behaglichkeit und fehlender Luftqualität („nicht angenehm“ und „stinkend“).

Tabelle 83: Zusammenhänge zwischen der Anzahl der Personen im Raum und der Bewertung der klimatischen Umgebungsbedingungen

N variierend zwischen 113 und 127		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Anzahl Personen im Raum	.455 **	-.072	.293 **	.179*	-.331 **	.427 **	.401 **	.450 **	.241 **	.179 *	.090
1	behaglich/nicht behaglich											
2	zu heiß/zu kalt	.192 *										
3	stabil/variiert über den Tag	.463 **	.057									
4	keine Luftbewegung/zu zugig	.206 *	.152	.143								
5	trocken/feucht	-.179 *	.110	-.217 *	-.036							
6	frisch/stickig	.370 **	-.103	.353 **	.075	-.360 **						
7	geruchlos/stinkend	.382 **	-.011	.222 *	.309 **	-.028	.496 **					
8	angenehm/nicht angenehm	.654 **	.031	.421 **	.262 **	-.273 **	.652 **	.665**				
9	Abstrahlung Böden	.401 **	.044	.346 **	.228 *	-.039	.149	.070	.247 **			
10	Abstrahlung Fenster	.369 **	.334 **	.246 **	.166	-.044	.032	-.001	.148	.448 **		
11	Abstrahlung Wände	.384 **	.207 *	.217 *	.136	.102	-.035	.156	.257 **	.450 **	.646 **	
12	Gesamteindruck behaglich/nicht behaglich	.698 **	-.103	.375 **	.295 **	-.237 **	.446 **	.457 **	.645 **	.418 **	.260 **	.270 **

Bravais-Pearson zweiseitig; ** Korrelationen auf dem 1%-Niveau signifikant; * Korrelationen auf dem 5%-Niveau signifikant

5.8.7.6 Die Regulierung der Raumheizung

In den Büroräumen sind in der Regel Heizungen installiert, die sich meist manuell regulieren lassen. An der HN sind häufig einfach zu bedienende Thermostate angebracht, die allerdings nicht immer leicht zugänglich sind. Gemäß Tabelle 84 waren im Sommer 2013 sechs programmierbare Thermostate sowie 14 manuell zu bedienende Thermostate verbaut.

Tabelle 84: Regulierung von Wärme an der Hochschule Niederrhein

HN		Sommer 13 (Aug-Sept)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)
		N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
Thermostattyp	manuell	15	5	14	17	12
	programmierbar	6	0	1	2	2
Temperatur eigenständig regelbar?	nein	2	2	2	5	0
	einfache Thermostate	14	3	13	14	13
	programmierbare Thermostate	6	0	1	1	2
Wurde die Temperatur nachreguliert?	ja, einmal	1	0	1	1	2
	ja, mehrfach	12	1	9	8	8
	ja, häufig	2	0	3	5	3
Leichte Zugänglichkeit	ja	11	0	13	16	9
Temperatur einfach einstellbar?	ja	5	k. A.	1	3	2
Funktionen bekannt?	ja	2	k. A.	0	1	1
Thermostat auf Ihre Anwesenheitszeiten programmiert?	nein	4		2	3	3
	ja, einmal	1		0	1	0
	ja, mehrfach	0		0	0	1
	ja, häufig	1		0	0	0

Angaben: Absolute Häufigkeiten. k. A.: keine Angabe

Gefragt, welche Funktionen vorhanden sind, berichteten drei Personen von Frostschutz, Nachtregelung und von der Möglichkeit die Temperatur auf Anwesenheit einzustellen. Gefragt, warum die Funktionen nicht genutzt würden, kamen Antworten wie: „Das Büro teile ich und die Thermostate waren bereits eingestellt“, „weil die älteren Kolleginnen darauf aufpassen“ „zu weit vom Fenster/Heizkörper entfernt. Eine

andere Kollegin sitzt direkt am Regler“ und Unkenntnis / Nicht wissen (2). Die Nachregulierung wird in drei Fällen als nicht nötig angegeben (3 Nennungen).

Dass die Batterien der programmierbaren Thermostaten an der HN regelmäßig gewechselt werden müssen, war den meisten Beschäftigten nicht bekannt und auch kein regelmäßiger Bestandteil haustechnischer Routinekontrollen. Nur wenige Beschäftigte veranlassten den Batteriewechsel selbst, über die gesamte Laufzeit gibt es dazu insgesamt sechs Nennungen. Im Gebäude H wiesen allerdings bis zu 30% der im Projektverlauf geprüften Thermostate leere Batterien auf.

Der Anteil der manuell regelbaren Thermostate an der HN nahm über die nachfolgenden Messperioden wieder zu. Auslöser dafür waren sowohl die Befragungen als auch die durchgeführten Usability-Tests, die zeigten, dass die meisten Personen die programmierbaren Thermostate nicht bedienen können und die auf dem Display angezeigten Symbole nicht deuten können. (zu den Usability-Tests siehe Abschnitt 5.9). Die Programmierfunktion wurde mit einer Ausnahme gar nicht genutzt. Das Gebäudemanagement beschloss nach diesen Erkenntnissen, die programmierbaren Thermostate nach und nach durch manuelle zu ersetzen, z. B. immer dann, wenn ein Austausch der Batterien notwendig war.

Am UCB sind überwiegend Einzelraumregler verfügbar, die in der Nähe der Tür angebracht sind (Tabelle 85). Am UCB geben fast alle befragten Beschäftigten an, mehrfach nachzuregulieren. Die wenigen, die nicht nachregulieren, sind mit den Einstellungen zufrieden (4 Nennungen), finden es lästig (1 Nennung) oder lassen den Regler auf Präsenz eingestellt, z. B. weil eine andere Person im Raum ganztags beschäftigt ist (2 Nennungen). Eine Person wusste nicht, wo etwas einzustellen ist. In 22 weiteren Fällen konnten dagegen die Funktionen der Regler im Einzelnen benannt werden.

Tabelle 85: Regulierung der Wärme am UCB

UCB		Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
		N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
Temperatur eigenständig regelbar mit:	Einfache Thermostate	1	0	0	0	0
	Programmierbare Thermostate	6	5	4	4	1
	Einzelraumregler	6	5	5	4	7
Wurde Temperatur nachreguliert?	ja, einmal	2	0	1	0	0
	ja, mehrfach	5	6	7	6	6
	ja, häufig	7	3	1	2	2
Einfach einzustellen?	ja	12	9	9	7	8
Funktionen bekannt?	ja	7	8	3	6	6

Angaben: Absolute Häufigkeiten. k. A.: keine Angabe

Die Beschäftigten wurden außerdem nach der Raumtemperatur befragt, welche sie sich für ihre Arbeitsumgebung wünschen (als offene Frage mit Freitextfeld). Die Wunschtemperatur der meisten Beschäftigten beträgt zwischen 20°C und 21°C, so wie es arbeitswissenschaftlich empfohlen wird. Einige Personen geben jedoch Wunschtemperaturen über 21°C an, so an der HN im Winter 2015/16 beispielsweise 6 von 20 Personen (30%); am UCB im Winter 2013/14 dagegen 3 von 14 Personen (21%), wie in Tabelle 86 abzulesen. Der Anteil an Personen, die auf höhere Raumtemperaturen nachregulieren, fällt hochgerechnet durchaus ins Gewicht, wenn man bedenkt, dass die Reduzierung um 1°C eine Einsparung bis zu 6% ergibt (Matthies & Wagner, 2011, p. 67). Laut Information des Gebäudeservices sind an einigen Heizkörpern der HN (verdeckt) funktionslose Thermostate angebracht, um dort gezielt einem starken Überheizen vorzubeugen. Dies scheint beim UCB kein Problem zu sein. Dort wird auch nur einmal 23°C als Wunschtemperatur angegeben.

Tabelle 86: Wunschtemperatur der Beschäftigten beider Hochschulen

HN	Sommer 13 (Aug-Sept)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)
	N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
18 - 19°C	3	1	0	1	1
20°C	11	2	10	9	8
21°C	1	1	3	4	2
22°C	4	1	1	4	1
23 - 25°C	2	0	2	2	1
UCB	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
	N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
18 - 19°C	0	3	1	0	0
20°C	6	4	7	3	7
21°C	5	2	1	3	0
22°C	2	1	1	2	1
23°C	1	0	0	0	0

Temperaturangaben, absolute Häufigkeiten (offene Antwortmöglichkeit in Freitextfeld)

5.8.7.7 Verbesserungsvorschläge der Beschäftigten beim Gebäudemanagement

Technikbezogene Verbesserungsanfragen an das Gebäudemanagement wurden an der HN im Durchschnitt über alle Messzeitpunkte von 28% der Befragten gestellt, wie in Tabelle 87 dargestellt. Dies waren Fragen zu den Umgebungsbedingungen des eigenen Arbeitsplatzes; aber auch Hinweise auf unnötig hochgeheizte Heizkörper in

Fluren und Vorräumen oder vermutete technische Defekte, auf die man aufmerksam machen wollte. Am UCB wurden nur zu Projektbeginn drei solcher Anfragen gestellt.

Tabelle 87: Anfragen an das Gebäudemanagement über die Projektlaufzeit

HN				
Sommer 13 (Aug-Sept)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)
N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
7	0	6	4	5
UCB				
Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
3	0	0	0	0

Angaben: Absolute Häufigkeiten der berichteten Verbesserungsanfragen

5.8.7.8 Erfassung der Stromverbraucher in den Arbeitsräumen

Bereits bei der ersten Befragung am UCB gaben 11 von 14 Personen an, abschaltbare Steckerleisten zum Anschluss elektrischer Geräte zu nutzen. Auch zu den nachfolgenden Messzeitpunkten wird ganz überwiegend der Einsatz der Steckerleisten berichtet, wie in Tabelle 88 ersichtlich ist. An der HN waren dagegen seit Beginn des Projekts bis einschließlich Sommer 16 kaum Steckerleisten im Einsatz. Auch die Verteilung der Energiesparpakete, die abschaltbare Steckerleisten beinhalteten, hat nicht zu einem wesentlichen Anstieg geführt.

Tabelle 88: Abschaltbare Steckerleisten im Einsatz

HN				
Sommer 13 (Aug-Sept)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)
N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
4	0	4	3	6
UCB				
Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
11	7	10	8	8

Angaben: Absolute Häufigkeiten

Befragungen können Erwartungen wecken oder sogar Motivation stimulieren, selbst tätig zu werden. Durch jegliche Messverfahren können Erwartungseffekte bei den Versuchspersonen erzeugt werden, die im Vorgriff auf zu erwartende Interventionen zu Veränderungen von Einstellungen und Verhaltensweisen führen können. Auch Befragungen können derartige Effekte erzeugen (Bortz & Döring, 2006), (Lück, et al., 2005).

Dies scheint an der HN offensichtlich nicht der Fall zu sein. Bei der HN waren die abschaltbaren Steckerleisten bis Projektende trotz der Kommunikation über diese Steckerleisten an die verantwortlichen Stellen kaum im Einsatz. Diese einfache Möglichkeit ist eine wirksame Intervention – siehe dazu auch die Veröffentlichungen im Projekt Change bzw. von Wortmann (Matthies & Wagner, 2009; Matthies, et al., 2011; Wortmann, 2010). Es gab kein Bestreben von Beschäftigten, sich diese Steckerleisten selbst zu besorgen und einzusetzen. Letzteres mag damit zusammenhängen, dass die meisten Beschäftigten von sich sagen, dass sie keinen Einfluss auf die Beschaffung haben (siehe Tabelle 91).

In den Räumen befindet sich eine große Anzahl von elektrischen Verbrauchern: PCs, Laptops, Drucker, Schreibtischlampen und Kaffeemaschinen u. a. (siehe Tabelle 89). Beim UCB werden häufig Laptops und PCs eingesetzt, während an der HN die meisten Beschäftigten mit einem PC arbeiten. Augenfällig ist, dass viele Personen, die einen PC nutzen, auch einen Laptop nutzen. Hier stellt sich die Frage, ob die Geräte parallel genutzt werden (was man manchmal beobachten kann), oder nur selektiv zum Einsatz kommen. Die hohe Zahl der Monitore ist aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive, die in der Bildschirmarbeitsplatzverordnung verankert ist, verständlich, da auch bei Laptops mit einem externen Monitor gearbeitet werden sollte (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz; juris GmbH, 2015).

In den Büros stehen sowohl beim UCB als auch bei der HN vergleichsweise viele Einzeldrucker. Drucker bleiben tagsüber häufig an oder bestenfalls im Stand-by-Modus. Zudem sind Multifunktionsgeräte (Kopierer/Fax/Drucker) im Einsatz. Auch Kaffeemaschinen, die nicht mit einer Thermoskanne und einer Abschaltautomatik ausgerüstet sind, benötigen viel Strom.

Als Zusatzgeräte wurden bei der HN genannt (Anzahl in Klammern): Wasserkocher (6), Telefone (3), Scanner (2), Kühlschrank (1), Elektrohefter (1), Akkuladegerät (1), Pocket PC (1) und Ventilator (1). Bei UCB waren es Scanner (3), ein zweiter Drucker (1), Faxgeräte (2), weitere Ladegeräte (2), Reißwolf (1), und Wasserkocher (1).

Tabelle 89: Elektrogeräte im Einsatz

Anzahl Befragte (N)			HN					UCB				
			22	5	16	20	15	14	10	10	8	8
Gerät vorhanden ...			Sommer 13 (Aug-Sep)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer16 (Mai-Juni)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
Notebook, Laptop	schalt- bare Stecker- leiste	mit	0	0	1	1	3	12	3	9	7	8
		ohne	5	3	3	8	7	0	5	0	1	0
	Gerät nicht vor- handen		0	0	1	0	0					
Monitor	schalt- bare Stecker- leiste	mit	5	0	6	4	7	14	6	10	8	8
		ohne	13	4	8	13	8	0	3	0	0	0
Personal Computer (PC)	schalt- bare Stecker- leiste	mit	4	0	5	3	4	7	4	5	3	1
		ohne	13	2	6	10	3	0	2	0	0	0
Drucker	schalt- bare Stecker- leiste	mit	1	0	5	4	4	12	7	9	8	7
		ohne	14	2	7	13	8	2	2	1	0	1
Multi- funktions- Drucker	schalt- bare Stecker- leiste	mit	2	0	2	0	2	1	3	0	0	1
		ohne	4	3	3	3	6	1	0	2	2	0
Schreib- tisch- lampe	schalt- bare Stecker- leiste	mit	4	0	5	2	2	2	2	3	0	1
		ohne	8	1	6	7	7	4	0	1	1	1
Kaffee- maschine	schalt- bare Stecker- leiste	mit	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0
		ohne	6	0	3	6	4	0	3	0	1	0
Ladegerät Smart- phones	schalt- bare Stecker- leiste	mit	0	0	1	0	1	1	0	3	0	0
		ohne	5	1	1	5	2	3	3	1	2	2

Angaben: Absolute Häufigkeiten

Insgesamt erscheint es sinnvoll, vermehrt zentral aufgestellte Geräte zu nutzen, die dezentral angesteuert werden können, seien es Drucker oder Kaffeemaschinen. Neben dem Effekt der Material- und Energieeffizienz hätte es auch positive Nebeneffekte. Es würde erstens dem Austausch der Beschäftigten untereinander förderlich sein und hat zweitens einen gesundheitsfördernden Begleiteffekt, nämlich den Zwangshaltungen (Dauersitzen) an Büroarbeitsplätzen vorzubeugen.

5.8.7.9 Die Nutzung der Energiesparoptionen

Weniger als die Hälfte der Beschäftigten der HN (45%) berichten zu Beginn des Projektes, dass sie Energiesparoptionen nutzen können. Im Frühjahr 2015 stieg das Wissen über Energiesparoptionen auf über 50%. Im Sommer 2016, nach der Intervention mit dem Energiesparpaket, welches eine Anleitung zum Aktivieren der Energiesparoptionen beinhaltet, stieg der Anteil auf 67%. Hier scheinen die verhaltensnahen Interventionen wirksam gewesen zu sein. Im Gegensatz zur HN schien es für die Beschäftigten am UCB von Anfang an normal zu sein, die Energiesparoptionen zu nutzen (Tabelle 90). Die Angaben zur Nutzung der Energiesparoptionen schwanken zwischen 60% und 100%. Es ist kein Trend über die Zeit erkennbar.

Tabelle 90: Nutzung der Energiesparoptionen

HN	Sommer 13 (Aug-Sept)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)
		N=22	N=5	N=16	N=20
Energiesparoption aktiviert	10	2	9	12	10
keine Möglichkeit	2	2	1	1	2
UCB	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 16 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
	N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
Energiesparoption aktiviert	8	10	8	5	6

Angaben: Absolute Häufigkeiten

5.8.7.10 Einfluss von Beschaffungsprozessen auf die Energieeffizienz

Beschaffung ist ein Vorgang, der sich dauerhaft auf das Energiesparverhalten auswirken kann, indem energiesparende Geräte eingekauft werden. Insofern kommt den Beschaffungsvorgängen eine große Bedeutung zu. Dass auf Beschaffungsvorgänge Einfluss genommen werden kann, um gezielt energiesparende Geräte zu besorgen, wird überwiegend von den Beschäftigten des UCB berichtet. Während dort 80% bis 100% angeben, Einfluss auf die Beschaffung nehmen zu können, berichten dies an der HN weniger als die Hälfte der Personen zu allen Messzeitpunkten (siehe Tabelle 91). Dies verändert sich auch nicht über die Projektlaufzeit. Dies ist auch insofern von Interesse, da während der Projektlaufzeit das Tariftreue- und Vergabegesetz in den meisten Bundesländern eingeführt wurde, und daher die Möglichkeit bestünde, ökologische und soziale Kriterien gezielt in die Beschaffung zu integrieren.

Tabelle 91: Einfluss der Beschäftigten auf Beschaffungsvorgänge

HN	Sommer 13 (Aug-Sept)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai- Juni)
	N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
Einfluss/Ja	8	1	4	9	7
UCB	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
	N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
Einfluss/Ja	12	10	8	3	7

Angaben: Absolute Häufigkeiten

5.8.7.11 Das Alltagsverhalten der Beschäftigten im Umgang mit Energie

Der letzte Abschnitt des Fragebogens UVE behandelte energiesparende Verhaltensweisen der Beschäftigten im Arbeitsalltag wie Lüften, Ausschalten der Raumbeleuchtung, PCs und weiteren Elektrogeräten (Endverbrauchern) bei kürzeren und längeren Abwesenheiten (Tabelle 92).

Bei den Beschäftigten der HN scheint insgesamt wenig Aufmerksamkeit dafür zu bestehen, Thermostate bei Verlassen des Raumes abzdrehen (zwischen 0% und 25%) oder diese beim Lüften abzuschalten (zwischen Null und 35%). Dagegen geben zwischen 57% und 100% der Beschäftigten beim UCB an, den Thermostat beim Verlassen des Raumes auf die kleinste Stufe zu regulieren; zwischen 37,5% und 85,7% drehen den Thermostat zu, wenn sie lüften.

Tabelle 92: Umgang mit Thermostaten bei Verlassen des Raumes und Lüften

HN	Sommer 13 (Aug-Sept)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)
Thermostat ...	N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
auf kleinster Stufe bei Verlassen d. Raums	4	0	3	5	3
zumachen bei Lüften	6	0	4	7	3
UCB	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter15/16 (Nov-Feb)
Thermostat ...	N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
auf kleinster Stufe bei Verlassen d. Raums	8	8	10	6	7
zumachen bei Lüften	4	3	3	4	6

Angaben: Absolute Häufigkeiten

Eine systematische Dokumentation, welche Fenster wie häufig geöffnet sind, wurde zu Beginn des Projektes mittels Fotodokumentation versucht, stieß aber auf die Kritik der dort Beschäftigten und wurde unterlassen, um das Projekt nicht zu gefährden. So sind nur die Selbstberichte der Beschäftigten vorhanden. Gefragt nach der Dauer des Stoßlüftens, fallen die systematischen Unterschiede zwischen Frühjahr /Sommer und Winter auf. Im Frühjahr und Sommer sind die Fenster deutlich länger geöffnet als im Winter (siehe Abbildung 109).

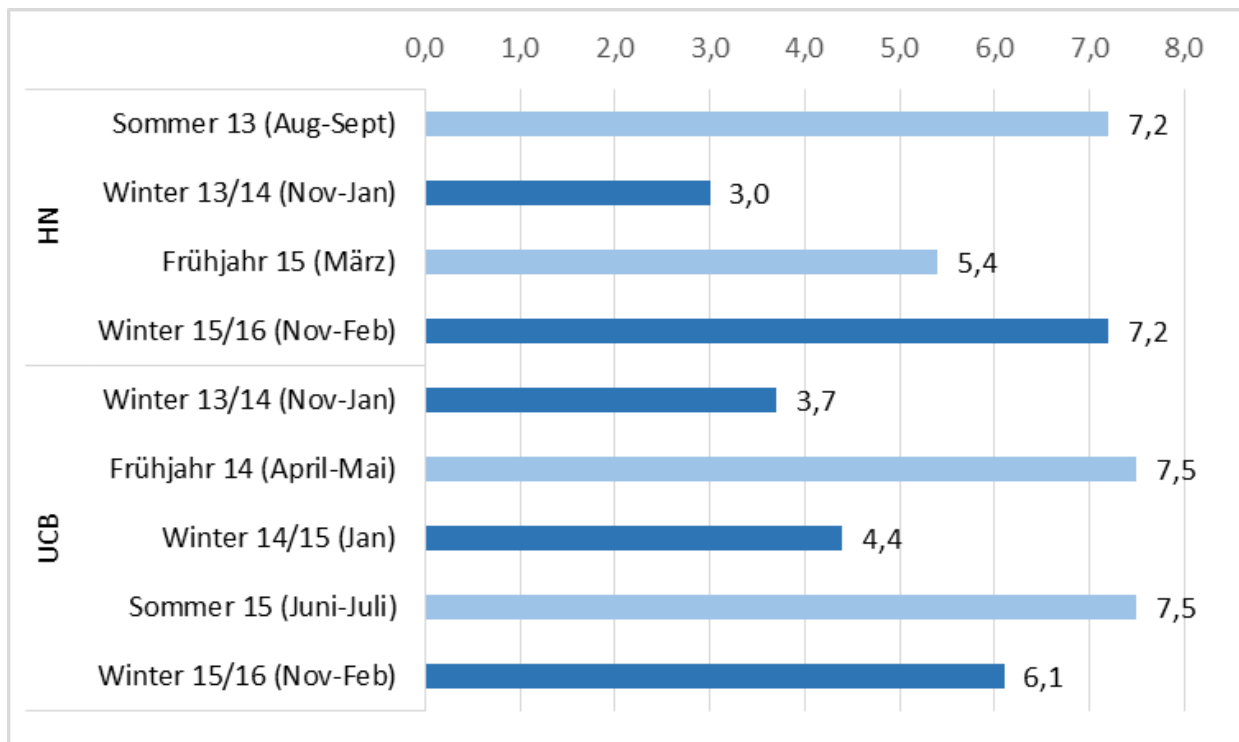


Abbildung 109: Stoßlüften (Angaben in Minuten)

Tabelle 93: Lüftungsverhalten und Verhalten bei Verlassen des Raumes der Beschäftigten an der HN

HN		Sommer 13 (Aug-Sep)	Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 15 (März)	Winter 15/16 (Nov-Feb)	Sommer 16 (Mai-Juni)
		N=22	N=5	N=16	N=20	N=15
Wie lüften Sie vorzugsweise Ihr Büro?	Fenster ständig ganz geöffnet	1	0	0	0	0
	ständige Kippstellung	4	1	0	1	0
	zeitweise Kippstellung	9	2	10	8	9
	Stoßlüftung einmal täglich	1	1	0	2	0
	Stoßlüftung mehrmals täglich	5	1	5	8	5
	Kein Lüften des Arbeitsraums	0	0	1	1	1
Bei Verlassen des Raumes	Fenster geschlossen	14	4	15	19	13
	Endverbraucher aus	13	3	8	13	10

Angaben: Absolute Häufigkeiten

Tabelle 94: Lüftungsverhalten und Verhalten bei Verlassen des Raumes der Beschäftigten am UCB

UCB		Winter 13/14 (Nov-Jan)	Frühjahr 14 (April-Mai)	Winter 14/15 (Jan)	Sommer 15 (Juni-Juli)	Winter 15/16 (Nov-Feb)
		N=14	N=10	N=10	N=8	N=8
Wie lüften Sie vorzugsweise Ihr Büro?	Fenster ständig ganz geöffnet	0	0	0	1	0
	ständige Kippstellung	5	4	3	2	1
	zeitweise Kippstellung	7	1	3	0	5
	Stoßlüftung einmal täglich	2	5	3	5	2
	Stoßlüftung mehrmals täglich	0	0	1	0	0
	anders als beschrieben	0	0	0	1	0
Bei Verlassen des Raumes	Fenster geschlossen	14	10	10	8	7
	Endverbraucher aus	13	8	8	8	6

Angaben: Absolute Häufigkeiten

Verbreitet sind sowohl beim UCB als auch bei der HN ein zeitweises oder ständiges Kipplüften, das von den Beschäftigten mit angenehmer Frischluftzufuhr verbunden wird: Der durchgehende Luftaustausch verhindert ein massives Ansteigen des CO₂-Gehalts, jedoch ohne deutlich spürbare Auskühlung. Hier fällt auf, dass im Winter und im kühlen Frühjahr beim UCB zwischen 60% und 85% die Fenster ständig oder zeitweise auf Kipp stehen, bei der HN zwischen 45% und 62% (Tabelle 93). Über den Verlauf der Messzeitpunkte bestehen keine systematischen Veränderungen in Richtung Energiesparen. Stoßlüften ist deutlich weniger verbreitet und nimmt relativ gesehen bei der HN etwas zu. Hier könnte ein Energiemehrverbrauch resultieren, da das Kipplüften sich kaum verändert, aber zusätzlich Stoßlüften praktiziert wird.

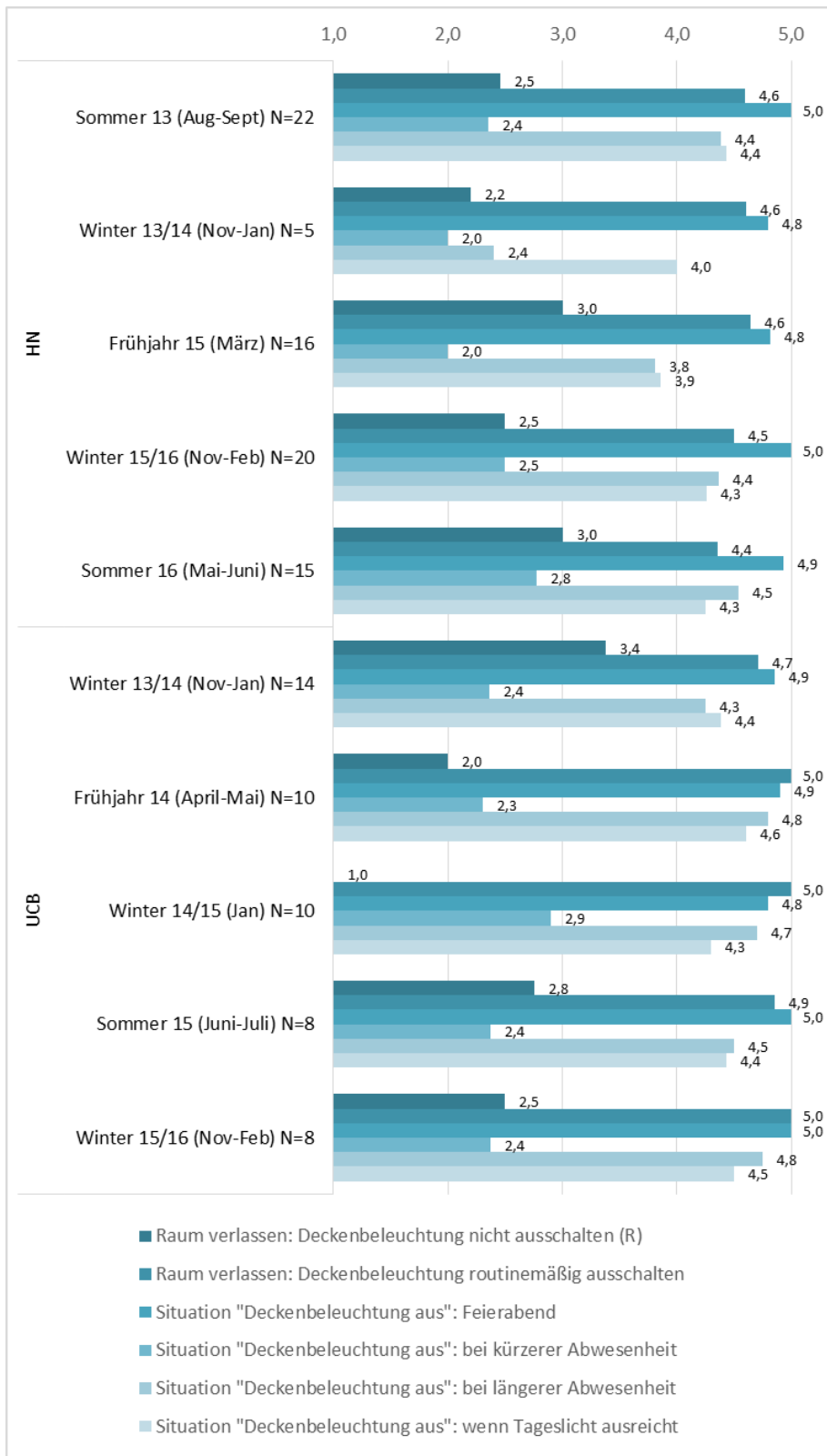


Abbildung 110: Umgang mit Beleuchtung

Fünfstufige Skala von „1 = stimme zu“ bis „5 = stimme gar nicht zu“; R: umgekehrt kodiert

Auch zum Umgang mit dem PC und zur Deckenbeleuchtung wurden Fragen gestellt. Auf einer Skala von „1 = stimme zu“ bis „5 = stimme gar nicht zu“ konnten Bewertungen abgegeben werden. In Abbildung 110 sieht man sowohl bei den Beschäftigten der HN als auch bei den Beschäftigten des UCB, dass routinemäßig das Licht ausgemacht wird, wenn man als Letzte/r den Raum für eine längere Zeit verlässt bzw. in den Feierabend geht. Kaum Zustimmung gibt es dagegen für das Ausschalten von Licht bei kürzeren Abwesenheiten. Bei längeren Abwesenheiten oder bei Tageslicht kann es vorkommen, dass das Licht nicht ausgemacht wird. Das Verhalten ändert sich über die Messzeitpunkte nicht.

Ein vergleichbares Bild zeigt sich im Umgang mit dem PC (siehe Abbildung 111). Während zum Feierabend der PC routinemäßig manuell heruntergefahren wird, wird er bei längerer vorübergehender Abwesenheit nur selten heruntergefahren. Auch die Funktion „Standby/Ruhezustand“ wird vergleichsweise wenig genutzt. Hier zeigt sich aber ein kleiner Trend: Bei den Beschäftigten der HN verschiebt sich der Mittelwert von „stimme eher nicht zu“ im Sommer 13 und Winter 13/14 auf „stimme teilweise zu“ im Winter 15/16 und Sommer 16; bei den Beschäftigten des UCB gibt es Variabilität, aber keinen Trend.

Die Daten zeigen relativ klar, dass sich die energierelevanten Verhaltensweisen der Beschäftigten durch Informationsangebote nicht sehr verändern, sondern dringend durch weitere Maßnahmen ergänzt werden muss. Bei der Standby-Nutzung als vergleichsweise leicht einzuführende Verhaltensänderung zeigten sich geringe positive Veränderungen. Dagegen sind bei den Befunden, die das Lüftungsverhalten betreffen, keine Veränderungen feststellbar. Der individuelle Vorteil, den Komfort zu erhöhen, dürfte hier ausschlaggebend sein. Die Befunde sind im Vergleich zu den zum Teil bemerkenswerten Berichten zu Verhaltensveränderungen aus anderen Hochschulen enttäuschend. Eine Erklärung ist wohl, dass es vergleichsweise wenige Studien über einen so langen Zeitraum gibt, eine andere, dass es, zumindest an der Hochschule Niederrhein, bei den Beschäftigten häufige Wechsel gibt. Die hier vorliegenden Daten haben beim Gebäudemanagement große Aufmerksamkeit hervorgerufen und werden im Nachgang des Projektes zu Anpassungen führen.

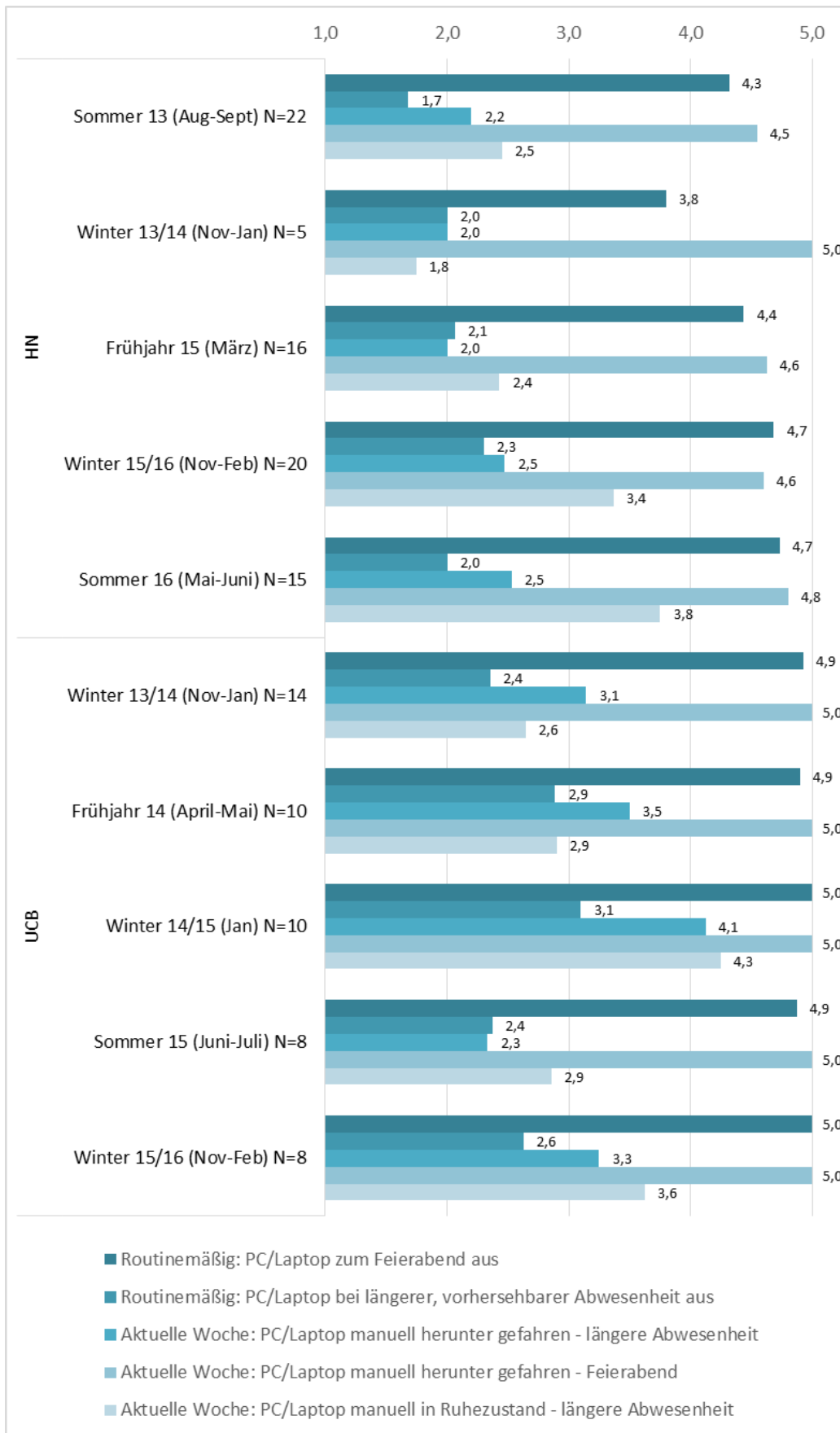


Abbildung 111: Umgang mit der PC-/Laptop-Stromversorgung

Fünfstufige Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll und ganz zu“

5.8.8 Diskussion der Effekte der Interventionen

Scheuthle und Kaiser (2008) betonen, dass nicht nur die Art der Maßnahmen erfolgsbestimmend ist, sondern auch die Entscheidung, „Wann und Wo“ diese umgesetzt werden sollen. Von Interesse sind geringinvestive Maßnahmen zur Veränderung von Einstellungen, sozialen Normen und anderen Prädiktoren der Verhaltensintention, wenn keine strukturellen Maßnahmen angesetzt werden können. Zu diesen Maßnahmen sind Schulungen und Wissensvermittlung zu rechnen sowie der Versuch, über Partizipation eine stärkere Beteiligung zu erreichen. Zudem kamen im Laufe des Projektes weitere Maßnahmen hinzu, um den Effekt der Schulungen zu verstärken, nämlich Türhänger und das Energiepaket. Die letzten beiden Interventionen sind aus Anregungen der Beschäftigten im Gebäudemanagement hervorgegangen.

Bei der Wissensskala „Lüften“ zeigt sich ein deutlicher Effekt der Schulungen. Dieser Befund kann jedoch aufgrund der geringeren Reliabilitäten der Wissensskalen nur vorsichtig interpretiert werden. Weiter konnten bei den Verhaltensintentionen Verbesserungen beobachtet werden. Die weiteren Interventionen zeigen keine vergleichbaren Effekte mehr, sondern scheinen eher der Aufrechterhaltung der Prädiktoren der Verhaltensintention und der Verhaltensintention selbst zu dienen. In diesem Langzeiteffekt unterscheiden sich die beiden Hochschulen: Bei den Beschäftigten des Umwelt-Campus Birkenfeld ist beim letzten Messzeitpunkt eine geringfügige Verminderung (nicht signifikant) der Einstellungen, Normen und Verhaltensintentionen festzustellen, die nicht in gleichem Maße bei den Beschäftigten der Hochschule Niederrhein auftritt. Die Einstellungen zum Energiesparen und die Ausbildung der persönlichen Normen bleiben dort nach dem Anstieg, der auf die ersten Interventionen folgte, stabil.

Das Projektteam erhielt nach der Intervention „Türhänger“ an der Hochschule Niederrhein persönliche Rückmeldungen auf diese als gelungen empfundene und positive Aufmerksamkeit erzeugende Maßnahme. Auf die Plakate und Prompts erfolgte dagegen keine solche Reaktion. Diese Reaktionen finden sich leider nicht in den Befragungen, weshalb es sinnvoll erscheint, die Fragebögen um Themen der „Anmutungsqualität“ der Interventionen zu ergänzen, um auch derartige Effekte besser sichtbar zu machen und ein effektives soziales Marketing zu unterstützen.

Es zeigt sich, dass Interventionen unkonventioneller durchgeführt werden sollten, um Aufmerksamkeit zu erzeugen. Die aus der Literatur beschriebenen Vorgehensweisen mit Schulungen und Kleingruppenarbeit waren nicht erfolgreich. Hochwahrscheinlich ist, dass die Workload der Beschäftigten zu hoch ist, um sich darüber hinaus noch engagieren zu können oder wollen. Andererseits war keine Ablehnung des Projektes spürbar, im Gegenteil: die Forschergruppe wurde auf unnütze Energieverbräuche, z. B. durch zu hohe Heiztemperaturen u. ä. hingewiesen. Allerdings waren dies wenige Personen und auch immer die gleichen, die in Kontakt traten.

Erklärend für das ausbleibende Engagement sind mehrere Aspekte:

- In den letzten Jahren sind die Studierendenzahlen der Hochschule stark gestiegen; zudem wurden auch viele Verwaltungsstellen neu besetzt, zum Teil befristet. Dies erfordert einen erhöhten Aufwand an Einarbeitung für das Stammpersonal. Das Personal, das nicht zum Stammpersonal gehört, hat wenig Interesse, sich für organisationsinterne Belange einzusetzen.
- Es fanden starke Bautätigkeiten am Campus Krefeld Süd statt. Ein Neubau, das Gebäude J, wurde fertig gestellt und im Winter 2015 in Betrieb genommen. Im Gebäude A fanden Umbaumaßnahmen statt. Damit einhergehende Umzüge von Verwaltungsabteilungen in das Gebäude J und innerhalb des Gebäudes A kosteten die Beschäftigten viele zeitliche und organisatorische Ressourcen. Das Projekt REGENA konnte bei den Beschäftigten einfach nur von untergeordneter Bedeutung im betrieblichen Ablauf sein.

Projekte bringen immer einen erhöhten Mehraufwand innerhalb von Organisationen auch für das Stammpersonal. Dieser Aufwand wurde massiv unterschätzt und sollte bei ähnlichen Projekten stärker berücksichtigt werden.

5.9 Untersuchung der Mensch-Technik-Schnittstelle

5.9.1 Gebrauchstauglichkeit: Zentrale Anforderung an Mensch-Technik-Schnittstellen

Smarte Technologien zur Energieeinsparung werden in der Werbung als zuverlässige, effiziente Technologien präsentiert, mit bedienungsfreundlichen, Elementen und attraktiven Zusatzfunktionen wie elektronischen Thermostaten, automatischer Fensteröffnungserkennung oder präzisen Raumtemperaturfühlern (Energiedienstleister und Thermostathersteller). In den Kundenbewertungen in Internetportalen scheint sich die Einhaltung dieser Versprechen dagegen nicht zu bestätigen. Vielmehr gibt es Hinweise darauf, dass sich die Kundinnen und Kunden derartiger Technologien in vielen Fällen Einfachheit in der Bedienung wünschen oder dass ihnen nicht alle Funktionen bekannt sind. Bislang liegen kaum unabhängige Studien über die Nutzungsfreundlichkeit und den Nutzen derartiger Technologien vor (Stiftung Warentest, 2008).

Zentrales Konstrukt für eine angemessene Bedienung von Technologien ist die so genannte Nutzerfreundlichkeit oder Gebrauchstauglichkeit (Usability). Usability bezieht sich darauf, wie effektiv, effizient und zufriedenstellend ein Produkt in seinem Anwendungskontext verwendet werden kann (DIN EN ISO 9241, 1998). Ein Produkt soll die Benutzer in die Lage versetzen, genaue und vollständige Ergebnisse zu erzielen (Effektivität). Die Ressourcen, die bei der Nutzung in diese Interaktion investieren müssen, sollen in Relation zum Ergebnis stehen – dies beschreibt die Effizienz. Zufriedenheit wiederum umfasst Aspekte, wie ansprechend ein Produkt gestaltet ist, so dass man gerne damit interagiert (z. B. Anmutungsqualität).

Häufig untersucht wurden sogenannte Smart Meter, es liegen hingegen nur wenige Studien zu Heizkörperthermostaten vor. Die Studien fanden jedoch überwiegend in den USA statt, sodass keine direkte Übertragbarkeit auf die Anwendung in Deutschland besteht. Bislang sind keine Studien über die Nutzung von programmierbaren Heizkörperthermostaten in öffentlichen Gebäuden bekannt. Kenntnisse über den Umgang mit verschiedenen Heizkörperthermostaten sind dabei nicht nur für Hochschulen und andere öffentliche Organisationen bedeutsam, sondern auch für Privathaushalte und die Produktionsfirmen selbst. Die Untersuchung der Usability programmierbarer Thermostate ist bedeutsam, weil Rebound- und Backfire-Effekte auftreten können: So stellt sich die Frage, wie Heizkörperthermostate tatsächlich bedient werden können.

5.9.2 Felderhebung in einem kombinierten Büro- und Hörsaalgebäude zur Nutzung von Thermostaten

Es wurden in den modernen Gebäuden der Hochschule für die Heizkörper anstelle klassischer manuell zu regelnder Thermostate programmierbare (elektronisch geregelte) Thermostate eingesetzt. Ziel war es, hiermit Energiekosten zu sparen. Das hier betrachtete Gebäude hat eine kombinierte Nutzung als Büro- und Hörsaalgebäude. Bei einer Begehung des Gebäudes fiel auf, dass die Thermostate schwer zugänglich sind, da sie hinter Kabelschächten verbaut sind. Etwa ein Viertel der Thermostate war nicht funktionstüchtig, da die Batterien fehlten oder aufgebraucht waren. Ohne Batterien öffneten sich jedoch die Thermostatventile und die Thermostate heizten unreguliert auf 26°C auf, weshalb viele der Beschäftigten die Fenster ihrer Büroräume öffneten. Bedienungsanleitungen zu den eingesetzten Thermostaten lagen nicht vor.

5.9.2.1 Mehrverbrauch durch fehlerhafte Nutzung

Für das an der HN eingesetzte Thermostat Honeywell HR 40 wurde über eine Berechnung der Wärmelasten eine Abschätzung möglicher Mehrverbrauchs-Effekte durchgeführt (siehe die Ausarbeitungen von Stephan Hoch, 2012). Angenommen wurde der Fall, dass in den Büroräumen der ersten Etage des Gebäudes die leeren Batterien nicht ausgetauscht werden (ein Worst Case Szenario bei geschlossenen Fenstern). Bau- und temperaturähnliche Räume der Etage wurden zusammengefasst. Aneinandergrenzende Räume mit gleicher Umgebungstemperatur können dabei wie ein Raum gewertet werden, da zwischen diesen Räumen kein Wärmeaustausch stattfindet. Der Wärmedurchgang durch Wände und Fenster in angrenzende Flure, Sanitärräume und Treppenhäuser mit geringeren Temperaturen wurde dagegen einbezogen. Berücksichtigt wurden zudem Nachtabsenkungen sowie Aufheiz- und Abkühlzeiten der Heizkörper (Betriebstemperatur tagsüber 21°C, in der Nacht 18°C) und vereinfachend die gemittelten Außentemperaturen über das Jahr 2012. Ein Ausfall der Batterien und Nicht-Ersetzen ergab pro Monat einen Mehrverbrauch von 197,2 kWh/Jahr und qm und damit Mehrkosten von 13,22 EUR pro qm jährlich. Die Kosten für Batterien wurden dabei nicht berücksichtigt (eine detaillierte Darstel-

lung der Berechnung der Wärmelasten kann bei den Autoren angefordert werden). Da die Büroräume eines Stockwerks ca. 255 qm umfassen, können beträchtliche Summen durch regelmäßige Wartung eingespart werden. Dies war Anlass für eine genauere Betrachtung der Nutzbarkeit der eingesetzten Technik.

5.9.2.2 Befragung über das Nutzerverhalten (Heizungsthermostate)

Professor(inn)en, wissenschaftliches und nichtwissenschaftliches Personal wurden mittels des UVE-Fragebogens als Nutzende der Büroräume auch zum Umgang mit dem Thermostat Honeywell HR 40 befragt. Von den ausgeteilten 35 Fragebögen kamen 13 zurück. Von diesen waren zwölf Fragebögen verwertbar. Zudem wurden auch die Studierenden des im Gebäude angesiedelten Bachelorstudiengangs nach den Thermostaten befragt: Hier beantworteten von 250 angefragten Studierenden 220 den Fragebogen. Die Teilnahme an der Befragung war freiwillig.

Es wurde u. a. der Kenntnisstand der Nutzenden über die Funktionen der eingesetzten Thermostate gefragt und ob die Nutzenden bereits mit dem Thermostat die gewünschte Temperatur nachreguliert hatten.

Von den zwölf befragten Beschäftigten gaben drei Personen an, die Temperatur in ihrem Raum nicht eigenständig regeln zu können, sechs Personen bemängelten eine schlechte Erreichbarkeit der Thermostate in ihrem Raum. Lediglich drei Beschäftigte konnten Angaben dazu machen, über welche Funktionen das Thermostat in ihrem Raum verfügt und nur eine Person achtete beim Verlassen des Raumes darauf, das Thermostat auf die niedrigste Stufe herunter zu regeln.

Von den 220 Studierenden gaben 182 Befragte an, die Temperatur in ihrem Seminarraum nicht eigenständig regulieren zu können und 121 Befragte bemängelten eine schlechte Erreichbarkeit der Thermostate. Der überwiegenden Mehrzahl der Studierenden waren die Funktionen der programmierbaren Thermostate nicht bekannt: 172 Befragte konnten keine Funktionen benennen. Weiterhin fällt eine Gleichgültigkeit bezüglich des Herunterregelns der Thermostate beim Verlassen des Raumes auf: Lediglich 44 Studierende achteten beim Verlassen des Raumes darauf, das Thermostat herunter zu regeln.

Die meisten Nutzerinnen und Nutzer des betrachteten Büro- und Hörsaalgebäudes gaben an, nicht ausreichend über die Funktionsweise der eingesetzten programmierbaren Thermostate informiert zu sein. Da die meisten Nutzerinnen und Nutzer die Funktionen des Thermostates nicht kannten, stellte sich die Frage, ob fehlende Nutzerfreundlichkeit (Usability) die Ursache dafür sein könnte.

5.9.3 Usability-Tests im Labor

5.9.3.1 Stichprobe und Methodik

Es nahmen insgesamt 30 Versuchspersonen an den Testungen teil. Sie rekrutierten sich aus technikaffinen Studierenden und Mitarbeitenden des Gebäudes, wobei lediglich eine Person über Erfahrungen mit ähnlichen Thermostaten berichtete. In dem beschriebenen Gebäude ist ein ingenieurwissenschaftlicher Studiengang ansässig.

In den Auswertungen konnten alle 30 Datensätze berücksichtigt werden, 19 Versuchspersonen waren männlich und elf Versuchspersonen weiblich. Aus Gründen der Anonymität wurde das Alter der Versuchspersonen nicht erfragt.

In Anlehnung an die Arbeit der Forschergruppe von Perry et al. (2011) wurden zwei verschiedene programmierbare Thermostate (Honeywell HR 40 und Funk-Heizkörper-Thermostat-Set FHT 8 von Conrad) getestet (Abbildung 112). Das Thermostat von Honeywell ist in allen Räumen des betrachteten Gebäude H verbaut, das Gerät von Conrad sollte dabei im Usability-Test als eine mögliche Alternative geprüft werden, da es moderner gestaltet ist und mit einem Funkmodul zur Fernbedienung ausgestattet ist. Das Thermostat von Conrad kann an einer Wand montiert werden oder mobil in Funkreichweite beispielsweise vom Sofa aus eingestellt werden. Spontan äußerten die Versuchspersonen vor dem Test eine größere Sympathie für das Thermostat von Conrad als für das Thermostat von Honeywell.



Abbildung 112: Honeywell HR 40 und Funk-Heizkörper-Thermostat-Set Conrad FHT 8

Die Versuchspersonen hatten im Test zwei nutzungstypische Usability-Aufgaben an jeweils einem Thermostat durchzuführen. Die vorgelegten Thermostate konnten dabei mit Hilfe der jeweiligen beiliegenden Bedienungsanleitung bedient werden. Die Versuchspersonen erhielten keine Hilfestellung durch Dritte. Wenn die Versuchsperson mitteilte, dass sie die Aufgabe nicht lösen konnte, konnte sie nach kurzer mündlicher Information an die Versuchsleitung zur nachfolgenden Aufgabe übergehen. Wenn nach 20 Minuten eine Aufgabenerfüllung nicht erfolgt war, wurde die Aufgabe von der Versuchsleitung abgebrochen. Innerhalb der 20-minütigen Bearbeitungszeit konnten die Testpersonen sich die Zeit frei einteilen.

Die beiden zu erfüllenden Arbeitsaufgaben wurden in ein Szenario eingebettet, um die Bearbeitungszeit für die Erledigung der Aufgaben für die Versuchsperson zu begrenzen. Das Szenario lautete: „Sie sind Bewohner einer großen Wohnung und wollen Ihren Energieverbrauch optimieren. Da Sie tagsüber außer Haus sind und keine

weiteren Bewohner die Räume nutzen, überlegen Sie, während fehlender Nutzung die Raumtemperatur im Badezimmer, als ersten Versuchsraum, zu drosseln. Dazu haben Sie sich ein programmierbares Heizkörperthermostat beschafft. Sie haben dieses gerade erfolgreich montiert und wollen eine automatische Temperatureinstellung vornehmen. Sie haben gerade 15 Minuten Zeit, bis Sie zum Sport abgeholt werden. Eine Bedienungsanleitung liegt vor und kann benutzt werden.“

Die Testpersonen hatten insgesamt 20 Minuten Bearbeitungszeit, um folgende zwei Arbeitsaufgaben an jeweils zwei Thermostaten nacheinander zu lösen:

1. Das Thermostat ist in der Grundeinstellung im Automatik-Modus mit 20,0 Grad Celsius voreingestellt und soll auf manuellen Betrieb mit 25,5 Grad Celsius umgestellt werden.
2. Es soll ein Heizprogramm für die Werktage Montag bis Freitag erstellt werden, in dem die übliche Raumtemperatur bei 18 Grad Celsius liegt. In den Zeiten zwischen 06:00 Uhr bis 08:00 Uhr soll die Temperatur automatisch auf 21,0 Grad Celsius ansteigen.

Die Task Load bei der Erfüllung der Aufgaben wurde mit einem modifizierten Fragebogen NASA-TLX erhoben, nachdem die Versuchsperson das jeweilige Thermostat benutzt hatte. Da der NASA-TLX in Originalform ursprünglich für die Bewertung von Tätigkeiten in der Luftfahrt eingesetzt wurde, wurden für die Erhebung bei der Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung die Items des NASA-TLX auf die Thermostate angepasst. Auf der verkürzten siebenstufigen Skala des NASA-TLX wurden die Items geistige Anstrengung, Zeitdruck, Grad des Erfolges, Grad der Anstrengung zur Zielerfüllung und emotionale Verfassung bei der Zielerfüllung abgefragt (Hart & Staveland, 1988), (NASA Task Load Index (TLX), 2003). Zudem wurde die Aufgabenerfüllung mit einer Videokamera aufgenommen; die Versuchspersonen wurden gebeten, laut zu denken.

Das laute Denken wurde an einer Lego-Aufgabe geübt. Bei der Beobachtung durch die Versuchsleitung wurden die Anzahl der Versuche, die jeweilige Aufgabe zu erfüllen, die Aufgabenerfüllung (ja/nein) und die Zeitdauer zum Lösen der jeweiligen Aufgabe dokumentiert und mithilfe der Videos nochmals überprüft.

5.9.3.2 Ergebnisse des Usability-Tests

Von den insgesamt 30 Personen im Test bearbeiteten 13 Versuchspersonen die beiden Testaufgaben an dem Thermostat HR 40 von Honeywell, die anderen 17 bearbeiteten die beiden Testaufgaben an dem Thermostat von Conrad. Zunächst war beabsichtigt, an beiden Thermostaten die gleiche Anzahl Versuchspersonen arbeiten zu lassen, weshalb eine höhere Anzahl an Tests durchgeführt wurde. Bei Sichtung und Bereinigung des vorhandenen Datenmaterials wurde aber deutlich, dass aufgrund fehlerhafter Datensätze keine Gleichverteilung der Versuchspersonen-Anzahl vorliegt.

Korrekte Bedienung der Thermostate (Usability-Kriterium Effektivität)

Vier Versuchspersonen brachen die Bearbeitung der Arbeitsaufgaben erfolglos vor Ablauf der Bearbeitungsdauer ab. Während die erste Arbeitsaufgabe (Thermostat in den manuellen Betriebszustand versetzen) den Testpersonen mehrheitlich gelang, kehrte sich die Sachlage bei der zweiten Arbeitsaufgabe (Heizprogramm einstellen) um. Bei Arbeitsaufgabe 2 konnten nur wenige Testpersonen die an sie gestellten Erwartungen erfüllen und die Bearbeitung dauerte in jedem Fall deutlich länger (vgl. Tabelle 95). Es besteht kein Zusammenhang zwischen der richtigen Aufgabenlösung und dem Thermostat. Dies wurde mittels eines Chi-Quadrat-Tests geprüft. Es ergibt sich hierfür: $\chi^2(2) = 1,65$, $p = 0,44$.

Zeit für die Zielerreichung (Usability-Kriterium Effizienz)

Für die Bearbeitung des ersten Arbeitsauftrags wurden durchschnittlich 02:31 Minuten (Minimum 00:07 Minuten, Maximum 06:45:00 Minuten, SD = 01:35 Minuten), für die Lösung des zweiten Arbeitsauftrags im Durchschnitt 07:21 Minuten benötigt (Minimum 01:31 Minuten, Maximum 17:08 Minuten, SD = 03:29 Minuten). Die Bearbeitungszeiten der Arbeitsaufträge mit korrekter Aufgabenerfüllung bzw. Nichterfüllung können der Tabelle 95 entnommen werden.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen den Bearbeitungszeiten für die jeweiligen Aufgaben und dem geprüften Thermostat mittels Chi-Quadrat-Test zu ermitteln, wurden die Bearbeitungszeiten für die erste und die zweite Aufgabe jeweils am Median gesplittet. Hierbei wird die intervallskalierte Variable „Bearbeitungszeit“ künstlich dichotomisiert, d. h. der Datensatz wird mittels Mediansplit in zwei etwa gleichgroße Gruppen aufgeteilt (Bortz & Döring, 2006).

Für beide Aufgaben konnte kein Zusammenhang zwischen der Bearbeitungszeit und dem geprüften Thermostat bestätigt werden: Für die Bearbeitungsdauer der ersten Aufgabe ergibt sich $\chi^2(27) = 27,6$, $p = 0,42$, für die Bearbeitungsdauer der zweiten Aufgabe ergibt sich $\chi^2(29) = 30,0$, $p = 0,41$.

Thermostat-Typ	Aufgabe 1		Bearbeitungsdauer bei Erfüllung der Aufgabe 1		Aufgabe 2		Bearbeitungsdauer bei Erfüllung der Aufgabe 2	
	erfüllt	nicht erfüllt	MW	SD	erfüllt	nicht erfüllt	MW	SD
Honeywell HR 40 (N=13)	7	6	2:15	0:56	1	12	04:56	
Conrad FHT 8 (N=17)	9	8	2:15	1:27	4	13	6:44	2:03
Gesamt			2:15	1:13			6:22	1:57

Tabelle 95: Usability-Tests der Thermostate: Aufgabenerfüllung und Bearbeitungsdauer

Task Load und Zufriedenheit der Testpersonen

Die siebenstufige Skala des NASA-TLX mit den Ankerpunkten "1 = in sehr geringem Maße" und "7 = in sehr hohem Maße" wird bei der Bewertung der Thermostate durch die Testpersonen in keinem der betrachteten Fälle voll ausgeschöpft.

Nach Beantwortung der Items im NASA-TLX sahen sich die Testpersonen einer mittleren geistigen Beanspruchung bei der Bearbeitung der Aufgaben ausgesetzt (MW = 3,97; SD = 1,52; Bewertung auf einer siebenstufigen Skala mit den Ankerpunkten "1 = in sehr geringem Maße" und "7 = in sehr hohem Maße"). Der Aspekt „Zeitdruck“ wurde sogar auf noch geringerem Niveau berichtet: MW = 2,93, SD = 1,53 (Bewertung auf einer siebenstufigen Skala mit den Ankerpunkten "1 = in sehr geringem Maße" und "7 = in sehr hohem Maße"), wobei die Bewertungen des Thermostats von Conrad hinsichtlich des Zeitdrucks geringfügig höher lagen als für das Thermostat von Honeywell. Der Zeitdruck bei der Bearbeitung des Gerätes von Conrad wurde von den Testpersonen stärker wahrgenommen, wenn diese die jeweilige Aufgabe nicht korrekt bearbeiteten. Beim Gerät von Honeywell ist dieser Sachverhalt umgekehrt: hier empfanden diejenigen Versuchspersonen, die die Aufgaben korrekt lösten, den höheren Zeitdruck (Abbildung 113 und Abbildung 114).

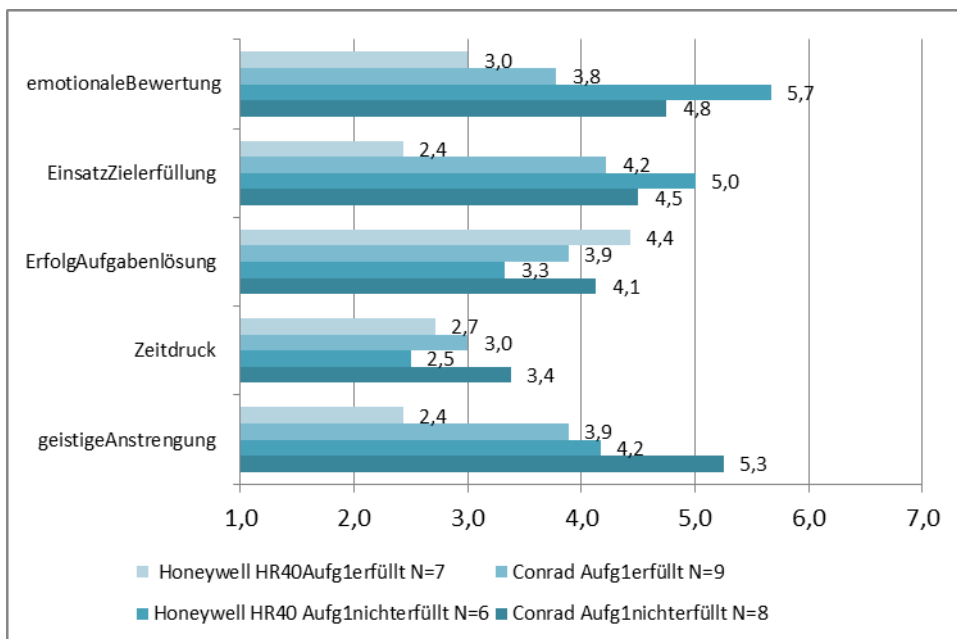


Abbildung 113: Aufgabe 1 – Selbstbewertung der Probanden nach dem angepassten Fragebogen NASA-TLX

Bewertung auf siebenstufiger Skala von "1 = in sehr geringem Maße" bis "7 = in sehr hohem Maße"

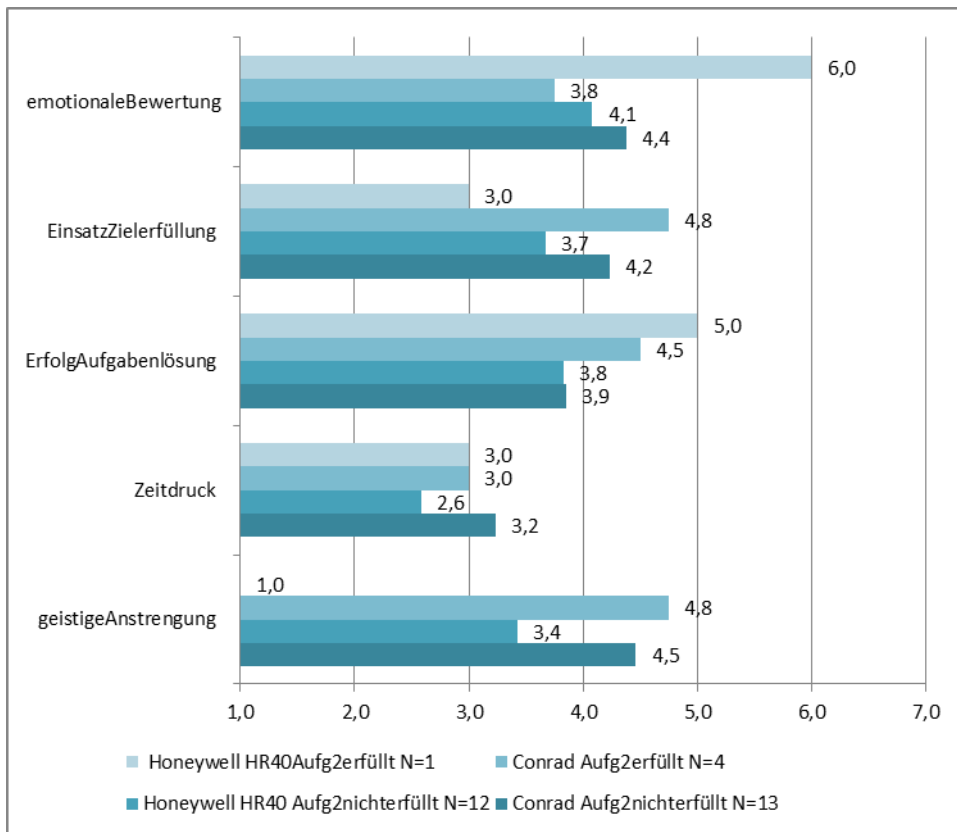


Abbildung 114: Aufgabe 2 – Selbstbewertung der Probanden nach dem angepassten Fragebogen NASA-TLX

Bewertung auf siebenstufiger Skala von "1 = in sehr geringem Maße" bis "7 = in sehr hohem Maße"

Die Testpersonen sahen sich nach der Bearbeitung des ersten Arbeitsauftrags auf einer siebenstufigen Bewertungsskala in erhöhtem Maß von der richtigen Durchführung überzeugt (MW = 5,27; SD = 1,82). Auch nach Bearbeitung der zweiten Aufgabe, bei der nur wenige Testpersonen erfolgreich waren, zeigten sie sich in hohem Maß von der Richtigkeit ihrer Handlungen überzeugt (MW = 4,07; SD = 2,26).

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen der objektiven Zielerfüllung und der (subjektiven) Selbstbewertung der Versuchspersonen mittels Chi-Quadrat-Test zu ermitteln, wurde der Erfolg der Aufgabenlösung am Median gesplittet. Hierbei wird die Variable „Erfüllungsgrad“ dichotomisiert. Mittels eines Chi-Quadrat-Tests wurde der Zusammenhang zwischen der objektiven Zielerfüllung und der (subjektiven) Selbstbewertung auf Signifikanz geprüft. Bei der Aufgabenbearbeitung konnte kein signifikanter Zusammenhang identifiziert werden, es ergaben sich hierfür: $\chi^2(1) = 0,43$, $p = 0,52$. Es gab also keinen Zusammenhang im Hinblick auf die Aufgabenlösung und Selbstberichte für die Aufgabenlösung. Das heißt, die Versuchspersonen konnten nicht erkennen, ob sie die Aufgabe objektiv erfolgreich gelöst hatten oder nicht.

5.9.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse (Bewertung)

Insgesamt verweisen die Ergebnisse aus diesem Versuch zur Bedienfreundlichkeit von Thermostaten darauf, dass programmierbare Thermostate nur eingeschränkt zur Reduktion von Energiekonsum tauglich sind. Insgesamt – über alle Thermostate gesehen – konnten lediglich in 2/3 der Fälle die Testpersonen die Aufgaben richtig lösen. Die Thermostate wurden trotz der vorliegenden Gebrauchsanweisungen mehrheitlich – über beide Aufgaben betrachtet – nicht richtig programmiert. Für die Versuchspersonen war dabei nicht erkennbar, ob die Thermostate richtig eingestellt sind, denn sie bewerteten die Zielerreichung nach dem Fragebogen NASA-TLX eher im mittleren denn im niedrigen Bereich. Die Versuchspersonen bemerkten oft nicht, dass sie die Thermostate falsch bedienten: Sie gaben an, die Programmierung richtig durchgeführt zu haben, obwohl die objektiven Daten aus den Videoanalysen dies nicht bestätigen. Dass bei Anwendung der Thermostate kein Feedback über die Technik erfolgt, mit dem die Nutzenden die eigene Zielerreichung exakt einschätzen können, ist ein großer Mangel der Technikgestaltung.

Nach den Kriterien des NASA-TLX schnitt das Thermostat von Conrad etwas besser ab als das Thermostat von Honeywell; dies zeigte sich auch im Aspekt Zielerreichung. Die Programmierung der Thermostate erforderte einen hohen kognitiven Aufwand und verunsicherte die Testpersonen: Die Thermostate scheinen nicht selbsterklärend zu sein und geben zu wenig Feedback darüber, ob das erwünschte Ziel richtig erreicht wurde. Es waren teilweise recht lange Bearbeitungszeiten bei der Aufgabenbewältigung zu verzeichnen. Die vorliegenden Ergebnisse ähneln damit den Befunden aus den Arbeiten von Perry et al., 2011: Zwar wurden dort andere Thermostattypen verbaut, aber auch dort führte mangelnde Nutzungsfreundlichkeit zur Fehlbedienung (Perry, et al., 2011).

Die Ergebnisse der Usability-Studie erklären damit auch, warum die Nutzung der Thermostate im Alltag nicht so wie vorgesehen erfolgte. Die Nutzerinnen und Nutzer der Büroräume erkannten nicht sofort, wie Thermostate richtig zu bedienen waren, und scheuten die hohen Kosten an Zeit und Aufwand, sich mit den Thermostaten intensiver zu beschäftigen, noch dazu, da sie schwer zugänglich waren.

Unter Bezugnahme auf die wörtlichen Äußerungen der Versuchspersonen und weiterer Interessenten an der Studie kann berichtet werden, dass vor dem Test zunächst ein großes Interesse an dem Thermostat von Conrad bestand und der Wunsch geäußert wurde, dieses auszuprobieren. Während und nach dem Testdurchgang folgte in vielen Fällen Ernüchterung, weil die Funktionen des Gerätes anders waren als erwartet und/oder ein Feedback des Gerätes unterblieb, ob eine Aufgabe richtig erfüllt wurde.

Auch unter ökologischen Gesichtspunkten konnte das Thermostat von Conrad nicht als Alternative zum bisher verbauten Gerät von Honeywell HR 40 zum Einsatz in öffentlichen Liegenschaften empfohlen werden. Für jedes Thermostat dieses Typs werden vier Batterien benötigt, zwei davon vom Stellantrieb, der unmittelbar am Heizkörper befestigt wird, und zwei weitere am Bedienteil. Das getestete Thermostat von Honeywell braucht zwei Batterien. Die Funktionalität dieser Batterien muss zur

Gewährleistung der korrekten Verwendung fortlaufend geprüft werden und ist störanfällig. Es ist ein hoher Personalaufwand nötig, um die Batterien zu kontrollieren oder auszutauschen, um die allgemeine Funktionalität der Thermostate zu gewährleisten. Darüber hinaus ist aber ein fehlendes Verständnis der Anwendenden belegt, sodass bei einem weiteren Einsatz der Thermostate v. a. Probleme des sogenannten Backfire, also eines deutlichen Mehrverbrauchs, plausibel sind.

5.9.3.4 Methodische Einschränkungen

Die vorliegende Usability-Untersuchung orientiert sich an einem experimentellen Design in einem Labor, indem sie gleiche Aufgaben vorgibt, andererseits erhalten die Testpersonen sehr viel Freiheit, wie sie die Aufgabe lösen, was dem experimentellen Charakter teilweise zuwiderläuft. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass das Projektteam versuchte, das Setting möglichst eng an eine Alltagssituation anzunähern. Die interne Validität wurde damit zugunsten ökologischer Validität reduziert. Die Ergebnisse dürften sich jedoch gemessen an den Alltagsbeobachtungen in den Büroräumen gut replizieren lassen.

Der Kreis der Testpersonen war insofern untypisch und nicht repräsentativ, da bei den Untersuchungen auf ad hoc-Stichproben zurückgegriffen wurde, die leicht verfügbar waren. Hierbei handelte es sich überwiegend um Studierende und Mitarbeitende aus einem ingenieurwissenschaftlichen Studiengang: Technikaffinität konnte also vorausgesetzt werden. Trotz dieser Technikaffinität und einem grundlegenden Verständnis dafür, dass z. B. bei derartigen Thermostaten Tasten Mehrfachbelegungen aufweisen, und der Möglichkeit, die Gebrauchsanweisungen heranzuziehen, konnten viele Versuchspersonen die Aufgaben nicht lösen. Möglicherweise vertrauen technikaffine Personen ihrem Können und verlassen sich zu sehr auf ihre Vorannahmen zur Bedienung und Funktionsweise von Thermostaten allgemein, ohne sich über die technischen Besonderheiten zu informieren. Daraus kann jedoch nicht angenommen werden, dass Personen ohne besondere technische Vorbildung die Thermostate leichter bedienen können. Ein Blick in Internetforen zeigt jedoch, dass Beschwerden zur Bedienbarkeit von programmierbaren Thermostaten häufiger vorkommen. Diese Beschwerden sind natürlich nicht repräsentativ.

Der empfundene Zeitdruck einiger Versuchspersonen könnte auch dem Versuchsdesign geschuldet sein: Die zu erfüllenden Aufgaben waren in ein Szenario eingebettet und sollten die Bearbeitungsdauer im Test begrenzen, die gemessen an der Komplexität vielleicht auch ein wenig kurz war. Andererseits steht zu befürchten, dass die meisten Nutzenden kein Interesse daran haben, viel Zeit in die Programmierung zu stecken und daher das Zeitfenster auch als realistisch einzuschätzen ist.

5.10 Wesentliche Erkenntnisse aus den Arbeiten und Ableitung von Forschungsdesiderata

5.10.1 Probleme mit dem technischem Equipment und der Organisation

In Publikationen zu öffentlich geförderten Projekten im wissenschaftlichen Bereich besteht ein so genannter Publication Bias. Veröffentlicht werden Projekte und Teile aus Projekten, die sich als Erfolg darstellen lassen. Gerade wenn öffentliche Gelder in Forschungen eingesetzt werden und weitere Programme gefördert werden sollen, sollte auch den eher weniger erfreulichen Ergebnissen Aufmerksamkeit geschenkt werden (Dickerson, 1990).

In diesem Projekt bestanden etliche technische Herausforderungen, die so oder ähnlich auch in anderen Projekten zu Energie Monitoring auftreten (können), aber leider kaum berichtet werden. Derartige Probleme sind in der psychologischen Literatur nicht umfassend beschrieben, wurden aber auf den Tagungen z. B. FONA 2014 oder Aachen 2013 unter den Anwesenden durchaus diskutiert. Gebäudedienstleister und Angehörige der Haustechnik vieler Hochschulen berichten vergleichbare Herausforderungen.

Es wurden viele Stunden in die Analyse der technischen Probleme, Fehlersuche und Aufbau, später den Austausch des technischen Equipments eingesetzt. Probleme des Wissensmanagements zwischen Hochschule und Landesbehörden behinderten den Aufbau und die Umsetzung des Energie Monitorings wesentlich. Dazu zählen unvollständige Dokumentationen, Verantwortungsdiffusion durch die Trennung von Eigentümer und Betreiberstruktur, Verlust von Wissen durch ausscheidende Beschäftigte. Zudem waren die Heizkostenverteiler nicht für ein häufiges Auslesen von Daten geeignet.

Das behinderte den Fortgang der psychologischen Interventionen an der HN, die daher dort nicht parallel zum UCB durchgeführt werden konnten. Zudem konnte eine Messperiode gar nicht durchgeführt werden.

Später kam u. a. die Installation neuer Techniken hinzu, die die Funkübertragung störten. Umbauarbeiten und die Installation neuer Technik, die die Funkübertragung der Heizkostenverteiler störten, sind Probleme, die für die Antragsteller nicht vorhersehbar waren. Es konnte auch im Laufe des Projektes nicht mehr herausgefunden werden, welche Umbaumaßnahmen die Probleme verursachten und wie sie sich durch eine verbesserte interne Kommunikation möglicherweise verhindern lassen.

5.10.2 Lessons Learned

5.10.2.1 Lessons learned als Bestandteil von Evaluationen

Das Projekt ist als eine Interventionsstudie mit begleitender Evaluation angelegt. Ein Vorwissen, welche möglichen Probleme beim Aufbau und der Durchführung eines Energie-Monitorings entstehen können, ist für die Interventionen im Bereich des

Energie-Monitorings hilfreich. Insofern werden die Erfahrungen in einer Checkliste zusammengefasst, die sich an die Kontextanalyse des CIPP-Modells von (Stufflebeam, 2002) anlehnt. Das CIPP-Modell soll dabei helfen, Evaluationen zu unterstützen, und umfasst vier wesentliche Aspekte:

1. Kontext: Bestimmung von Bedarfen, die Ressourcen und die möglichen Problemen innerhalb eines spezifizierten Umfelds
2. Input: Analyse der alternativen Strategien der Implementierung eines Evaluationsgegenstandes sowie die Ablaufpläne und Budgets
3. Prozesse: Erfassen, Dokumentation und Bewertung von Programmaktivitäten
4. Produkt: Erfassen des Impacts, der Effektivität, der Nachhaltigkeit und Übertragbarkeit des zu evaluierenden Ansatzes oder Programms

Das CIPP-Modell erhebt den Anspruch, die Güte und den Wert eines Evaluationsgegenstandes zu bewerten, und darüber hinaus sollen die „Lessons learned“, die daraus gelernten Lektionen, dargestellt werden.

5.10.2.2 Zielsetzungen für die Projekte

Zielsetzungen in Organisation umfassen häufig Kosteneinsparungen. Dies ist in wenigen Fällen ein attraktives Ziel für die unterschiedlichen Gruppen einer Organisation. Erst mit der Verbindung von anderen, für die Anspruchsgruppen attraktiven Zielen, kann eine weitreichende Akzeptanz erzeugt werden. Ziele sollten smart sein: spezifisch, messbar, realistisch und terminiert (Locke & Latham, 1990). Diese Zielsetzungen, z.B. gekoppelt mit finanziellen Anreizsystemem, sollten zukünftig mit den Leitungen der Hochschulen vereinbart werden, um hier eine stärkere Zielbindung zu erreichen.

In den Evaluationsprojekten wie in den Interventionsprojekten sind die Entwicklung von Vorabinformationen des Projektes und Identifikation des gemeinsamen Nutzens für die Akzeptanz des Projektes von Bedeutung. Während eine zielgruppengerechte Ansprache für die Anspruchsgruppen Führung, Mitarbeitende in der Verwaltung und Studierende gut vorbereitet war, hätten die Mitarbeitenden der Haustechnik stärker vorab informiert werden sollen. Sie waren sehr wichtige Beteiligte im Projekt, und die Autorinnen waren auf die Zuarbeit angewiesen. Dies wurde im Laufe des Projektes zwar angepasst, sollte aber künftig besser beachtet werden.

5.10.2.3 Berücksichtigung der Belange der Beteiligten

Die in diesem Projekt beteiligten und anzusprechenden Personen waren neben der Hochschulleitung, die ihr Einverständnis zum Projekt geben musste,

- Datenschutzbeauftragte
- Personal/Betriebsrat
- Haustechnik
- IT
- Gebäudemanagement
- Verwaltungsleiter
- Multiplikatoren
- Liegenschaftsbetriebe

Bei systematischen Datenerhebungen unter Mitarbeitenden ist die Einbindung von Datenschutzbeauftragten und Personalrat bzw. Betriebsrat unabdingbar (z. B. Betriebsverfassungsgesetz; Datenschutzgesetz). Die Neueinführung technischer Geräte erfordert die Zusammenarbeit mit dem Gebäudemanagement und der IT. Die Betreiber von Gebäuden sind nicht gleichzeitig die Eigentümer von Gebäuden, was Probleme mit Verantwortungszumessung und -übernahme ergeben kann.

Beteiligte Personen

Vom Projekt Betroffene	<ul style="list-style-type: none"> • Wer muss angesprochen werden? • Welche Interessen haben diese Personen, teilzunehmen bzw. nicht an dem Projekt teilzunehmen? • Können Beteiligte das Projekt zum Scheitern bringen?
Festlegen der notwendigen Kooperationsanforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Sind die zu erbringenden Leistungen der kooperierenden Stelle klar und definiert?

Information und Kooperation sicherstellen

Entwicklung von Vorabinformationen für die kooperierenden Personen sowie über das Ziel und den Verlauf des Projekts	<p>Information über den voraussichtlich notwendigen Umfang der Kooperation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Informationen müssen zur Verfügung gestellt werden? • Wie soll die inhaltliche Mitwirkung der beteiligten Personen aussehen? • Welcher zeitliche Umfang ist dafür notwendig?
Festlegen der Verantwortlichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Sind die definierten zu erbringenden Leistungen der kooperierenden Stelle schriftlich vereinbart?

Identifikation konkurrierender Projekte

Umbaumaßnahmen/ Neubauten	<ul style="list-style-type: none"> • Sind Maßnahmen geplant, die Auswirkungen auf das Energie Monitoring haben? • Verändern sich Zuordnungen zu Mess-Stationen / Zählern? • Sind durch Umbaumaßnahmen Veränderungen in den Energieverbräuchen zu erwarten?
Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> • Sind durch die weiteren Projekte noch ausreichend Ressourcen für das Energie Monitoring vorhanden?

Unabhängige Bewertung des technischen Ist-Zustandes

Eine sehr sorgfältige Analyse des Ist-Zustandes vor Projektbeginn vermeidet unangenehme Überraschungen. Hier bietet sich eine Fremdeinschätzung an, da Menschen in Bezug auf ihre eigene Leistungsfähigkeit (oder auch Leistungsfähigkeit der eigenen Organisation) in der Regel zu positiv im Vergleich zu anderen bewerten. So sind selektive Informationssuche, Wahrnehmungsverzerrungen an der Tagesordnung (Wottawa & Gluminski, 1995).

<i>Bewertung der Technischen Ausstattung und der notwendigen Nachrüstung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ist eine gebäude- bzw. raumscharfe Überwachung möglich? • Welche Ausstattung ist vorhanden: z. B. Wärmemengenzähler, Stromzähler, Heizkostenzähler? • Sind die Daten den Gebäuden eindeutig zuzuordnen? • Sind alle Zähler geeicht? • Sind alle Zähler vom selben Modell? • Arbeiten die Zähler mit Wandlerfaktoren? • Messen alle Zähler das gleiche? • Wurden Plausibilitätschecks vorgenommen? • Welche technische Ausstattung besteht für die Datenübertragung an das Gebäudemanagement?
Vorhandene Dokumentation der technischen Ausstattung und der baulichen Veränderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Sind umfängliche Gebrauchsanweisungen für Zähler vorhanden? • Sind alle Zähler mit einer Anleitung zur Handhabung der jeweiligen Wandlerfaktoren bestückt? • Sind die baulichen Veränderungen umfassend dokumentiert? • Sind alle Zähler durchgehend nummeriert?
Organisation der Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> • Besteht eine kontinuierliche Dokumentation für die Zählerdaten? • Werden die Daten von einer, maximal zwei Personen verwaltet? • Werden die Daten einheitlich und vergleichbar dokumentiert? • Gibt es eine Übersicht, was an den Netzersatz angeschlossen ist? • Sind Elektropläne in einheitlichem Format vorhanden?

Zuverlässigkeit der Datenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • Können alle relevanten Personen die Daten richtig auslesen und auswerten? • Bestehen Anleitungen zum Auslesen der Zähler? • Gibt es Baseline-Messungen, mit denen alle weiteren Datenerfassungen abgeglichen werden können? • Gibt es einen genau einzuhaltenden Zeitplan für die Datenerhebungen? • Sind alle relevanten Zähler in der Auswertroutine erfasst? • Gibt es ein regelmäßiges Backup der Daten?
------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Identifikation von Gruppen, die Schaden nehmen könnten

Eine „Totalüberwachung“ wäre denkbar. Mitarbeitende, die wenig Interesse an energieeffizienten Verhaltensweisen haben, könnten identifiziert werden. Über die engmaschige Protokollierung von Energiedaten sind Muster technischer Geräte identifizierbar. So könnte beispielsweise der verbotene Gebrauch von Kaffeemaschinen, Heizlüftern usw. lokalisiert werden.

Besonders gefährdete Personengruppen	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeitende in Einzel- und Zweierbüros • Menschen mit Behinderung
--------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Sicherstellen des Datenschutzes: ethische Erfordernisse

Als organisatorische Lösung, den Datenschutz zu gewährleisten, sollten spezifische Daten nur gruppenweise erfasst werden, um die Anonymität von Einzelpersonen sicherzustellen. Für eine sichere Datenübertragung müssen den Kooperationspartnern verschlüsselbare, geschützte Zugänge eingerichtet werden.

<i>Sicherheit von Daten (technisch)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sind Auslesetakt, Sensitivität der Daten, Übertragung an externe Stellen und Schwierigkeit, die Daten den Personen zuzuordnen, für den Datenschutz optimiert? • Sind die Geräte vor unbefugtem Zugriff geschützt? • Sind die Geräte vor Manipulation geschützt? • Ist für eine Ende-zu-Ende-Verschlüsselung gesorgt?
<i>Datensparsamkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ist sichergestellt, dass nur zweckgebundene Daten erhoben werden?
Sicherstellen der Anonymität der Personen	<ul style="list-style-type: none"> • Ist sichergestellt, dass die Erhebung individualisierter Profile vermieden wird? • Kann ausgeschlossen werden, dass durch Kombination von Daten beteiligte Personen identifiziert werden? • Sind die Daten pseudonymisierbar? • Werden Schlüssel, die eine Zuordnung von Pseudonymen zu Personen ermöglichen, sicher verwahrt, so dass Dritte keinen Zugang haben?

Freiwilligkeit bei Datenerhebungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ist sichergestellt, dass individualisierte Daten nicht ohne Einwilligung verarbeitet werden? • Wie wird der Widerruf bei personenbezogenen Daten sichergestellt?
Löschung von personenbezogenen Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Ist sichergestellt, dass die Daten nach einem bestimmten Zeitraum gelöscht werden?

5.10.3 Einschränkungen in der Umsetzung der psychologischen Interventionen

5.10.3.1 Partizipatives Schulungs- und Umsetzungskonzept

Ein partizipativ orientierter Ansatz ließ sich nur teilweise durchführen und anders als geplant. Die von der Forschergruppe entwickelten Angebote wurden von den Mitarbeitenden kaum angenommen, weder beim Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) noch bei der Hochschule Niederrhein (HN). Daraus zu folgern, dass hier überhaupt kein Interesse bestand, widerspricht allerdings den Erfahrungen der Forschergruppe. Es scheint vielmehr so zu sein, dass der Aufwand zu groß war.

Diekmann und Preisendörfer (1992) bieten mit der Low-Cost-Hypothese folgenden Erklärungsansatz: Umwelteinstellungen beeinflussen das Verhalten am meisten in Situationen mit geringen Kosten. Dies sind Situationen, die kaum Aufwand (d. h. Mühe, Zeit, Kosten) mit sich bringen (Diekmann & Preisendörfer, 1992). Einstellungen wirken sich demnach bei geringem Aufwand stark auf das Verhalten aus; ihr Einfluss nimmt aber mit zunehmendem Aufwand ab. Einstellungen und moralische Überzeugungen kommen vor allem dann zum Tragen, wenn die Verhaltensweise mit geringen Kosten verbunden ist (Schlaffer, et al., 2002; Piskernik, 2007).

Mitarbeitende konnten zwar die Angebote zur Schulung in ihrer Arbeitszeit wahrnehmen, es war aber nicht vorgesehen, dass ihre Aufgaben, die sie sonst hatten, dafür reduziert wurden. So sind Schulungen einfach nur eine Mehrbelastung, die auch nicht weiter honoriert wird. Die Veränderungen der letzten Jahre an den Hochschulen erhöhen die Arbeitsaufwände der Mitarbeitenden. An der HN stieg die Zahl der Studierenden von 10.780 im Jahr 2010 auf 14.511 Studierende im Jahr 2015 (Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences, 2015). Ähnliches dürfte auch am UCB stattgefunden haben.

Damit einhergehend fand ein starker Aufwuchs auch an Arbeitskräften im nicht-wissenschaftlichen und wissenschaftlichen Bereich statt, der nicht nur mit einer Neuverteilung von Arbeitstätigkeiten, aber auch Arbeitsverdichtung einhergeht, da die neuen Mitarbeitenden angeleitet werden müssen. Es ist zudem davon auszugehen, dass die im nicht-wissenschaftlichen Bereich eingesetzten Leiharbeitskräfte und befristet eingestelltes Personal weniger Commitment zu der sie beschäftigenden Organisation zeigen (Felfe, et al., 2005).

Mit veranlasst durch die wachsenden Studierendenzahlen wurde am Campus Krefeld Süd ein Neubau sowie weitere Umbauten ausgeführt: Verwaltungseinheiten wurden

umgesetzt, und der Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen erhielt ein eigenes neues Lehrgebäude im WS 14/15. Auch dieses band die Ressourcen der Mitarbeitenden. Diese Mehrbelastungen betrafen überwiegend auch die Mitarbeitenden im Gebäudemanagement und der Haustechnik.

Um also Energieeffizienz nachhaltig in Zeiten erhöhter psychischer Beanspruchungen umzusetzen, müssen Angebote der Wissensvermittlung und der Beteiligung deutlich niederschwelliger entwickelt werden, ggf. über digitale Unterweisungen und Foren. Digitale Formen der Kooperation und ein auf Energie und Nachhaltigkeit ausgerichtetes Ideenmanagement sollten zukünftig implementiert werden.

5.10.3.2 Einbindung in die normativen Orientierungen und Ziele der Hochschulen und Managementsysteme

In den Befragungsdaten zeigt sich ein deutlicher Effekt der Hochschulzugehörigkeit. Am UCB ist insgesamt eine deutlich höhere Nachhaltigkeitsorientierung bei den Studierenden festzustellen, was sich in Einstellungen, persönlichem Verpflichtungsgefühl usw. zeigt. Dagegen war dieser Effekt bei den Beschäftigten nicht so ausgeprägt. Für den Selbstselektionsprozess für die Studierenden, die sich entscheiden dort zu studieren, dürfte aber von Bedeutung sein, wie sich die Hochschule präsentiert. Beim UCB waren folglich die Veränderungen weniger stark ausgeprägt an der HN, da diese von einem insgesamt höheren Niveau starteten. Bei den Beschäftigten und Studierenden der HN wurden dagegen nach der ersten Schulung deutliche Erhöhungen der Einstellungen und Verhaltensintention in Bezug auf Energieeffizienz erreicht, welche stabil über den gesamten Projektverlauf blieben.

Dies gibt Hinweise auf die Notwendigkeit einer nachhaltigen Gestaltung von Organisationskultur mit den drei Ebenen Werten, Artefakten und Grundannahmen (Schein, 2004). Organisationswerte sind als explizierte Theorien der Organisation (espoused theory) oft in Leitbildern veröffentlicht und sind dem Bewusstsein zugänglich (Schein, 2004). Nachhaltigkeit als Formulierung ist in den Leitbildern beider Hochschulen enthalten. So heißt es bei der Hochschule Niederrhein „Nachhaltigkeit. Keine Generation darf auf Kosten der Nachfolgenden leben. Die Hochschule Niederrhein übernimmt und vermittelt ökologische und soziale Verantwortung“ (Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences, o. D.). Der UCB nutzt in Rheinland-Pfalz seine normative Zielsetzung wesentlich für seine Außendarstellung, was sich schon im Namen selbst zeigt. Die Trademark heißt „Umwelt macht Karriere“. Auf der UCB-Homepage steht als erster Leitsatz „Nachhaltigkeit ist ein globaler Trend! Wir erarbeiten unternehmerische und technische Lösungen, die ökologisch vertretbar, ökonomisch attraktiv und sozial gerecht sind“ (Hochschule Trier, o. D.). Bei Begehungen der Hochschulen wird die normative Orientierung des UCB deutlich: Solarpanels, Dokumentationen nachhaltiger Gebäudetechnik und nachhaltigkeitsorientierter Forschung sind vielfältig sichtbar. Dies ist an der Hochschule Niederrhein nicht in dieser Form verwirklicht. Symbole aber zeigen Wirkungen. Das Sichtbarste einer Organisationskultur

sind die so genannten Artefakte wie Strukturen, Produkte, Rituale, oder der Sprachgebrauch (Schein, 2004).

Die unterliegenden Annahmen als so genannte Alltagstheorien (theories in use) beinhalten dagegen die grundlegenden, unsichtbaren und teilweise vor-bewussten Basisannahmen über Mensch und Umwelt, Zeit oder Raum sowie die Natur der menschlichen Tätigkeiten und Beziehungen. Eine Veränderung dieser unterliegenden Annahmen ist damit genauso schwer wie die Erfassung und Beschreibung dieser. Die Veränderung von Werten und Normen geht zudem oft mit Verunsicherung und Abwehr einher (Schein, 2004). Auf innere Abwehrprozesse mag das Ansteigen der „Verantwortungsabwehr“ im Projekt hinweisen.

Wenn die Forderung nach Energieeffizienz sich unzureichend in Werthaltungen zeigt, sich nicht in Führungsstrukturen und damit einhergehende Symbole übersetzt, fehlt „etwas“. Dies wird vielleicht deutlich, wenn Beschäftigte formulieren, das erhaltene Energiesparpaket hätten sie lieber durch ihre Hochschulleitung erhalten denn durch die Mitglieder der Forschergruppe. Das wird mittels symbolischer Führung erklärbar. Über symbolische Führung wird Beschäftigten die Sinnhaftigkeit des eigenen Tuns vermittelt, welches sich an den Zielen der Organisation ausrichtet. Symbolische Führung vermittelt Wertorientierungen und erzeugt Vertrauen (Pfeffer, 1981). Dass die Hochschule Niederrhein das Projekt durch den weiteren Aufbau der Infrastruktur finanziell und durch Manpower wesentlich unterstützte, war den Mitarbeitenden nicht sichtbar. So ist zukünftig vermehrt auf die symbolische Kommunikation zu achten.

Um energieeffizientes Verhalten systematisch aufzubauen und dauerhaft zu verankern, sollte man stärker nach einem Change-Management-Ansatz vorgehen. Verhaltensänderungen müssen top-down vorgelebt werden und mit kontinuierlicher begleitender Information und Incentives unterstützt werden. Punktuelle Interventionen, so wie sie bislang durchgeführt wurden, verpuffen. Wenn eine höhere Führung und Symbolik eingesetzt werden kann, werden auch Veränderungen deutlicher und bleiben stabil. Change Management als Organisationsentwicklung (OE) ist „eine langfristige Bemühung, die Problemlösungs- und Erneuerungsprozesse in einer Organisation zu verbessern, vor allem durch eine wirksamere und auf Zusammenarbeit gegründete Steuerung der Organisationskultur – unter besonderer Berücksichtigung der Kultur formaler Arbeitsteams – durch die Hilfe eines OE-Beraters oder Katalysators und durch Anwendung der Theorie und Technologie der angewandten Sozialwissenschaften unter Einbeziehung von Aktionsforschung“ (French & Bell, 1990). OE initiiert einen Veränderungsprozess unter Einbindung der Betroffenen und umfasst aufeinander abgestimmte Interventionen, die sowohl auf Ebene der Organisation auf Strukturen, Systeme, Prozesse und Kultur einer Organisation wirkt als auch auf Denken, Fühlen und Verhalten der individuell Mitarbeitenden (Elke, 1999), (Nerdinger, 2011). Die Hochschule Niederrhein steht dabei gerade erst am Anfang von Veränderungsprozessen, die sich auf Energieeffizienz richten.

Um die angestrebten Wirkungen zu verstetigen, sollten die Veränderungsimpulse zu energieeffizientem Verhalten durch ein Umweltmanagementsystem stabilisiert werden. Ideal wäre es, wenn die Zielerreichung mit Incentives verbunden würde, da kein

individueller Nutzen für die Bemühungen zum Energiesparen in öffentlichen Gebäuden eintritt.

Baulich-strukturell kann durch Kommunikationszonen und ansprechend gestaltete Informationen zu Hochschulangelegenheiten, Umweltschutz und Energieeffizienz der kollegiale Austausch gefördert und Aufmerksamkeit für Nachhaltigkeitsthemen, Wissenszuwachs und gemeinsame Motivation geschaffen werden. Die Effekte struktureller Interventionen sollten jeweils mitevaluiert werden.

5.10.3.3 Feedback für die Nutzenden in Gebäuden

Es sollten im Rahmen von Managementsystemen konkrete Ziele definiert werden. Zielsetzungen führen zu höheren Leistungen (Locke & Latham, 1990). Appelle an Verhaltensweisen alleine sind wenig wirksam in Bezug auf Energieeffizienz, wenn nicht zugleich auch energieeffiziente Technologien stärker genutzt werden. Die Liste der geringst- und geringinvestiven Maßnahmen ist innerhalb eines solchen Managementsystems ein wertvoller Baustein und würde wahrscheinlich auch systematisch umgesetzt, sofern konkrete Verantwortlichkeiten definiert sind und mit konkreten Zielen belegt sind. Ziele erfordern dann eine systematische Rückkoppelung, d. h. Feedback.

An der Hochschule Niederrhein wurde nur eine Form des Feedbacks genutzt, nämlich CO₂-Ampeln, die in Vorlesungsräumen angebracht wurden. Insgesamt hatten diese ein positives Echo hervorgerufen, da man sich über die Qualität der Raumluft informiert fühlte. Aber sie forderten auch den „Spieltrieb“ heraus, indem man versuchte, die Anzeigen zu manipulieren.

Eine individualisierte Rückmeldung zum Energieverbrauch (Strom und Wärme) in den Räumen konnte an der HN nicht mehr im Rahmen des Projektes durchgeführt werden. Daten in der notwendigen Differenziertheit konnten aufgrund der nicht vorhandenen technischen Infrastruktur erst verspätet gewonnen werden, durften aber aus Datenschutz dann auch nicht genutzt werden. Doch selbst dann, wenn die Daten verfügbar gewesen wären, wären die Effekte verpufft, da durch Umzüge und Wechsel in den Beschäftigtengruppen sich das Feedback an andere Personen gerichtet hätte.

5.10.3.4 Anforderungen an die Beschaffung technischer Ausstattungen

Eine zu wenig beachtete Funktion ist die Beschaffung. Im Laufe des Projektes wurden immer neue Produkte wie beispielsweise Monitore in den Gebäuden installiert, wobei im Beschaffungsvorgang und im Betrieb keine Anbindung an das Projekt REGENA erfolgte. So treten gerade im Bereich des Energiesparens durch vermeintlich preiswerte Technologien in den öffentlichen Gebäuden jede Menge Rebound-Effekte auf (Santarius, 2012). Es werden durch neue Installation von energieverbrauchenden Techniken die Energieverbräuche wieder erhöht. So werden z. B. Monitore nachgerüstet, die in Dauerschleifen Imagefilme zeigen oder die Wegweiser in Gebäuden

ersetzen. Hier können Managementsysteme helfen, Nachhaltigkeit in Maßnahmen zur Energieeffizienz umzusetzen. Insofern kann nur ein Managementansatz zu einer dauerhaften Energieeinsparung führen.

Beschaffung ist ein Vorgang, der sich dauerhaft auf das Energiesparverhalten auswirkt, insofern kommt den Beschaffungsvorgängen eine besondere Bedeutung zu. Dies ist auch insofern von Interesse, da während der Projektlaufzeit auch das Tarif- und Vergabegesetz in den Bundesländern eingeführt wurde, und daher die Möglichkeit bestünde, ökologische und soziale Kriterien gezielt in die Beschaffung zu integrieren. Auch hier besteht eine Verbindung zu den normativen Grundlagen von Organisationen, die sich in verschiedenen Prozessen manifestieren müsste.

Auch eine Umgestaltung der Nutzung von Technik kann angedacht werden. Man sollte mehr zentrale Geräte nützen, die dezentral angesteuert werden können, gerade Drucker oder Kaffeemaschinen. Dies würde nicht nur Zwangshaltungen entgegenwirken, sondern auch dem Austausch der Beschäftigten untereinander förderlich sein. Hier wären zukünftig auch Informationstafeln und schwarze Bretter denkbar, die über Angelegenheiten der Hochschule informieren können, so eben auch über Energieeffizienz. Man kann mittlerweile wahrscheinlich stärker als über E-Mails mit sichtbaren Zeichen, mit ansprechend gestalteten Plakaten und schönen Motiven Aufmerksamkeit für Nachhaltigkeitsthemen schaffen.

Die Anwendungsfreundlichkeit von Bedienelementen ist eine weitere Größe, die stärker bei Beschaffungen berücksichtigt werden muss. Die verbauten Thermostate wiesen deutlichen Optimierungsbedarf auf. Die Nutzenden waren unzureichend über die Funktionen informiert und konnten die Thermostate nicht bedienen, was insgesamt dann einen deutlichen Mehrverbrauch bedingte. Die Ergebnisse sowohl bei der Hochschule Niederrhein als auch beim Umwelt-Campus Birkenfeld verweisen darauf, dass eine schwer verständliche Technik nur unzureichend genutzt wird und daher nur bei entsprechender Umgestaltung zur Reduktion von Energiekonsum tauglich ist. Das bedeutet als Bedienfreundlichkeit vor allem, die Technik sehr einfach zu halten.

Hier sollten auch die Fachkräfte aus der Haustechnik vermehrt eingebunden werden. Beschaffungen werden aus Kostengründen oft anders getätigt, als sie von den Fachkräften vorgeschlagen werden. So haben verminderte Kosten im Invest Auswirkungen auf die Kosten im Betrieb. Beschäftigte der Haustechnik und im Wachdienst sind zunehmend aus Fremdfirmen eingesetzt, was sich wiederum auf das Commitment und innovative Vorschläge an den Hochschulen auswirkt.

6 Projektbericht IZES gGmbH (03ET1070C)

Abschlussbericht

FuE-Vorhaben: Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation (REGENA)

Berichtsteil des Verbundpartners IZES gGmbH, Arbeitsfeld „Technische Innovationen“

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET1070C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtsteils liegt bei den Autoren.

Projektlaufzeit: 01.06.2012 - 31.05.2016

Projektleitung am IZES: Dr. Bodo Groß

Verantwortliche Autoren:

Dr. Bodo Groß, Sebastian Arns, Alejandro Tristan, Hannah Manns

Herausgeber:

IZES gGmbH

Institut für ZukunftsEnergieSysteme

an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW)

IT Park Saarland

Altenkesseler Straße 17, Geb. A1

D-66115 Saarbrücken

Hinweis: Zur besseren Lesbarkeit wird im Text nur die männliche Form verwendet, hiermit sind selbstverständlich auch Nutzerinnen, Mitarbeiterinnen, Dozentinnen und Professorinnen gemeint. Für Studenten und Studentinnen wird die Form „Studierende“ verwendet.

Saarbrücken, 30.09.2016

6.1 Ausgangssituation am Campus Krefeld-Süd der Hochschule Niederrhein

6.1.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung und technische Ausrüstung

Die Hochschule Niederrhein verzeichnete an ihren Standorten Krefeld-Süd, Krefeld-West und Mönchengladbach 2015 laut (Hochschule Niederrhein, kein Datum) insgesamt 14.511 Studierende der Fachrichtungen Chemie, Design, Elektrotechnik und Informatik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Ökotrophologie, Sozialwesen, Textil- und Bekleidungstechnik, Wirtschaftswissenschaften, Wirtschaftsingenieurwesen und Gesundheitswesen. Insgesamt sind an den drei Standorten 255 Professoren und 1161 Mitarbeiter beschäftigt.

Die Aktivitäten an der Hochschule Niederrhein im Rahmen des Forschungsprojekts REGENA wurden vorrangig im Verwaltungsgebäude (Gebäude A) des Standorts Krefeld-Süd durchgeführt. Zusätzlich werden vereinzelt ebenfalls Vorlesungsräume des Gebäudes F am Campus Krefeld-Süd analysiert.

Das Verwaltungsgebäude (Gebäude A) wurde nach Tabelle 96 vor 1960 errichtet und im Jahr 2006 kernsaniert. Im Rahmen dieser Sanierung sind neue Fenster sowie ein neues Wärmedämmverbundsystem eingebaut worden. Das Gebäude besteht aus 36 (ab Juni 2015: 41) Büroräumen, zwei (ab Juni 2015: 1) Besprechungsraum(-räumen), zwei großen Fluren und vier Sanitärräumen. Als Vorlesungsräume wurden repräsentativ drei ähnlich aufgebaute Hörsäle in Gebäude F auf ihren Energieverbrauch untersucht. Das Gebäude A ist in der Vorlesungszeit montags bis freitags von 6:30-21:00 Uhr und samstags von 8:00-17:00 Uhr geöffnet. Außerhalb der Vorlesungszeiten gelten montags bis freitags die gleichen Öffnungszeiten, samstags jedoch schließt das Gebäude bereits um 14:00 Uhr.

Die Heizenergieversorgung des Gebäudes A am Campus Krefeld-Süd erfolgt durch Fernwärme. Diese wird über eine Übergabestation im Heizungskeller in einen Sekundärkreis überführt. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über die Heizstränge West und Ost. Der Vorlauf des Heizsystems ist Außentemperaturgesteuert. Über die Gebäudeleittechnik sind Einzelraumtemperaturen regelbar. Beleuchtet wird das Gebäude mit Leuchtstofflampen, welche energieeffizienter sind als konventionelle Glühlampen und über Bewegungsmelder gesteuert sind.

Die installierten Lüftungsanlagen in den Vorlesungsräumen des F-Gebäudes erzeugen ein Teilklima⁴ über Erwärmung bzw. Kühlung. Diese Anlagen verfügen über ein Wärmerückgewinnungssystem. Die Lüftungsregelung erfolgt über die Messung der Luftqualität sowie über Bewegungsmelder. Die geforderte Raumtemperatur wird über Nahwärme bereitgestellt und ebenfalls über die Außentemperatur geregelt. Die Solltemperatur wird über die Gebäudeleittechnik bestimmt. Die Vorlesungsräume werden für den Lehrbetrieb nur in der Vorlesungszeit der Semester genutzt.

⁴ Teilklimaanlagen können nicht auf alle Größen der Raumluftechnik Einfluss nehmen. Anders als einfache Lüftungsanlagen, die lediglich für die Frischluftzufuhr zuständig sind, können Teilklimaanlagen Raumtemperatur, Raumlufqualität und relative Luftfeuchtigkeit teilweise regulieren. Eine Teilklimaanlage könnte die Raumluf demnach beispielsweise heizen, kühlen, filtern, entfeuchten, jedoch nicht befeuchten (vgl. (IKZ praxis, 2016)).

Die Steuerung des Gebäudeleitsystems der gesamten Hochschule erfolgt durch eine Fremdfirma.

Seit Mai 2011 können Wasser-, Strom- und Gasverbrauch von jedem Einzelgebäude erfasst und analysiert werden. Durch das Forschungsprojekt REGENA sollte auch das Monitoring einzelner Räume und Raumnutzungskategorien erfolgen.

Tabelle 96: Steckbrief Hochschule Niederrhein

Steckbrief Hochschule Niederrhein, Campus Krefeld Süd (Stand 2014)	
Allgemeines zum Standort	
Standort	Campus Krefeld Süd, Reinarzstr.49, 47805 Krefeld
Bauphase	vor 1960
	Zusammenschluss von acht höheren Fachschulen
Beginn Studienbetrieb	1971
Bauherr	Landesbetrieb BLB, Niederlassung Duisburg
Betreiber	Hochschule Niederrhein
Gesamtnutzungsfläche	29.458 m ²
Anzahl Räume	1.106
Studierende	ca. 14.200
Mitarbeiter	ca.
Allgemeines zum untersuchten Gebäude A	
Gesamtnutzungsfläche	ca. 2.900 m ²
Bausubstanz	2006 Kernsanierung, incl. neuer Fenster und teilweise Wärmedämmverbundsystem
Anzahl Räume	42
Mitarbeiter	70
Heizung	Fernwärme, Außentemperatur geregelter Vorlauf, Einzelraumregler über Gebäudeleittechnik verbunden
Beleuchtung	Leuchtmittel Leuchtstofflampen z.T. gesteuert über Bewegungsmelder
Allgemeines zu den untersuchten Hörsälen in Gebäude F	
Gesamtnutzungsfläche	640 m ²
Anzahl Räume	drei

Lüftung	teilklimatisiert mit Wärmerückgewinnung und zusätzliche Heiz-/Kühlregistern (Kältemaschine), Betrieb über Luftqualität und Bewegungsmeldern
Heizung	Nahwärme, Außentemperatur geregelter Vorlauf, Solltemperatur über Gebäudeleittechnik
Beleuchtung	Leuchtmittel können manuell gedimmt werden, Betrieb über Bewegungsmelder

6.1.2 Kompetenzen der ausführenden Stelle

Die Arbeiten wurden vom Arbeitsfeld „Technische Innovationen“ (TI), unter der Leitung von Dr. Bodo Groß durchgeführt. Das Arbeitsfeld TI, bietet auf Grund des breiten technischen Know-Hows seiner Mitarbeiter über vielfältige, kreative und praktische Lösungsmöglichkeiten für unterschiedliche Aufgabenstellungen aus den Bereichen Umwelt-, Mess- und Elektrotechnik, Entwicklung von problemspezifischer Hard- und Software, Modellbildung und Simulation sowie im Bereich chemisch physikalischer Analytik.

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeit des Arbeitsfelds TI, insbesondere bezüglich der Durchführung des Vorhabens REGENA, liegt in der Projektierung und Umsetzung von messtechnischen Aufgabenstellungen sowie dem dazugehörigen Monitoring der betrachteten Versorgungslösung des Gebäudes A am Campus Krefeld Süd der Hochschule Niederrhein (HN). Weitere aktuelle Aktivitäten im Bereich Monitoring liegen insbesondere in der messtechnischen Begleitung einer quasi autarken und speichergestützten Ladestation für Elektrofahrzeuge sowie der messtechnischen Begleitung und Fernüberwachung von elektrostatischen Filtersystemen im Rahmen eines Feldtests.

Komplementär zu den Bereichen Elektro- und Messtechnik, entwickelt das Arbeitsfeld TI in einem weiteren Arbeitsschwerpunkt problemspezifische Hardware – inklusive Design, Layout und Herstellung der elektronischen Komponenten – sowie der dazu gehörigen Software für individuelle ggf. fernüberwachte Messaufgaben. Relevant im Rahmen des Forschungsprojekts REGENA ist die Neu- bzw. Weiterentwicklung eines stationären Monitoringsystems zur Erfassung, Archivierung und Auswertung von Betriebsdaten (INES-Box, s. Abschnitt 6.3.1), welches zur Überwachung der Energieverbräuche am Campus Krefeld Süd der HN eingesetzt worden ist.

Im Themenfeld der softwaregestützten Modellbildung besitzt das Arbeitsfeld TI große Erfahrungen, insbesondere mit Hilfe von Matlab/SIMULINK und TRNSYS. Im Rahmen von REGENA wurde zur Auswertung der erfassten Messdaten insbesondere Matlab/ SIMULINK eingesetzt. Im Vorhaben wurden aufgrund ihrer Qualifikation insbesondere folgende Personen eingesetzt:

Arns Sebastian, M. Sc.: Jahrgang 1985, Duales Studium der Mechatronik in Kooperation mit der ABB AG in Mannheim. Abschluss Bachelor of Engineering 2009. An-

schließendes Masterstudium „Umweltorientierte Energietechnik“ am Umwelt-Campus Birkenfeld. Während des Studiums wissenschaftliche Hilfskraft im Fachbereich Umweltplanung und Umwelttechnik. Abschlussarbeit bei der Robert Bosch GmbH in Schwieberdingen mit dem Thema „Einfluss von Haushaltslastprofilen auf den Nutzen von Batterien in netzgekoppelten Photovoltaik-Systemen“. Abschluss November 2011, Master of Science. In der Zeit von Januar 2012 bis Juni 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsfeld TI. Arbeitsschwerpunkte im Projekt REGENA waren die Konzeption und Umsetzung des Monitoringsystems (Datenerfassung, Archivierung und Auswertung) sowie die Auswertung mittels Matlab/SIMULINK.

Dipl. Phys.-Chem. Dr. Groß Bodo,; Jahrgang 1968, Chemiestudium an der Universität des Saarlandes (UdS), Promotion im Fach Physikalische Chemie im Dezember 1998. Anschließend bis August 2000 Assistent im Fachbereich Physikalische Chemie an der UdS. Seit September 2000 beschäftigt bei der IZES gGmbH, bis 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsfeld Energiesystemtechnik, seit 2007 Leiter des Arbeitsfelds Technische Innovationen (vormals bis 2011 Arbeitsfeld Energiesystemtechnik). April 2003 – März 2010 Lehrbeauftragter an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes in den Fachbereichen Grundlagen Informatik Sensortechnik (GIS) und Maschinenbau (M). Arbeitsschwerpunkte im Projekt REGENA waren die Projektleitung bei IZES sowie die Gesamtkoordination des Verbundvorhabens. Nach dem Ausscheiden von S. Arns war der Schwerpunkt die Auswertung der erfassten Messdaten der HN.

Hannah Manns, B. Eng.: Jahrgang 1993, Studium an der Hochschule RheinMain im Fachbereich Ingenieurwesen im Studiengang „Umwelttechnik“, Bachelorarbeit in Kooperation mit der IZES gGmbH, Abschluss „Bachelor of Engineering“ im April 2016. Seit Mai 2016 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Arbeitsfeld Technische Innovationen. Arbeitsschwerpunkte im Vorhaben REGENA waren insbesondere die Datenauswertung des Standorts Krefeld, der Vergleich der Messdaten der beiden Hochschulen sowie die Unterstützung bei der Erstellung des Endberichts.

Schulte Stephan, M. Sc.: Jahrgang 1988, Studium an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (HTW), Studiengang Mechatronik/Sensortechnik in Kooperation mit der IZES gGmbH. Abschluss „Bachelor of Science“ im April 2013. Ab April 2013 Masterstudium an der HTW ebenfalls in Kooperation mit der IZES gGmbH. Abschluss „Master of Science“ im November 2014 und seitdem wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsfeld Technische Innovationen. Arbeitsschwerpunkte im Vorhaben REGENA waren insbesondere die Neu- bzw. Weiterentwicklung der INES-Box zur Hardwareversion HW310 bis hin zum feldtestfähigen Gerät.

Alejandro Alberto Tristán Jiménez, M. Sc.: Jahrgang 1986, Studium an Universidad de Costa Rica, Studiengang Mechanical Engineering, Abschluss Bachelor of Engineering“ Oktober 2008. Januar 2008 – Januar 2010 Projektingenieur bei Lucas Ingenieros, Februar 2010 – August 2012 Vertriebs- und Planungsingenieur Grupo Electrotécnica. September 2012 – Juli 2014 ME3 Programm „European joint Masters in Management and Engineering of Environment and Energy“ Abschluss Master of Science, November 2014 – Oktober 2015 freiberuflicher Projektingenieur IZES

gGmbH und seitdem wissenschaftlicher Mitarbeiter des Arbeitsfelds Technische Innovationen. Arbeitsschwerpunkte im Vorhaben REGENA waren insbesondere die weitere Umsetzung und Verbesserung des Monitoringsystems sowie die Auswertungen mittels Matlab/SIMULINK.

6.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Projektplanung an den Hochschulstandorten des UCB und der HN bezüglich der unterschiedlichen Maßnahmen und Interventionen zur geringst- und geringinvestiven Energieeinsparung sind den Kapiteln 4.2, 5.6, 5.7, 5.8 und 5.9 zu entnehmen.

Der Projektablauf orientiert sich an den Arbeitspaketen der Vorhabenbeschreibung laut Antrag. Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeitsschritte weitestgehend chronologisch aufgeführt. Verschiedene Arbeitsschritte wurden auch, projektbedingt, zeitgleich bzw. überschneidend durchgeführt.

Festlegung der im Projekt zu untersuchenden Gebäudeteile und Raumtypen

- ❖ Technische Bestandsaufnahme der ausgewählten Gebäudeteile
 - Erfassung und Dokumentation der vorhandenen relevanten Messstellen
 - Erfassung und Dokumentation relevanter Gebäudetechnik und Automation
- ❖ Zusätzliche Installation von notwendiger Messtechnik, um die Verbräuche der ausgesuchten Gebäudeteile separat erfassen zu können
 - Dokumentation der zusätzlich installierten Messstellen
- ❖ Basisdaten
 - Erfassung energetischer Basisdaten für Strom und Wärme
 - Energetische Basisdaten der ausgewählten Gebäudeteile
- ❖ Zweite Messperioden für Strom und Wärme
 - Energetische Basisdaten der ausgewählten Gebäudeteile
- ❖ Kontinuierliche Datenerfassung über die komplette Projektlaufzeit
- ❖ Monitoringphasen
 - Messperiode 1: Messdatenerfassung
 - Messperiode 2: Messdatenerfassung
- ❖ Auswertung der Daten
 - Auswertung der verschiedenen Messperioden entsprechend Projektfortschritt

Im zweiten Quartal 2013 wurden in den Hörsälen in Gebäude F und im Seminarraum in Gebäude B Finder-Stromzähler zur Erfassung der Deckenbeleuchtung eingebaut. Ebenso wurden Module zur Gesamtstrommessung des Maschinenlabors in Gebäude I installiert. Ebenfalls im zweiten Quartal 2013 wurden vier Wärmemengenzähler der Firma Landis+Gyr (Gebäude A und Erdgeschoss Gebäude I) und ein Wärmemengenzähler der Firma Zenner (Kellergeschoss Gebäude I) eingebaut (zwei in die Heizungsleitung Verwaltung Geb. A – Ost- und Weststrang, sowie zwei an die Thermo-lufferhitzer im Maschinenlabor IE24, einer für die Heizung IE24 im Keller IK37).

Die Installation der acht INES-Boxen fand am 18. und 19.09.2013 an der Hochschule in Krefeld statt. Fünf der INES-Boxen wurden an den Impulsausgängen von Stromzählern angeschlossen. Die weiteren drei wurden zur Datenerfassung an die Impulsausgänge der Wärmemengenzähler angeschlossen, wobei zwei der INES-Boxen je an zwei Wärmemengenzählern angeschlossen wurden. Für nähere Informationen zum Einsatz der INES-Boxen siehe Kapitel 6.3.1.

Im ersten Quartal 2014 wurden die bestellten HKV sowie die Funk-Zentrale geliefert, sowie der PC zur Auslesung zur Verfügung gestellt. Ebenfalls wurden acht INES-Boxen für zehn Messstellen installiert, von denen drei mit SIM-Karten zur Datenübertragung bestückt sind.

In KW 11/2014 wurden zehn weitere Stromzähler zur Erfassung des Stromverbrauchs im Verwaltungsgebäude der Hochschule Niederrhein in Krefeld installiert. Für deren Auslesungen nötige INES-Boxen sind zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht vorhanden.

Am 25.03.2014 wurde eine weitere INES-Box (20002246) mit zusätzlicher ISAN-Box an der Hochschule Krefeld installiert (s. Abbildung 115), um die neu installierten Stromzähler überwachen zu können. Die ISAN-Box erweitert dabei die möglichen Digitaleingänge an der INES-Box um weitere acht Eingänge. An den zu diesem Zeitpunkt bereits installierten INES-Boxen wurde zusätzlich eine Firmware-Aktualisierung durchgeführt.



Abbildung 115: INES-Box mit ISAN-Erweiterung

Tabelle 97 gibt eine Übersicht über die installierten INES-Boxen und ihre jeweilige Messstelle.

Tabelle 97: Übersicht installierter INES-Boxen

Raumbezeichnung	INES Serien-Nr.	Messstelle(n)
F303	20022582	Finder Stromzähler
F307	20001081	Finder Stromzähler
F207	20009035	Finder Stromzähler
B10	20007377	Finder Stromzähler
IE24 (Empore)	20013631	2x Landis+Gyr Wärmemengenzähler
IE24	20007351	Diris Stromzähler
IK37	20002030	Zenner Wärmemengenzähler
AK22	20007773	2x Landis+Gyr Wärmemengenzähler
AK23	20002246	10x NZR Wechselstromzähler

Außerdem wurden am 25.03.2014 die gelieferten Heizkostenverteiler und Funk-Zentralen konfiguriert (s. Abbildung 116). Dazu mussten die 57 Heizkostenverteiler mittels Optokoppler (optischer Auslesekopf) parametrieren werden. Die entsprechenden Parameter ergaben sich aus Größe und Typ des Heizkörpers nach Anleitung der Firma SONTEX.



Abbildung 116: Parametrierung der Heizkostenverteiler

Um die Funkzentralen zu konfigurieren musste eine Topologie des Gesamtsystems aufgebaut werden. Anschließend wurde diese anhand der einzelnen Identifikationsnummern der Heizkostenverteiler in den entsprechenden Funk-Zentralen hinterlegt.

Nach Montage der Heizkostenverteiler an ihre Heizkörper, konnten diese per Tastendruck aktiviert werden um die Messung zu beginnen.

Die Funk-Zentrale fragt periodisch jeden einzelnen Heizkostenverteiler nach seinem aktuellen Messwert ab und speichert die Werte zentral ab. Diese Messwerte konnten mit einem PC über die USB-Schnittstelle ausgelesen werden.

Am 23.10.2014 besuchten Mitarbeiter des IZES die Hochschule Niederrhein um vor Ort die installierten technischen Monitoringsysteme zu warten. Aufgrund des Belegungsplans der Seminarräume konnten diese nicht alle betreten werden, weswegen am 7.11.2014 ein zweiter Termin wahrgenommen wurde. Dabei wurde die Datenübertragung der HKV-Systeme und der INES-Boxen überprüft.

Die Heizkostenverteiler werden täglich zwölf Mal mithilfe einer GUI-Automatisierung ausgelesen. Bei erfolgreichem Durchlauf des Skriptes sendet dieses eine E-Mail zur Bestätigung. Dies muss von einem Mitarbeiter ständig kontrolliert werden, da es bei der GUI-Automatisierung viele Fallstricke gibt, bei der das Skript nicht die gewünschte Funktion ausführt. Während der Laufzeit gab es mehrere technikbedingte Ausfälle. Der Verlust eines HKV-Datensatzes bedeutet allerdings keinen Datenverlust der Verbrauchsdaten, sondern nur eine geringere zeitliche Auflösung. Es wurde ein Import-Skript in Matlab/Simulink entwickelt um die Daten auf eine einheitliche, auswertbare Basis zu heben. Die Daten können somit automatisiert ausgewertet werden.

Die INES-Daten an der Hochschule Krefeld werden täglich via Funk-Verbindung an den IZES-Server übermittelt. Dieser erstellt pro INES-Box täglich eine Report-Datei. Durch einen Serverausfall zwischen dem 16. Dezember 2014 und dem 16. Januar 2015 am IZES sind auch hier Daten verloren gegangen. Eine zusätzliche Problematik der INES der ersten Generation ist, dass der benötigte zuverlässige Mobilfunkempfang an manchen Standorten nicht zur Verfügung steht. Diese beiden Problematiken werden mit der neuen Generation obsolet. Das zusätzliche Backup auf SD-Karte und die Möglichkeit der Datenübertragung über WLAN werden in diesen Punkten Abhilfe schaffen (s. Abschnitt 6.3.1 Einsatz und Weiterentwicklung der INES-Box).

6.3 Aufzählung wesentlicher wissenschaftlich-technischer Ergebnisse, Nebenergebnisse sowie Erfahrungen

6.3.1 Auswahl der Messtechnik

Im Projekt REGENA sollte unter anderem der Wärmebedarf von Büro- und Seminarräumen ermittelt werden. Aufgrund der Vielzahl der zu überwachenden Räume, wäre eine Nachrüstung von Wärmemengenzähler sehr aufwendig und kostspielig gewesen, da bei der Nachrüstung alle Warmwasserzuläufe aufgetrennt und ein Wärmemengenzähler eingesetzt hätten werden müssen.

6.3.1.1 Heizkostenverteiler

Aus dem zuvor genannten Grund wurde nach einer kostengünstigen aber trotzdem den Anforderungen entsprechenden Lösung gesucht. Als Ergebnis dieser Recherche wurde vom IZES der Einsatz von Funkheizkostenverteiler vorgeschlagen. Die Heizkostenverteiler werden am Heizkörper angebracht und funken die Messwerte an eine Zentrale weiter. Sie sind standardmäßig darauf ausgelegt unter Batteriebetrieb 10 Jahre lang autark zu operieren.

Zum sinnvollen Einsatz der Heizkostenverteiler im Projekt muss die Standardkonfiguration der HKV, monatliche bzw. jährliche Auslesung, entsprechend angepasst werden. Nach Gesprächen mit der Firma SONTEX stellte sich heraus, dass eine Kooperation im Rahmen eines Forschungsvorhaben auch für SONTEX von Interesse ist und dass man bei der Parametrierung der Geräte einen gewissen Spielraum hat, um die Auslesezeiträume zu verkleinern und dadurch die Genauigkeit bzw. zeitliche Auflösung zu erhöhen.

Am 27. November 2012 wurden an der Universität des Saarlandes die Einsatzmöglichkeiten von Heizkostenverteilern von einem Mitarbeiter der Firma SONTEX vorgestellt und deren Nutzung zur Erfassung des Wärmeenergieverbrauchs im Rahmen von REGENA und E.U.L.E. besprochen.

Am 10. Januar 2013 wurde ein zweites Treffen am Umwelt-Campus Birkenfeld angesetzt um sich auch dort über diese Technik zu informieren. Das System der HKV von der Firma SONTEX wurde dort im Hinblick auf die Verwendung im REGENA-Projekt erneut vorgestellt und im Detail besprochen, insbesondere inwieweit die Firma SONTEX Möglichkeiten der Anpassung ihrer Hard- und Software auf die Projektanforderungen hin hat. Insbesondere die Auslesefrequenz und Gerätegenauigkeit sollte deutlich erhöht werden.

Beim dritten Treffen mit SONTEX am 17. April 2013 wurden weitere technische Details geklärt. Es wurde sich auf die zentrale Funkauslesung geeignet. Die Messauflösung soll im späteren Einsatz 350 Wh/Digit erreichen. Dadurch wird die Batterielaufzeit deutlich reduziert werden. Der Vorschlag die Geräte auf Netzbetrieb umzurüsten wurde vom IZES geprüft (siehe Abbildung 118). Dabei wurde festgestellt, dass ein Umbau zu aufwendig und finanziell nicht zu rechtfertigen gewesen wäre. Die Erhöhung der Genauigkeit der Geräte sollte die Laufzeit auf ca. drei statt der ursprünglich zehn Jahre Batteriebetrieb reduzieren. Die Investition pro Heizkostenverteiler liegt bei ca. 20 € und somit waren Neuanschaffungen günstiger, als der Arbeitsaufwand einer Umrüstung.

Zur Messung des Heizenergieverbrauchs einzelner Räume und Raumnutzungskategorien wurden daher die elektronischen Funk-Heizkostenverteiler 556 der Firma Sontex mit den in Tabelle 98 beschriebenen Spezifikationen verwendet. Ursprünglich als Grundlage der jährlichen Heizkostenabrechnung ge-



Abbildung 117: Elektronischer Heizkostenverteiler 556 der Firma Sontex (Quelle: Sontex AG, 2012)

dacht, werden die in Abbildung 117 dargestellten Heizkostenverteiler in REGENA nicht jährlich, sondern mehrmals täglich ausgelesen. So kann der Energieverbrauch einzelner Heizkörper quasi in Echtzeit dokumentiert werden.

Tabelle 98: Technische Daten der Sontex EHKV 556 (Quelle: (Sontex AG, 2012))

Technische Daten EHKV	
Messprinzip	2-Fühler oder 1-Fühler mit Startfühler
Skalierung	Einheit- oder Produkteskala
Heizkörperleistung	4 – 16.000 Watt
Gerätetypen	555 (Standard); 556 (Funk)
Versionen	Kompakt- und Fernfühlerversion
Stromversorgung	3-V-Lithium
Funk	Bidirektional, 433,82 MHz, 10 mW Sendeleistung
Laufzeit	Über (>) 10 Jahre
Anzeige	Multifunktionale 6-stellige Digitalanzeige
Stichtag	Frei programmierbar
Einsatzbereich	1-Fühler mit Startfühler 55 °C..90 °C (..120 °C mit Fernfühler) 2-Fühler 35 °C..90 °C (..120 °C mit Fernfühler)
Zählbeginn	Parametrierbar
Messbereich	0 – 90 °C, 0 – 120 °C Fernfühler
Lagertemperatur	-25 °C – 70 °C
Schnittstellen	Optisch, nach EN 60870-5
CE-Konformität	Nach Richtlinie EG/99/5
Bauartzulassung	HKVO A1.02.2008
Abmessung	93 x 38 x 28 mm

Die folgende Beschreibung des Messgerätes erfolgt auf Grundlage des Handbuchs der Sontex EHKV (Sontex AG, 2012).

Die Heizkostenverteiler verfügen über je einen Mikroprozessor, eine Lithium-Batterie, einen Temperaturfühler für die Temperaturmessung des Heizkörpers, einen zur Messung der umliegenden Raumtemperatur, einem wärmeleitenden Aluminiumrückenteil, einem Multifunktionsdisplay und einem Kunststoffgehäuse (s. Abbildung 118).



Abbildung 118: Detailansicht Heizkostenverteiler

Der Messvorgang beginnt alle vier Minuten mit der Aktualisierung der integrierten Uhr und des integrierten Kalenders der HKV. Anschließend werden die Temperaturen über die Messung des NTC-Widerstandes (ein stark temperaturabhängiger Widerstand) eines Kondensators ermittelt. Dazu wird der Kondensator zunächst bei konstantem Strom geladen. Anschließend wird er über den zu ermittelnden Widerstand entladen. Gleichzeitig wird ein Timer die Entladezeit t_x bis zu einem bestimmten Spannungswert aufnehmen. Um den zu ermittelnden Widerstand R_x zu bestimmen, wird das Verhältnis zwischen Entladezeit t und Widerstand R als konstant angenommen. Dieses Verhältnis wird mit dem Verhältnis einer Entladezeit t_{ref} zu einem bekannten Referenzwiderstand R_{ref} gleichgesetzt. Über diese Gleichung

$$\frac{t_{ref}}{R_{ref}} = \frac{t_x}{R_x} \quad (13)$$

kann der unbekannte Widerstand R_x ermittelt werden. Diese Berechnung findet für beide Temperaturfühler statt. Anschließend wird der neue anzuzeigende Verbrauchswert Q über

$$Q = K \int \left(\frac{T_H - T_A}{60} \right)^n dt \quad (14)$$

ermittelt. K stellt in dieser Berechnung einen Korrekturfaktor dar, durch den die Bauart der Heizung sowie die Anbringung des HKV berücksichtigt werden und dessen Parameter manuell eingegeben werden müssen. Dieser berechnet sich über die Multiplikation des K_Q -Wertes, welcher der Normleistung des Heizkörpers bei 75 °C Vorlauf-, 65 °C Rücklauf- und 20 °C Raumtemperatur (75/65/20) in kW entspricht, mit dem K_C -Wert, der sich über Heizungsbauart und Montageart des HKV nach den im

Abbildung 119 aufgezeigten Bewertungsfaktoren bestimmt, und dem K_T -Wert, welcher sich nach Abbildung 120 über die Raumtemperaturauslegung bestimmt. Der K_T -Wert wird bei Auslegungstemperaturen⁵ von über 16 °C mit einem Wert von 1 einbezogen. Dabei entspricht T_H der Temperatur der Heizkörperoberfläche und T_A der gemessenen Umgebungstemperatur. Die Anzeigecharakteristik des HKV arbeitet mit einem Heizkörper-Exponenten⁶ n von 1,33. In dieser Betrachtung wurden die Korrekturfaktoren für jeden der zu erfassenden Heizkörper individuell errechnet.

Der Wärmeverbrauch wird kumuliert in Verbrauchseinheiten gespeichert und zwischen 7:00 Uhr und 18:00 Uhr stündlich über eine optische Schnittstelle per Funk an einen übergeordneten Repeater gesendet. Dieser sendet die Daten wiederum an eine Datenzentrale. Diese Messungen werden automatisch als Excel-Datei per E-Mail an das IZES weitergeleitet.

In der Zeit von 18:00 Uhr und 7:00 Uhr am Folgetag, befinden sich die HKV in einem Ruhezustand. In diesem Zustand sind die LCD-Anzeige und auch die Funkfunktion zur Energieeinsparung ausgeschaltet.

Rückschlüsse auf den Energieverbrauch können über die Basisempfindlichkeit BE des HKV getroffen werden. Diese gibt das Verhältnis der Verbrauchseinheiten des HKV pro kWh an. Nach Angaben eines Mitarbeiters des Herstellers der verwendeten HKV (Carsten Dreyer, 2015) arbeitet die Anzeige des HKV zur Berechnung des Verbrauchswertes Q mit dem Heizkörper-Exponenten $n=1,33$. Der Heizkörper-Exponent der sich in der Hochschule befindlichen Gliederheizkörper werde jedoch mit $n_G=1,30$ angenommen. Die Basisempfindlichkeit wurde demnach über das Verhältnis der vom HKV berechneten Wärmeleistung zu der heizkörperspezifischen Wärmeleistung ermittelt. Dieses gibt ebenso die Verbrauchseinheiten (VE) pro kWh Wärmeenergie an und kann nach

$$BE = \frac{\phi_n \left(\frac{\Delta T_m}{\Delta T_{m,n}} \right)^n \cdot K}{\phi_n \left(\frac{\Delta T_m}{\Delta T_{m,n}} \right)^{n_G} \cdot K} \quad (15)$$

mit ϕ_n Normwärmeleistung [W]

ΔT_m mittlere Temperaturdifferenz Wasser-Luft [K]

$\Delta T_{m,n}$ 60 K, mittlere Temperaturdifferenz bei Normbedingungen

K Korrekturfaktor

n Heizkörper-Exponent

⁵ „Die Auslegungstemperatur ist die Temperatur des Heizwassers, welche bei der tiefsten Wintertemperatur [von ca. -12°C bis -16°C in Deutschland] gerade noch ausreicht, um im Gebäude die erforderliche Wärmemenge bereit zu stellen“ (Wider, 2013) Kap. 6.7.5

⁶ Der Heizkörper-Exponent beschreibt laut (Schmid, 2013) die überproportionale Leistungszunahme des Heizkörpers bei von den Normbedingungen abweichenden Temperaturen. Die Normbedingungen sind nach EN442 eine Vorlauf-/Rücklauf-/Raumtemperatur von 75/65/20 °C bei 1,013 bar Luftdruck.

n_G Heizkörper-Exponent für Gliederheizkörper

berechnet werden. Über die Auflösung der Anzeigeeinrichtung nach EN 834 Abschnitt 5.9 mit Norm-Wärmeleistung von 1kW bei 90/70/20 Vorlauf-/Rücklauf-/Raumtemperaturen und einer mittleren Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft von 35 K sowie einer mittleren Temperaturdifferenz unter Normbedingungen von 60 K wird eine Basisempfindlichkeit von 0,984 VE/kWh errechnet. Für die Auswertung der VE (Digits) müsste demnach eine Energiemenge von 1,02 kWh pro Digit angenommen werden. Bei dieser Betrachtung wurde der individuelle Korrekturfaktor der HKV für jeden Heizkörper scheinbar nicht beachtet. Nach (Schmid, 2013), Kap. 4.1.1 kann dieser allgemein mit 1 angenommen werden, wie es in (Carsten Dreyer, 2015) ebenfalls der Fall war. Daraus folgt, dass die theoretische Berechnung der Wertigkeit zwar ein Anhaltspunkt ist, durch die unterschiedlichen Parameter, die für jeden Heizkörper individuell eingestellt werden (s. Tabelle 99) müssen, jedoch genauer zu untersuchen ist. Die Vorgehensweise der Ermittlung der Wertigkeiten wird in Abschnitt 6.3.2 (Arbeitspaket 5) beschrieben.

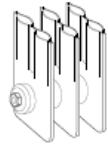

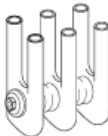
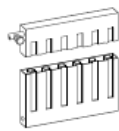


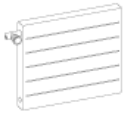
HEIZKÖRPERTYP	BEWERTUNGSFAKTOR K_C	
	Heizkörper Montage	Wand Montage
DIN Stahlradiator Gliederabstand 50 mm 	2.297	1.001
DIN Gussradiator Gliederabstand 60 mm 	2.121	1.004
Röhrenradiator (Arbonia) Gliederabstand 45 mm 	2.118	1.004
Rohrregisterheizkörper (Thermal) Teilung 60 mm 	2.187	1.007
Profilplattenheizkörper zweireihig (Kermi) Teilung 33 mm 	2.128	1.008
Plattenheizkörper glatt (Gerhar + Rau) Teilung 30 mm 	1.998	1.008
Plattenheizkörper einreihig quer durchströmt (Arbonia) Teilung 70 mm 	2.128	0.997

Abbildung 119: Ermittlung des Korrekturfaktors K_C

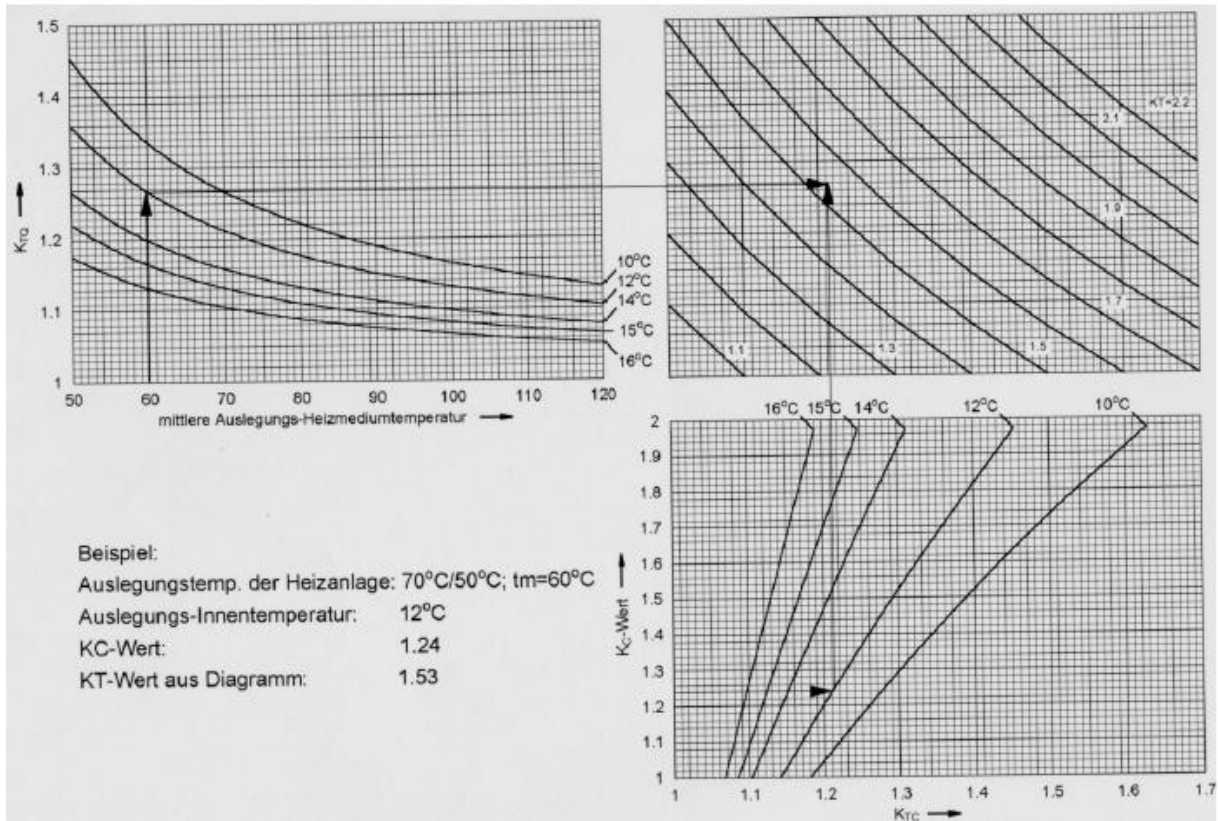


Abbildung 120: Ermittlung des Korrekturfaktors K_T

Tabelle 99: HKV-Korrekturfaktoren

HKV- Nummer	K_Q	K_T	K_C	K
13732508	1,692	1	1,62	2,74
13343478	1,692	1	1,62	2,74
13732515	1,692	1	1,62	2,74
13732503	1,378	1	1,97	2,71
13732512	1,378	1	1,97	2,71
13732507	1,378	1	1,97	2,71
13732505	1,378	1	1,97	2,71
13732514	1,764	1	1,97	3,48
13732502	1,378	1	1,97	2,71
13732506	1,378	1	1,97	2,71
13732511	1,378	1	1,97	2,71
13732513	1,378	1	1,97	2,71
13732504	1,378	1	1,97	2,71
13732497	1,378	1	1,97	2,71
13732500	2,6	1	2,12	5,51
13732501	2,6	1	2,12	5,51
13732516	2,6	1	2,12	5,51
13343482	2,6	1	2,12	5,51
13343481	2,6	1	2,12	5,51
13343479	2,6	1	2,12	5,51

HKV- Nummer	K_Q	K_T	K_C	K
13732510	1,692	1	1,62	2,74
13732499	1,692	1	1,62	2,74
13732509	1,692	1	1,62	2,74
13343480	1,92	1	2,12	4,07
13344207	1,344	1	2,12	2,85
13344206	1,38	1	2,12	2,93
13344205	1,863	1	2,12	3,95
13344204	1,863	1	2,12	3,95
13344203	1,863	1	2,12	3,95
13344208	1,725	1	2,12	3,66
13344209	1,725	1	2,12	3,66
13344210	1,725	1	2,12	3,66
13344211	1,725	1	2,12	3,66
13344212	1,725	1	2,12	4,61
13671131	2,173	1	2,12	4,61
13671132	2,173	1	2,12	4,61
13671133	2,173	1	2,12	4,61
13671134	2,173	1	2,12	4,61
13671135	2,173	1	2,12	4,61
13671136	2,173	1	2,12	4,61
13671137	2,173	1	2,12	4,61
13671138	2,173	1	2,12	2,63
13671097	1,242	1	2,12	3,80

HKV-Nummer	K _Q	K _T	K _C	K
13671139	1,794	1	2,12	3,51
13671091	1,656	1	2,12	3,51
13671092	1,656	1	2,12	3,51
13671093	1,656	1	2,12	3,66
13671100	1,725	1	2,12	3,51
13671094	1,656	1	2,12	3,51
13671095	1,656	1	2,12	3,51

HKV-Nummer	K _Q	K _T	K _C	K
13671096	1,656	1	2,12	3,80
13671140	1,794	1	2,12	2,63
13671098	1,242	1	2,12	2,63
13671099	1,242	1	2,12	2,08
13671121	0,981	1	2,12	2,08
13671122	0,981	1	2,12	2,08
13671123	0,981	1	2,12	2,74

6.3.1.2 Einsatz und Weiterentwicklung INES-Box

Die Datenerfassung in Krefeld wurde mittels INES-Boxen – ein von IZES firmenintern entwickeltes Gerät zur Erfassung von Messsignalen – durchgeführt. Eingesetzt wurde zu Beginn des Vorhabens die Hardwareversion HW200. Während des Einsatzes der Hardwareversion HW200 wurden sowohl hardware- als auch softwareseitige Optimierungspotentiale identifiziert, welche im Anschluss umgesetzt wurden. Daraus resultierte die Hardwareversion HW300, welche nach Fertigstellung ausgiebig im Labor getestet wurde. Dabei wurde festgestellt, dass vor deren Einsatz in Feldtests weitere Revisionen notwendig sind. Diese wurden ebenfalls implementiert und die resultierende finale Version der INES-Box erneut im Labor getestet. Die Hardwareversion HW310 steht seit Mai 2016 zur Verfügung.

Die implementierte Firmware zählt die empfangenen Impulse jedes Messzyklus, deren Länge rund eine Minute beträgt. Die gezählten Impulse werden durch einen Zeitstempel dem jeweiligen Zeitpunkt des Auftretens zugeordnet und in einem ASCII-Protokoll aufgezeichnet. Dieses wird über das Mobilfunk-Netzwerk an den zentralen INES-Server weitergeleitet, dort über ein Java-Programm entziffert und einer serverinternen Datenbank zugefügt. Die Zuordnung der ankommenden Daten erfolgt über die individuellen Identifikationsnummern der einzelnen INES-Boxen und einer Prozessvariablen, welche jedem Kanal der INES-Box zugeordnet wird. Zur Auslesung wird ein Reportertool genutzt.

6.3.1.2.1 Einsatz der INES-Box HW200 in Krefeld

Im zweiten Halbjahr 2013 begannen die Vorbereitungen zur Installation der von IZES entwickelten INES-Boxen in der Version HW200 an der Hochschule Niederrhein (HN) am Standort Krefeld-Süd. Vor der Installation wurden alle eingesetzten INES-Boxen auf Funktion überprüft und mit der neuesten verfügbaren Firmware ausgestattet. Insbesondere wurde in dieser Phase eine Versuchsreihe zu den Erfassungseigenschaften der Digitaleingänge der INES-Box durchgeführt. Insbesondere sollte die Limitierung der Impulzzählung bezüglich der Eingangsfrequenz der Impulseingänge überprüft werden, siehe dazu Abbildung 121.

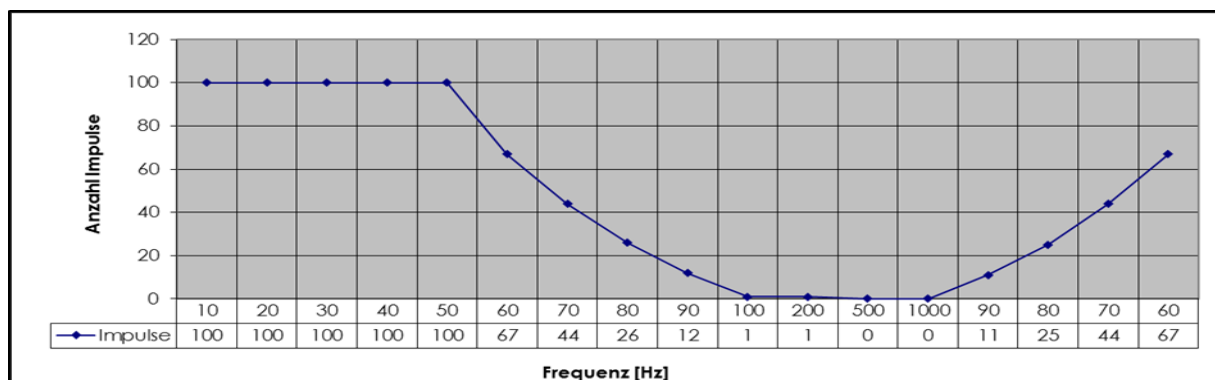


Abbildung 121: Charakteristik der Digitaleingänge der INES-Box bezüglich der Eingangsfrequenz der Impulse

Dabei wurde festgestellt, dass bis zu einer Frequenz der eingehenden Impulse von 50 Hz diese zu 100 % gezählt werden. Wird diese Frequenz überschritten, können nicht mehr alle Einzelimpulse erfasst werden. Abbildung 121 zeigt auch, dass die INES-Box nach Überlastung durch hohe Impulsraten keinerlei Schäden davonträgt, sondern verlässlich die Anzahl ankommender Impulse erkennen und detektieren kann.

Mittels der INES-Boxen wurden während der gesamten Monitoringphase die Messdaten an der HN gesammelt und an die IZES gGmbH bzw. den von IZES betriebenen Server zur Auswertung übermittelt. Standardmäßig ist die INES-Box für den Einsatz in Schaltschränken zur Montage auf einer Standardhutschiene konzipiert. Die Montage in vorhandenen Verteilerkästen konnte an der HN nicht an allen Einsatzorten realisiert werden. Deshalb wurden insgesamt drei entsprechend dimensionierte Unterverteilerkästen für den Einsatz in Krefeld vorbereitet. Neben der INES-Box gehören dazu eine Feinsicherung, ein Gleichstromnetzteil sowie ein Leitungsschutzschalter mit Kaltgerätstecker zum Anschluss an eine normale Schukosteckdose, siehe dazu Abbildung 122. Damit wurde gewährleistet, dass die INES-Box an allen in Krefeld verbauten Zähleinrichtungen eingesetzt werden konnte.

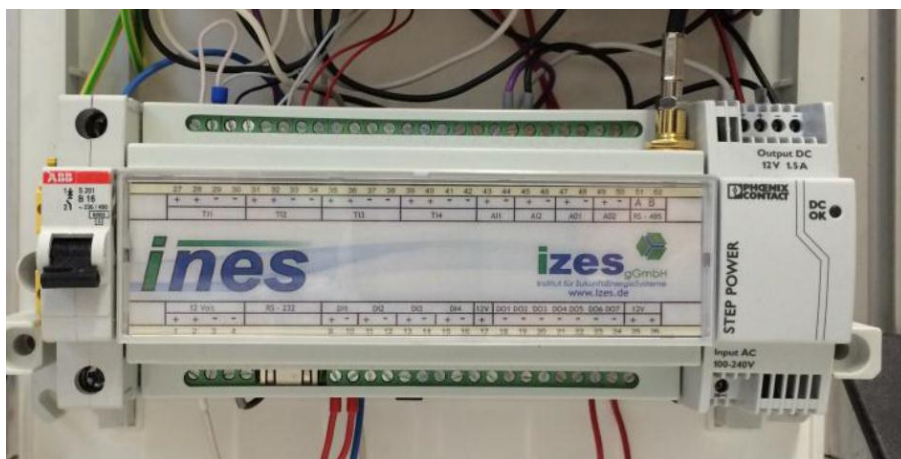


Abbildung 122: Einbausituation der INES-Box in einem Unterverteilerkasten

Die Installation der ersten acht INES-Boxen wurde am 18. und 19. September 2013 ausgeführt. Fünf der INES-Boxen wurden an den Impulsausgängen der vorhandenen Stromzähler angeschlossen. Die weiteren drei INES-Boxen wurden zur Datenerfassung an die Impulsausgänge der verbauten Wärmemengenzähler angeschlossen, wobei zwei der INES-Boxen zur Erfassung der Daten von jeweils zwei Wärmemengenzählern eingesetzt wurden (s. hierzu Tabelle 97).

Zum Funktionstest wurde jeweils eine Test-SIM-Karte eingelegt und die Betriebsaufnahme mit einer seriellen Datenverbindung zu einem Laptop überwacht. Diese erfolgt bei ausreichender Mobilfunksignalstärke automatisch. Die Zuordnung der am Server ankommenden Daten erfolgt über eine jeder INES-Box individuell zugeteilten Identifikationsnummer. Die einzelnen Kanäle der INES-Boxen werden über entsprechend zugeteilte Prozessvariablen unterschieden bzw. identifiziert. An zwei Messstellen (Raum F303 & Raum B10) war der Mobilfunkempfang anfangs proble-

matisch, konnte jedoch durch die Umpositionierung der eingesetzten Mobilfunkantennen entscheidend verbessert werden. Im Anschluss meldeten sich alle verbauten INES-Boxen fehlerfrei am Server an. Abbildung 129 gibt einen Überblick bezüglich der Standorte der installierten INES-Boxen.



Abbildung 123: Einbausituation der INES-Box im Raum F307

Abbildung 123 zeigt die Einbausituation der INES-Box in Raum F307. Am 25. März 2014 wurde eine weitere INES-Box mit zusätzlicher ISAN-Box an der HN installiert um die Daten der acht zusätzlich installierten Stromzähler im Keller von Gebäude A erfassen zu können.



Abbildung 124: INES-Box mit ISAN Erweiterung

Die eingesetzte ISAN-Box wurde für diesen Einsatz neu entwickelt und entspricht einer Erweiterung der INES-Box um acht weitere Digitaleingänge, siehe dazu Abbildung 124. Durch diese Entwicklung wird gewährleistet, dass auch zukünftig mehr als vier digitale Eingänge mit einer INES-Box erfasst werden können, siehe hierzu auch Abbildung 126. Zum gleichen Zeitpunkt wurde an den bereits installierten acht INES-Boxen eine Aktualisierung der Firmware durchgeführt.

6.3.1.2.2 Weiterentwicklung der INES-Box

Aufgrund der Erfahrungen beim Einsatz der INES-Box, insbesondere der teilweise nicht zufriedenstellenden Stärke der Mobilfunkverbindung, wurden einige Änderungen bzw. Revisionen notwendig bzw. wurden zahlreiche zusätzliche Komponenten hinzugefügt. Die Weiterentwicklung resultierte in der Hardwareversion HW300 und schließlich nach abschließender Revision in der Hardwareversion HW310.

Entwicklung der Hardwareversion HW300

Ende des vierten Quartals 2014 war die Prototypentwicklung der Hardwareversion bzw. das Layout der Steuerplatine der HW300 so weit fortgeschritten, dass einzelne Hardwarekomponenten im Labor auf ihre Funktion überprüft werden konnten.

Ebenfalls im vierten Quartal 2014 wurde mit der Softwareentwicklung der Teilmodule begonnen. Der Schwerpunkt bei der Programmierung des Mikrocontrollers lag bei der zyklischen Aufnahme von Sensordaten und deren Verarbeitung zu einem einheitlichen Format sowie verschiedener Sicherungsmethoden der Datenpakete. Zusätzlich wurden Module zur Fehlererkennung und deren Vermeidung implementiert. Die Entwicklungen umfassten folgende Teilmodule:

- Auswertung analoger Sensoren
- Auswertung digitaler Sensoren
- Auswertung der eingesetzten Temperatursensoren
- Datenlogger SD Karte
- Ansteuerung des GPRS Moduls
- FTP Zugang und Dateiverwaltung
- Steuerung der Status LEDs

Eine Steuerroutine für die zyklische Messwertaufnahme sowie für die Ausführung von Systemfunktionen wurde in einem globalen Interrupt-Handling entwickelt um die Interrupt-Dauer zu verkürzen. Dabei erfolgt eine Freigabe der entsprechenden Funktion mit Hilfe eines Interrupts. Der Interrupt kann entweder von einer externen Quelle oder durch eine Software-Triggerung (z.B. Timer) ausgelöst werden. So können beispielsweise im Falle eines Verbindungsabbruchs der GPRS-Datenverbindung zeitnah Maßnahmen zum erneuten Verbindungsaufbau ergriffen werden.

Im Falle von Störungen im Programmablauf können Warnhinweise oder Statusmeldungen mit Hilfe der Debug-Schnittstelle über ein Terminal Programm eines Computers ausgelesen werden. Darüber hinaus ermöglicht die Debug-Schnittstelle die Einspeisung von Systemvariablen, Umrechnungsfaktoren oder die Übertragung von Parametern. Ein implementierter Interpreter steuert hierbei die Interaktionen zwischen Terminal und Mikrocontroller. Zusätzlich zu der Debug-Schnittstelle werden durch den Einsatz von Status-LEDs kritische Fehler oder Systemausfälle an der INES-Box visualisiert.

Die Aufnahme von Sensordaten erfolgt über Klemmen, welche das Sensorsignal zu einem 24-Bit Analog-Digital-Wandler (ADC) leiten. Hier wurde eine Steuerroutine ent-

wickelt, welche durch RegisterEinstellungen die Messmethode des ADC bestimmt. Diese Steueroutine ermöglicht nicht nur eine automatische Sensorerkennung, sie ist sogar in der Lage einen Defekt des Sensors festzustellen. Diese Funktion wurde für die vier Analogeingänge sowie für Temperaturfühler implementiert. Anschließend werden die Sensordaten durch eine Speicherroutine in der Log-Datei bzw. Protokoll-datei auf einer SD-Karte abgelegt.

Die Ansteuerung des GPRS-Moduls von Telit ermöglicht es der INES-Box eine Da-ten-verbinding zu einem FTP-Server zur Übertragung der Sensordaten herzustellen. Durch die tägliche Erstellung einer Log-Datei können die erfassten Messwerte über eine Fernauslese sofort eingesehen werden.

Bei der Erfassung von Messdaten, insbesondere aus verschiedenen Quellen, ist die Qualität der Zeitmessung von hoher Bedeutung. Hierfür wurden verschiedene tech-nische Methoden evaluiert. Im ersten Ansatz wurde die Serverzeit der IZES-Leitzen-trale als Zeitstempel für die Messdaten verwendet. Im Laufe der Entwicklungsarbei-ten stellte sich jedoch heraus, dass dieser Server eine signifikante zeitliche Drift hat. Dieses Problem wurde durch den Einsatz eines DCF-77-Empfängers gelöst, welcher durch einen Langwellensender ein präzises Zeit- und Datumssignal erhält. Mit die-sem Zeitsignal wird eine externe Real Time Clock (RTC) gespeist und minutenweise für die Generierung des Zeitstempels abgefragt. Eine Up-Time-Messung dient zur Überbrückung der Wartezeit bevor ein gültiges Zeitsignal detektiert wird.

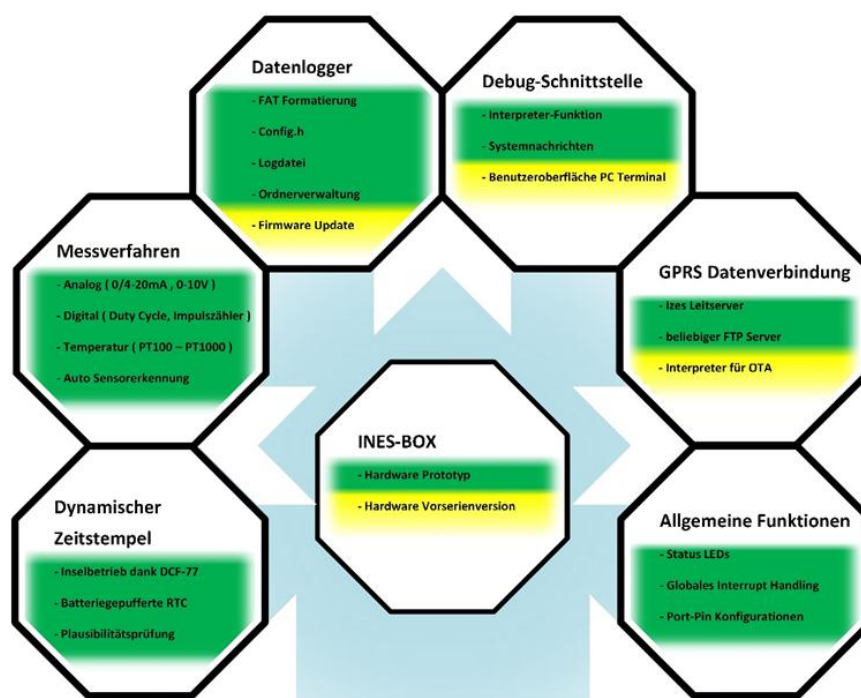


Abbildung 125: Entwicklungsstand der INES-BOX HW300 (grün: abgeschlossen, gelb: in Bearbeitung) Ende 2014

Bis zum Ende des ersten Halbjahrs 2015 konnte die Vorserienversion der INES-Box in der Hardwarevariante HW300 fertiggestellt werden, siehe dazu Abbildung 125. Softwareseitig wurden zu diesem Zeitpunkt die Funktionen Over-the-Air-Updates (O-TA), ISAN-Anbindung und WiFi-/BlueTooth-Kompatibilität noch zurückgestellt. Die

endgültige Validierung aller Funktionen in dieser Hardwarevariante wurde im Anschluss durchgeführt.

Abbildung 126 zeigt einen Überblick zum Vergleich der INES-Spezifikationen der INES HW200 und der Weiterentwicklung INES HW300

Vergleich INES HW200 & HW300	
HW200	HW300
<ul style="list-style-type: none">• Hutschiene• ATmega128/A Mikrokontroller (8 bit)<ul style="list-style-type: none">• 128 kB Flash• 4 kB SRAM• Schnittstellen<ul style="list-style-type: none">• 4x Temperatur Input• 2x Analog Input/ Output• 4x/7x Digital Input/ Output• RS-485 Bus (32 Teilnehmer)• Serielle RS232• Netzwerkkommunikation<ul style="list-style-type: none">• GSM• Interne Speicherung von Messdaten<ul style="list-style-type: none">• Bis zu 2 Stunden Backup (128 kB EEPROM)	<ul style="list-style-type: none">• Hutschiene• Cortex-M3 Mikrokontroller (32 bit)<ul style="list-style-type: none">• 2x256 kB Flash (Dual Bank)• 96 kB SRAM• Schnittstellen<ul style="list-style-type: none">• 2x Temperatur Input• 4x Analog Input (schaltbarer Shunt)• 4x Digital Input• RS-485 Bus (32 Teilnehmer)• Analog/Digital Output (Optional)• CAN Bus (Optional)• Netzwerkkommunikation<ul style="list-style-type: none">• GSM• WiFi• USB• Micro SD Karte• Interne Speicherung von Messdaten<ul style="list-style-type: none">• bis zu 3 Jahre (2GB SD Karte)• Erweiterungsmöglichkeiten<ul style="list-style-type: none">• ZigBee, Bluetooth,...• LED Statusanzeigen

Abbildung 126: Vergleich der INES-Spezifikationen der INES HW200 und HW300

Entwicklung der Hardwareversion HW310

Auf Basis der Hardwareversion HW300, bei der außer einem Firmware Update, der Realisierung einer Benutzeroberfläche für ein beliebiges PC Terminal sowie einem Interpreter für OTA, alle Funktionen der in Abbildung 125 dargestellten Funktionen implementiert waren, wurde die Hardwareversion HW310 entwickelt. Aufgrund der Erfahrungen im Laborbetrieb mit der Version HW300 wurden kurzfristig noch weitere Komponenten, insbesondere die zusätzlichen Kommunikationsschnittstellen M-Bus und Wi-Fi, vorbereitet.

Zusätzlich wurde für die Version HW310 eine umfangreiche Hard- und Softwaredokumentation erarbeitet. Beispielfhaft soll an dieser Stelle die Dokumentation bezüglich der Spannungsversorgung vorgestellt werden. Die Spannungsversorgung der INES-Box in der Version HW310 wurde im Gegensatz zu deren Vorgängerversion univer-

sell gestaltet, damit beliebige Spannungsquellen zwischen 5 V und 30 V genutzt bzw. unterstützt werden können. Dies dient einerseits einem erweiterten Eingangsbereich und andererseits der Reduzierung der Anschaffungskosten für spezifische externe Spannungsquellen. Um die verschiedenen Funktionsbausteine betreiben bzw. bedienen zu können, benötigt die entwickelte Steuerplatine mehrere Spannungsniveaus. Durch die zu Anfang festgelegte Anforderung nur Kleinschutzspannungen zu verwenden, wurde als maximale Betriebsspannung 12 V festgelegt. Das Versorgungsschema der INES-Box HW310 ist in Abbildung 127 dargestellt.

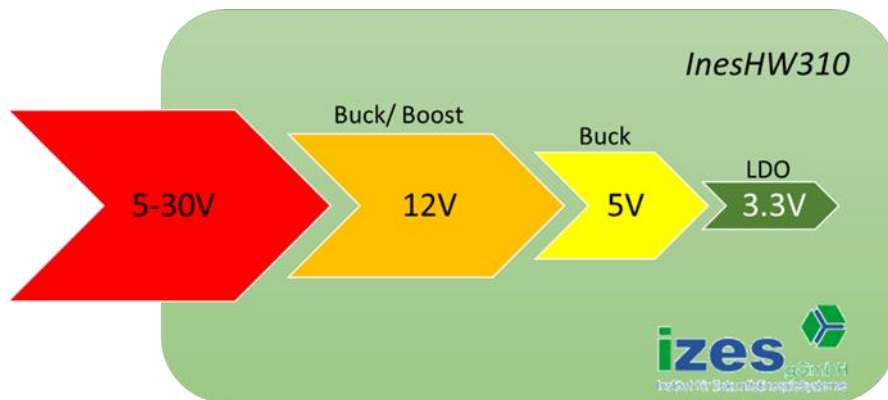


Abbildung 127: Schema der Spannungsversorgung der INES 2.0 in der Version HW310

Um auf die von der INES HW310 benötigte Eingangsspannung von 12 V zu kommen, wurde der Buck-/Boost-Wandler LTC3780 von Linear Technology verwendet. Dieser kann im Boost-Modus aus einer niedrigeren Spannung 12 V erzeugen. Die minimale Betriebsspannung im Boost-Modus beträgt dabei 5 V. Sollte die Spannungsquelle eine Spannung im Bereich von 12 V bis 30 V liefern, wird der Wandler in den Buck-Modus versetzt und die Spannung wird auf 12 V gedrosselt. Der Controller-Baustein steuert die vier Leistungstransistoren an, wodurch diese beginnen die Eingangsspannung in die gewünschte Ausgangsspannung von 12 V zu wandeln. Dabei kann eine maximale Stromstärke von 5 A erreicht werden. Wie bei allen Schaltreglern üblich, wird auch hier eine Ripple-Spannung erzeugt, welche aber vernachlässigt werden kann, da sie im Bereich von 200 μ V bis 200 mV liegt. Die Eingangsspannungsversorgung wurde mit verschiedenen Lasten getestet und arbeitet zuverlässig mit einem Wirkungsgrad zwischen 85 % und 95 %. Im Ausgang werden die Bauteile, welche mit 12 V versorgt werden, durch eine selbst zurückstellende Sicherung (PTC-Fuse) vor Kurzschlüssen geschützt.

Zusätzlich wurden zwei weitere Spannungsebenen zur Versorgung der 5 V-Linien und der 3,3 V Linien implementiert. Die 5 V-Linie wird von dem Schaltregler ADP2303 (Eingang 12 V, Ausgang 5 V) erzeugt, wobei Messungen gezeigt haben, dass die zwei hintereinander geschalteten Regler nicht effizient miteinander arbeiten. Hier muss auf den Einsatz eines gut dimensionierten Filters zurückgegriffen werden. Die 3,3 V Linie wird von dem Längsregler LP3872EMP aus der 5 V-Linie erzeugt. Längsregler haben eine glättende Funktion und eignen sich daher ideal zur Versorgung von steuernden Elementen. Für den Betrieb des GSM-Moduls wird ein weiteres

noch nicht angesprochenes Spannungsniveau benötigt. Nach (Telit Communications S.p.A) wird für den GC864-Quad eine Spannungsversorgung von 3,8 V empfohlen, wobei Stromspitzen von bis zu 2 A entstehen können. Für das Versorgungssystem des GC864-Quad V2 wird ein Längsregler verwendet um aus den 5 V Eingangsspannung die benötigten 3,8 V zu generieren. Bei diesem Längsregler handelt es sich um einen LT1528 von Linear Technology, welcher Vorteile durch Platzersparnis, geringere Bauteilanzahl und eine hohe Effizienz bietet. Folgende Tabelle 100 gibt einen Überblick der technischen Spezifikation der Hardwareversion HW310.

Tabelle 100: Überblick der technischen Spezifikationen der INES-Box in der Hardwareversion HW310

INES HW310 - Spezifikation			
Steuerungseinheit	32-Bit ARM Mikrocontroller	84 MHz	
	Versorgungssystem	Variable Eingangsspannung	5V bis 30V DC
Messtechnik	Feste Ausgangsspannungen:	3.3V, 5V, 12V DC	
	Temperatureingang für Pt100, Pt500, Pt1000 (0 bis 100 °C)	2	
	Digitaleingang (12 V, potentialfrei, Duty Cycle [0,2–0,8], S0-kompatibel, 90 Hz)	4	
	Analogeingang (0/4 mA bis 20 mA oder 0 bis 10 V)	4	
	Interne Temperaturmessung (On-Chip)	1	
	Fernfeldkommunikation	GSM/ GPRS	1 (Quad-Band)
Nahfeldkommunikation	WiFi (in Planung)	1	
	RS485 (Kompatibilität zu ISAN-Netzwerk)	1	
	CAN-Bus	1	
	I ² C-Bus (Galvanisch getrennt)	1	
	M-Bus (In Planung)	Optional	
	USART	Optional	
	USB-Debugger	Optional	
	Bluetooth-Debugger	Optional	
	Datenlogger	microSD-Karte	4GB, HC, Class 4
	Sonstiges	Status LED (PowerOn, Error, Network, SD Activity)	
Funkuhr Empfänger		DCF-77	
Externe Real Time Clock (mit Knopfzellenbatterie)		CR2032, 3V	
Freie Port Pins (3.3V tolerant)		7	
Freigelegte Versorgungslinien		3.3V (4) 5V (4) 12V (4)	

Abbildung 128 zeigt die zusätzlich zur Hardwareversion HW300 in der HW310 implementierten Funktionen bzw. Komponenten.

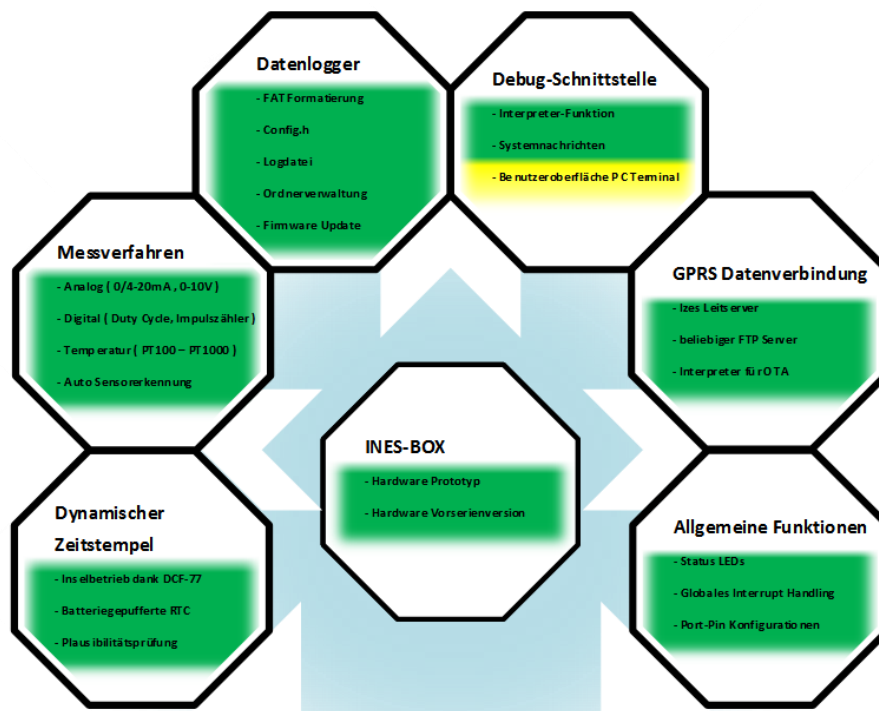


Abbildung 128: Entwicklungsstand der INES-Box in der Version HW310 (grün: abgeschlossen, gelb: zurückgestellt)

Die derzeit mit Stand Mai 2016 noch nicht realisierte Benutzeroberfläche hat nur Auswirkungen auf die Bedienerfreundlichkeit, wodurch jedoch die Funktionalität der INES-Box HW310 nicht eingeschränkt wird. M-Bus und Wi-Fi sind mit Stand Mai 2016 hardwareseitig bereits berücksichtigt, jedoch derzeit noch nicht realisiert. Die Labortests der INES-Box in der Hardwareversion HW310 wurden im April/Mai 2016 durchgeführt. Innerhalb von einem sechswöchigen Dauertest wurden keine Betriebsprobleme festgestellt. Ein Praxistest steht derzeit noch aus und soll im Rahmen von derzeit laufenden F&E Vorhaben der IZES gGmbH durchgeführt werden.

6.3.2 Arbeitspakete

In den Arbeitspaketen 2: *Umsetzung der geringstinvestiven Maßnahmen*, 3: *Psychologische Interventionen* und 4: *Geringinvestive Maßnahmen* hatte die IZES gGmbH nur eine untergeordnete Position und unterstützte die Projektpartner bei Bedarf. Die Durchführung und Verantwortlichkeit oblag dem UCB und der HN, s. hierzu die Kapitel 4 und 5.

6.3.2.1 Arbeitspakete 1 – 3

In den Arbeitspaketen AP1: Methodenentwicklung zur Festlegung des energetischen Basisverbrauchs, AP2: Prüfung und Optimierung der vorhandenen technischen Systeme sowie AP3: Planung und Umsetzung von Interventionen hatte die IZES gGmbH

nur eine untergeordnete Position bzw. unterstützte die Projektpartner bei Bedarf. Die Verantwortung bezüglich der Durchführung der drei genannten Arbeitspakete, unterteilt in insgesamt neun Arbeitsschritte, oblag den Verbundpartnern Umwelt-Campus Birkenfeld sowie der Hochschule Niederrhein.

6.3.2.1.1 Arbeitspaket 1

Im Rahmen von Arbeitspaket 1 (AP1) wurden die geplanten Maßnahmen zur „Technischen und energetischen Betriebsoptimierung“ der beiden untersuchten Hochschulstandorte zusammengestellt. Die Verantwortlichkeit bei der Umsetzung dieses Arbeitspakets lag bei den Hochschulen und wurde durch die IZES gGmbH unterstützt. Zu Beginn dieses Arbeitspakets wurde eine Grundlagenermittlung durchgeführt, bestehend aus einer technischen Bestandsaufnahme, aus der dann die jeweiligen Basislinien der beiden Standorte, soweit diese mit den jeweils vorhandenen Mess- und Zähleinrichtungen durchführbar waren, erstellt werden sollten. Arbeitspaket 1 war unterteilt in insgesamt vier Arbeitsschritte (AS): AS1 Technik der ausgewählten Gebäude und Darstellung des vorhandenen Optimierungspotenzials, AS2 Ermittlung der energetischen Basisdaten, AS3 Erhebung psychologischer Basisdaten und AS4 Usabilityuntersuchung von Gebäudetechnik, die der Nutzerkontrolle unterliegt.

In AS1 wurde festgestellt, dass am Umwelt-Campus Birkenfeld diverse entsprechende Zähleinrichtungen vorhanden waren, und, mit einigen messtechnischen Erweiterungen (vgl. Abschnitt 4.3.3.1.2), damit die entsprechenden energetischen Basisdaten gemäß AS2 erfasst werden konnten. Am Campus Krefeld-Süd der Hochschule Niederrhein waren nur wenige Zähleinrichtungen vorhanden, so dass zur Erstellung der Basislinie zuerst die dazu notwendigen Messstellen geplant und errichtet werden mussten. In diesem Zusammenhang wurde die Gebäudetechnik der ausgesuchten Gebäude überprüft und die daraus ableitbaren zusätzlichen Mess- und Zählstellen identifiziert. Diese Arbeiten wurden in Arbeitspaket 2 AS1 durchgeführt. Bei der Durchführung von AS1 und AS2 wurden die Hochschulen, insbesondere die Hochschule Niederrhein, durch IZES unterstützt.

Im AS3 war die IZES gGmbH nicht beteiligt und im AS4 wurden die Durchführung und die Ergebnisse der Usabilityuntersuchung von programmierbaren Heizkörperventilen ausführlich diskutiert. Die dazu notwendige Versuchsplanung sowie die Durchführung der Versuche wurden durch die HN übernommen.

6.3.2.1.2 Arbeitspaket 2

Arbeitspaket 2 (AP2) diente zur Prüfung und Optimierung der vorhandenen technischen Systeme der beiden Hochschulstandorte. AP2 war unterteilt in zwei Arbeitsschritte (AS): AS1 Ermittlung des Optimierungspotenzials und Umsetzung entsprechender Maßnahmen in den vier ausgewählten Gebäudeteilen, AS2 Psychologische Modellbildung zum Nutzerverhalten

In AS1 wurden aufbauend auf den Erkenntnissen des AP1 als erster Umsetzungsschritt, bezüglich der zum Ziel des Vorhabens gesetzten energetischen Betriebsoptimierung, die dazu notwendigen Mess- und Zähleinrichtungen geplant und im Anschluss daran installiert. Die Installation der Strom- und Wärmemengenzähler wurde durch die Hochschule Niederrhein veranlasst, der Einbau und der Anschluss der dort eingesetzten INES-Boxen wurde im Beisein der technischen Abteilung der HN von IZES durchgeführt. In AP4 und der damit verbundenen Beschreibung der Installation der Messtechnik (s. Abschnitt 6.3.2 Arbeitspaket 4) werden die vorhandenen sowie die zusätzlich installierten Messstellen am Campus Krefeld-Süd der Hochschule Niederrhein genauer betrachtet.

In AS2 wurden die Grundlagen für Schulungen bzw. psychologische Interventionen geplant, bzw. entsprechend modelliert. Die Modellbildung sowie die Erstellung entsprechender Schulungsunterlagen wurden durch die HN übernommen und mit den Projektpartnern ausführlich diskutiert und daraus resultierend im Anschluss optimiert.

6.3.2.1.3 Arbeitspaket 3

Arbeitspaket 3 war unterteilt in insgesamt drei Arbeitsschritte (AS): AS1 Entwicklung von Schulungskonzepten zur Technik, AS2 Entwicklung der psychologischen Interventionen und AS3 Interventionsplanung und Messzeitpunkte.

Das IZES hat die beiden Hochschulen bei der Bearbeitung der ersten beiden AS unterstützt. Die Erstellung der Schulungskonzepte bezüglich der Technik wurde in der Hauptsache vom UCB übernommen. Auch die Ergebnisse des ersten Arbeitsschritts wurden mit den Projektpartnern ausführlich diskutiert und daran anschließend ergänzt bzw. optimiert. Im AS2 hat IZES entsprechende Fragestellungen der HN zu technischen Themen diskutiert bzw. bearbeitet.

Im dritten Arbeitsschritt, der Durchführung der Interventionen, war die IZES gGmbH nicht beteiligt.

6.3.2.2 Arbeitspaket 4: Planung und Umsetzung von geringinvestiven technischen Maßnahmen

In Arbeitspaket 4 wurden von der IZES gGmbH vorrangig Arbeiten in den Arbeitspaketunterpunkten 4.1 und 4.3 durchgeführt.

6.3.2.2.1 Arbeitspaket 4.1: Erhebung repräsentativer Raumtypen und Identifikation der relevanten Nutzungsgruppen

Erhebung repräsentativer Raumtypen

Zu Beginn des Forschungsprojekts wurden die zu analysierenden Gebäudeteile bzw. Raumtypen festgelegt. Diese sollten für die ausgewählten Gebäude mit Hinblick auf

die Gebäudetechnik und die Nutzergruppen repräsentativ sein und Gebäudetechnik in die Untersuchung mit einbezogen werden. Bei der Auswahl musste zusätzlich berücksichtigt werden, dass diese Gebäudeteile innerhalb der Laufzeit des Vorhabens keinen zu großen Nutzungsänderungen unterliegen, um spätere Zuordnungs- und damit verbundenen Auswertungsproblemen vorzubeugen. Ebenfalls wurde bei der Auswahl geeigneter Räume Wert darauf gelegt, an beiden Hochschulen ähnliche Räumlichkeiten bezogen auf Größe, Nutzerzahl und Nutzungsfrequenz zu finden.

Entsprechend der Vorhabenbeschreibung sollten mindestens die drei Raumtypen „Hörsaal“, „Seminarraum“ und „Büroraum“ betrachtet werden. Während der Durchführung des Projekts wurden ergänzend die Raumnutzungsgruppen „Labor“, „Besprechungsraum“, „Flure“ und „Sanitärräume“ in die Analysen einbezogen. Kennzeichnend für Hörsäle und Labore sind eine hohe zeitgleiche Nutzerzahl und automatisierte Be- und Entlüftungssysteme, welche in Seminarräumen, die in der Regel von weniger Nutzern zur gleichen Zeit belegt werden, nicht installiert sind. In Büros ist das Nutzungsverhalten stark personenabhängig und somit besonders für die psychologischen Interventionen von Bedeutung.

Daher wurden insgesamt vier Hörsäle am Campus Krefeld-Süd der HN gewählt, in denen Vorlesungen verschiedener Studiengänge angeboten werden. Drei dieser Hörsäle haben die gleichen Ausstattungsmerkmale und verfügen über entsprechende Gebäudetechnik/-automation sowie über eine Teilklimatisierung. Der vierte Hörsaal/Seminarraum verfügt über keinerlei höhere Technik.

Um Büros, Besprechungsraum, Flure und Sanitärräume zu untersuchen, wurde das Verwaltungsgebäude des Campus Krefeld-Süd, Gebäude A, als Referenzgebäude gewählt, da davon ausgegangen werden konnte, dass die Raumnutzungen keiner großen Änderung unterliegen. Dennoch fand im Juni 2015 ein Umbau im Besprechungsraum der HN statt. Dieser wurde in sieben Büros, einen Flur und einen kleineren Besprechungsraum unterteilt. Das Gebäude verfügt insgesamt über 42 (ab Juni 2015 49) Büroräumen, einem Besprechungsraum, sieben (ab Juni 2015 acht) Flure, zwei Sanitärräumen und einen Technikraum.

Insgesamt ergaben sich daraus die folgenden Räume, unterteilt nach Raumtyp und Gebäude, welche im Rahmen des Forschungsprojekts REGENA untersucht und mit entsprechender Messtechnik ausgestattet wurden:

	F- Gebäude	B- Gebäude	I- Gebäude	Verwaltungsgebäude (Gebäude A)				
RNK	Hörsäle	Hörsaal / Vorle- sungs- raum	Maschi- nenlabor	Büro	Bespre- chung	Sozial (Teekü- che, WCs)	Flure	Tech- nik- raum
Räume	F209	BE14	I24	alle	A113(g)	AE12-11- 1	AE14	
	F303					A114a	A126 d	
	F307					A123a		

Tabelle 101: Ausgewählte Räume, unterteilt nach Typ und Gebäude

Identifikation der relevanten Nutzergruppen

Im Rahmen des Vorhabens REGENA sollten alle relevanten und unterschiedlichen Nutzergruppen einer Hochschule berücksichtigt werden. Die vollständige Erfassung der Nutzergruppen ist zum einen von Bedeutung um Unterschiede zwischen den einzelnen Nutzergruppen bezüglich ihrer Einstellung zum Energiesparen zu eruieren und zum anderen, um alle relevanten Nutzer der Hochschule im Bereich der energetischen Optimierung zu erreichen.

Folgende Nutzergruppen konnten identifiziert werden:

- ❖ Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche)
- ❖ Dozentinnen und Dozenten
- ❖ Studierende

Die folgende Tabelle zeigt die Zuordnung der Nutzergruppen zu den ausgewählten Gebäudeteilen:

Tabelle 102: Zuordnung der Nutzergruppen zu den ausgewählten Gebäudeteilen

	Maschinenlabor	Hörsäle und Vorlesungsräu- me	Büros	Bespre- chung, So- zial, Flure, Technik
Nutzer- gruppe	Dozentin- nen/Dozenten	Dozentin- nen/Dozenten	Mitarbeiterin- nen/ Mitar- beiter	Mitarbeiterin- nen/ Mitar- beiter
	Studierende	Studierende		

6.3.2.2.2 Arbeitspaket 4.3: Maßnahmen an der Hochschule Niederrhein

Installierte Messstellen

In keinem der untersuchten Gebäude bzw. Gebäudeteile an der Hochschule Niederrhein war zu Beginn des Projekts eine hinreichende Messstruktur vorhanden. Durch die damit verbundenen Unklarheiten in der Verbrauchserfassung mussten zu Beginn

des Projekts zunächst eine Vielzahl an Stromzählern und Wärmemengenzählern installiert werden, welche zur regelmäßigen Fernauslese in kurzen Zeitabständen an INES-Boxen (zur näheren Information siehe Abschnitt 6.3.1 Einsatz und Weiterentwicklung der INES-Box) angeschlossen wurden. Diese und deren Messstellen sind in Abbildung 129 schematisch dargestellt. In dieser Abbildung ist die Erfassung des Maschinenlabors in Gebäude I aufgrund der nicht durchführbaren Analyse (vgl. Abschnitt 6.3.2 Arbeitspaket 5) nicht aufgeführt. Dort wurden zwei Wärmemengenzähler und ein Stromzähler installiert und ebenfalls an INES-Boxen angeschlossen.

In Gebäude A (Verwaltungsgebäude) der HN am Campus Krefeld-Süd wurden insgesamt zehn Stromzähler eingebaut. Da der Stromzähler mit der Nummer 35 keine Aktivität zeigte, werden in Folge lediglich die Zähler 31-34 und 36-40 betrachtet. Weiterhin wurden zwei Wärmemengenzähler zur Erfassung des Wärmeenergieverbrauchs der beiden Heizungsstränge „Ost“ und „West“ installiert. Auch diese Messgeräte wurden zur regelmäßigen Fernauslese mit INES-Boxen verbunden. Der Wärmeenergieverbrauch einzelner Heizkörper konnte nach Montage von Heizkostenverteilern (zur näheren Information siehe Abschnitt 6.3.1 Heizkostenverteiler) erfolgen.

Die Stromerfassung in den Hörsälen des Gebäudes F erfolgte über die in jedem Hörsaal installierten Stromzähler. Ein zusätzlicher Stromzähler wurde zur Erfassung des Stromverbrauchs des Seminarraums in Gebäude B installiert.

Für nähere Informationen siehe Abschnitt 6.2.

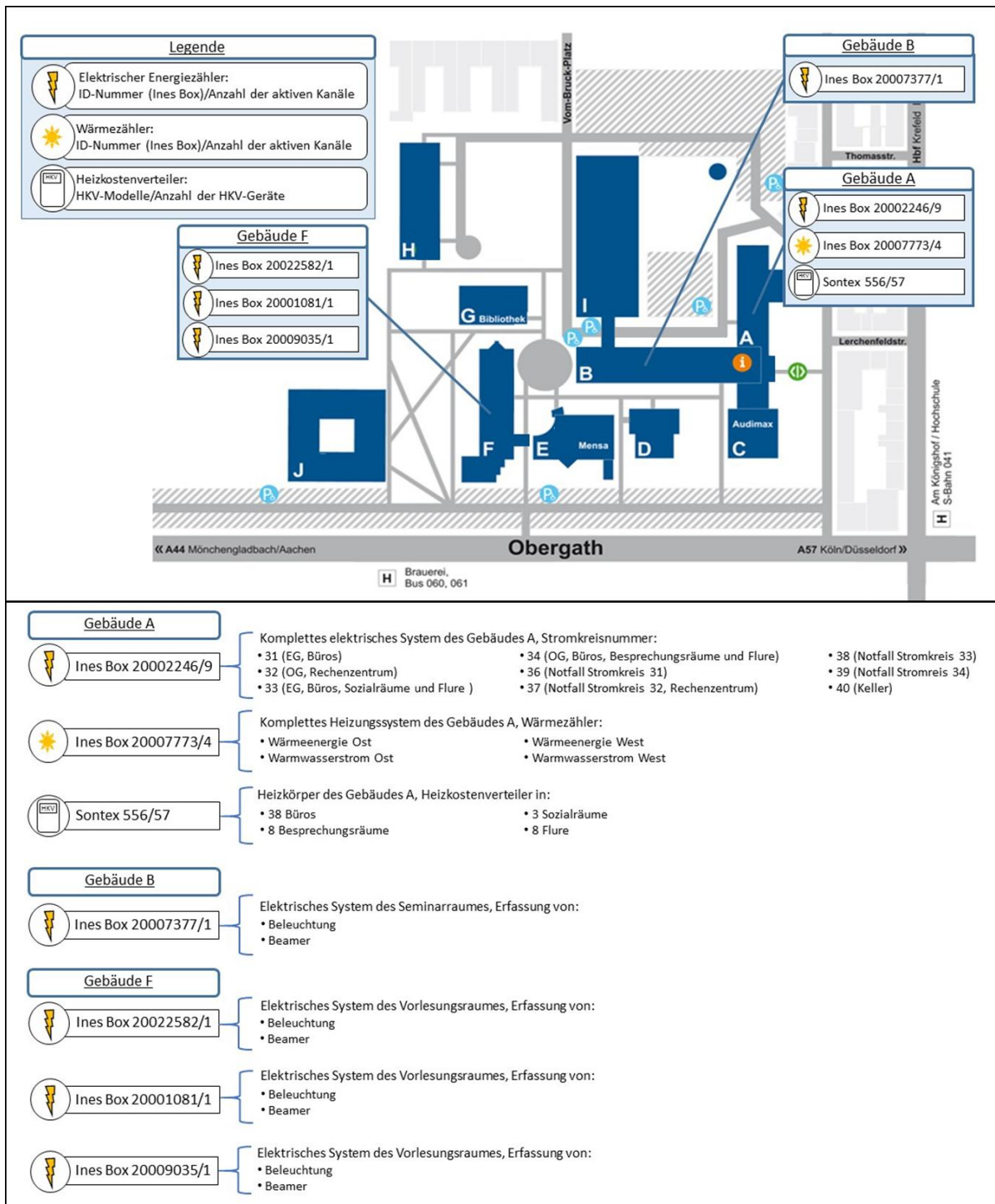


Abbildung 129: Übersicht Messstellen

Energetische Basisdaten

Um die Wirksamkeit der Maßnahmen zur energetischen Betriebsoptimierung sinnvoll abschätzen und eine Vergleichbarkeit der Daten gewährleisten zu können, sollte eine Basislinie der Verbrauchswerte als Referenz erstellt werden. Diese Nulllinie der Verbrauchsdaten von Wärme und Strom, die vor Umsetzung jeglicher Maßnahmen ermittelt werden sollte, sollte dann den Referenzwert zur Ermittlung der nach Projektende erreichten Energieeinsparung bilden. Diese Basislinie konnte aufgrund der zu Beginn vorhandenen Zählerstruktur und der anschließenden langwierigen Zählerin-

stallation und Plausibilisierung der Messdaten nicht erfolgen (s. Abschnitt 6.2). Die gesamte Messstruktur, wie sie in Abbildung 129 schematisch dargestellt ist, konnte daher erst ab dem 01. November 2014 in Betrieb genommen werden.

❖ **Messdatenerfassung der ausgewählten Gebäudeteile**

Um sowohl die detaillierten Energieverbrauchsreferenzwerte als auch die nachfolgenden Energieverbrauchswerte der ausgewählten Gebäudeteile ermitteln zu können, wurden wie zuvor erläutert Stromzähler, Wärmemengenzähler und Heizkostenverteiler sowie INES-Boxen installiert. Die Verbrauchsdaten dieser Gebäudeteile wurden über einen definierten Messzeitraum erfasst. Bei der Festlegung der Messperiodenlänge musste berücksichtigt werden, dass die gewählten Messperioden über die Projektlaufzeit gleich lang sind und die Erfassungen des Wärmeenergieverbrauchs nur in der Heizperiode erfolgen konnten. Aus diesem Grund wurden die nachfolgenden Messperioden festgelegt:

Tabelle 103: Zeitraum der Messperioden

Wärme	Strom
01. November bis 30. April	01. November bis 30. April

6.3.2.2.3 Fazit: Erfolge und Probleme des Aufbaus der Messinfrastruktur

Die größte Schwierigkeit beim Aufbau der Messstruktur war, dass am Campus Krefeld-Süd der HN vor Projektbeginn im Juni 2012 nur sehr wenige Zähleinrichtungen vorhanden waren. Diese mussten daher zunächst aufwendig nachgerüstet werden (s. hierzu Abschnitt 6.2).

Im März 2014 wurden daher zehn zusätzliche Stromzähler in Gebäude A installiert, um für das Projekt relevante Daten zu erhalten. Langfristig kann dadurch ein Energie-Controlling an diesem Standort der HN eingerichtet werden, für das durch das Forschungsprojekt REGENA, insbesondere durch die Installation der zusätzlichen Mess- und Zähleinrichtungen, wichtige und wertvolle Vorarbeiten geleistet wurden.

Zur Übertragung der ermittelten Messdaten über die INES-Boxen wurden SIM-Karten beschafft und in die an der Hochschule Niederrhein am Campus Süd verbauten INES-Boxen eingelegt. Durch einen Serverdefekt des zentralen INES-Servers zwischen dem 16. Dezember 2014 und dem 16. Januar 2015 gab es in diesem Zeitraum einen Ausfall der Datenerfassung. Die Messwerte des darauffolgenden Jahres wurden daraufhin mit denen dieses Zeitraums verglichen und dementsprechend angepasst.

Zur Erfassung der Wärmeverbrauchsdaten in den einzelnen Raumgruppen (Büro, Besprechungsraum, Flure und WC) des Verwaltungsgebäudes (Gebäude A) der HN wurden Heizkostenverteiler, Repeater und eine zugehörige Zentrale beschafft und im März 2014 in Betrieb genommen. Die Messdaten werden stündlich an einen PC übermittelt und werden anschließend automatisiert an den zentralen Projektserver

von IZES übermittelt. Um eine Vergleichbarkeit mit den Messdaten des Projektpartners Umwelt-Campus Birkenfeld zu ermöglichen, wurde eine baugleiche Geräteausstattung der Firma Sontex angeschafft. Diese konnten jedoch nicht rechtzeitig in der gewünschten LAN-Ausführung geliefert werden. Anstelle der LAN-Zentrale wurde daher eine USB-fähige Zentrale beschafft, die mithilfe eines automatisierten Skripts in bestimmten Abständen ausgelesen wurde. Die erfassten Daten wurden dann wie geplant an den zentralen Projektserver von IZES übermittelt.

Durch die kurzen Ausleseintervalle der Heizkostenverteiler (HKV) wurde die Batterielebensdauer der Geräte sehr stark strapaziert, sodass diese nach einem Jahr ausgetauscht werden mussten. Die Firma Sontex stellte dementsprechend und wie zuvor vereinbart Austauschgeräte zur Verfügung. Durch ein unerwartet auftretendes Störsignal, welches auf einer ähnlichen Frequenz sendet wie die HKV, wurden diese nicht nur zu den stündlichen Auslesezeiten, sondern auch dazwischen angesprochen. Dies führte dazu, dass die Batterien der HKV noch stärker strapaziert wurden und die HKV unerwartet ab Oktober 2015 nacheinander aufgrund einer zu schwachen Batterieleistung das Übersenden der Daten an die Zentrale einstellten. Der Fehler wurde im Dezember 2015 erkannt und konnte im Januar 2016 durch die Montage von Ersatz HKV behoben werden. Die Datenerhebung der Zwischenzeit erfolgte durch die Auslesung der in den ausgetauschten HKV monatlich gespeicherten Daten über den optischen Auslesekopf.

6.3.2.3 Arbeitspaket 5: Monitoring und Visualisierung

❖ Datenerfassung

Die Datenerfassung erfolgt über folgende Messgeräte, welche bereits in Abbildung 129 dargestellt wurden:

- Zähler: Wärme, Strom
- Heizkostenverteiler
- INES-Boxen

Der Ablauf der Vorgehensweise des Verbrauchsmonitorings, dessen Auswertung und Visualisierung sind diesem Abschnitt zu entnehmen. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte dargestellt und diskutiert.

6.3.2.3.1 Witterungsbereinigung der Verbrauchsdaten

Um Heizenergieverbrauchswerte zweier Gebäude an unterschiedlichen Standorten miteinander vergleichen zu können, ist eine Bereinigung des erfassten Energieverbrauchs nach VDI 3807 Blatt 1 durchzuführen. Die Bereinigung über Gradtage sollte

nach VDI 3807 jedoch nur dann erfolgen, wenn der betrachtete Zeitraum einem Jahr entspricht. Eine Hochrechnung zur Ermittlung des Verbrauchskennwertes eines Jahres sollte lediglich dann durchgeführt werden, wenn der betrachtete Zeitraum mindestens 400 Gradtage hatte, führt jedoch unter Umständen trotzdem zu einem unzureichenden Ergebnis. Aufgrund dessen, dass nicht das ganze Jahr, sondern nur sechs Monate des Heizenergieverbrauchs betrachtet werden können, ist die Korrektur über Gradtagszahlen nicht zielführend. Um dennoch einen Vergleich der Energieverbräuche durchführen zu können, wird der monatliche Wärmeenergieverbrauch beider Hochschulen mit der jeweiligen mittleren monatlichen Außentemperatur verglichen.

6.3.2.3.2 Berechnung von Wärmeenergieverbrauchswerten

Es wird der Wärmeenergieverbrauch über den von der Hochschulverwaltung genutzten Teil des Gebäudes dargestellt. Dies entspricht der Nettogrundfläche des in Abbildung 130 grün markierten Teils, welche 1.688 m² beträgt⁷. Ein Teil des Erdgeschosses wird anderweitig genutzt und nach Aussage der Hochschule Niederrhein separat beheizt.



Abbildung 130: Übersicht Gebäude A der Hochschule Niederrhein (Quelle: <http://www.hs-niederrhein.de/lageplananfahrt/campus-krefeld-sued/gebaeudeplaene/>)

Grundlage: INES-Daten

Der gesamte Wärmeverbrauch des Gebäudes A wurde über die INES-Box 20007773 erfasst. Die beiden vorhandenen Heizstränge mit den Bezeichnungen Ost und West sind mit jeweils einem separaten Wärmemengenzähler (WMZ) ausgerüstet. Über die

⁷ Da die Nettogrundfläche des Gebäudes bekannt ist, erfolgt die Flächenumrechnung gemäß (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) mit einem Faktor von 1,00. Die in Folge genannten Flächen beziehen sich auf diese Umrechnung.

vorhandenen S0-Schnittstellen werden die Impulse der beiden WMZ von der INES-Box registriert. Addiert ergeben diese, laut Aussage der Hochschule Niederrhein, den gesamten Heizenergieverbrauch des Gebäudes. Um die von der INES-Box erhaltenen Impulse bezüglich ihrer Wertigkeit zu untersuchen, wurden die Wärmemengenzähler in verschiedenen Abständen manuell abgelesen und die jeweiligen Verbrauchsstände dokumentiert. So konnte der Verbrauch verschiedener Messperioden errechnet werden. Das Verhältnis des Verbrauchs zu den von der INES-Box erfassten Impulsen innerhalb der Perioden bildet die Wertigkeit der registrierten Impulse.

Als Resultat ergeben sich die in Tabelle 104 dargestellten Periodenwerte. Deutlich ist, dass die über Ost- und Weststrang gemittelte Impulswertigkeit zwischen 0,96 kWh/Imp und 1,08 kWh/Imp schwankt. Die berechneten Impulswertigkeiten der beiden Stränge innerhalb einer Messperiode sind jedoch annähernd gleich. Aufgrund der Unterschiede wurde zur Auswertung der Daten kein einheitlicher Wert verwendet, sondern mit den periodenspezifischen Werten gearbeitet, obwohl die Impulswertigkeit der eingesetzten Wärmemengenzähler (WMZ) konstant sein sollte. Mögliche Ursachen für die Abweichungen könnten beispielsweise Probleme bei der INES-Box selbst oder am Impulsausgang bzw. der verwendeten Bauteile der WMZ liegen. Dadurch, dass gleichzeitiges Senden und Empfangen von Daten nicht möglich ist, könnten von WMZ gesendete Impulse nicht erkannt werden, wenn die INES-Box in diesem Moment Daten an den Server weiterleitet. Ebenfalls könnten die Impulslängen der von den WMZ gesendeten Impulse zu kurz sein, um von der INES-Box als (einzelner) Impuls erkannt zu werden. Ebenso könnten die Impulslängen und die darauf folgenden Totzeiten der S0-Schnittstellen der WMZ zu lang für diesen selbst sein, um bei einem hohen Verbrauch jeden einzelnen Impuls senden zu können. Für nähere Informationen zur INES-Box siehe Abschnitt 6.3.1.2.

Tabelle 104: Impulswertigkeit der Wärmehzähler

Wärmemengenzähler		07.11.14	01.09.15	30.09.15	03.12.15	18.01.16	31.03.16
		-	-	-	-	-	-
		31.08.15	30.09.15	03.12.15	18.01.16	31.03.16	05.05.16
Ost	Verbrauch [kWh]	47.671	1.709	7.001	9.755	19.102	4.373
	Impulse	46.766	1.605	9.396	9.840	19.076	4.321
	kWh/Imp	0,958	1,065	1,030	0,991	1,00	1,01
West	Verbrauch [kWh]	44.279	1.645	4.640	9.071	17.299	3.930
	Impulse	46.092	1.530	6.214	9.127	17.241	3.867
	kWh/Imp	0,961	1,075	1,033	0,994	1,00	1,02

Der Wärmeenergieverbrauch des Maschinenlabors wurde über die INES-Boxen 20013631 und 20002030 erfasst. Aufgrund fehlender Datengrundlagen, zu geringer Nutzung des Raumes und fehlender manueller Ablesedaten konnten hier keine Ermittlungen der Impulswertigkeiten durchgeführt werden.

Berechnung von Stromverbrauchswerten

Der Stromverbrauch der gemessenen Stromkreise wird über insgesamt sechs INES Boxen erfasst und zentral gespeichert.

Tabelle 105 gibt einen entsprechenden Überblick bezüglich der Zuordnung der einzelnen INES-Boxen zu den gemessenen Räumlichkeiten. Es werden das gesamte Gebäude A sowie vier Vorlesungsräume gemessen, deren Raumnummern aus Datenschutzgründen nicht genannt werden können. Stattdessen erfolgt die Zuordnung über die Seriennummer der eingesetzten INES-Boxen. Durch die in Gebäude A eingesetzten Wandler - mit dem Wandlerverhältnis 1:40 - muss die Impulswertigkeit manuell berechnet werden.

Tabelle 105: Referenzräume zur Messung des Stromverbrauchs

Raum	Bezeichnung	Messgerät	Messgröße	Bemerkungen
Gebäude A	Bürogebäude	INES-Box 20002246	Energieverbrauch pro Stromkreis	9 Stromkreise für das Gebäude, (5 Haupt- & 4 Netzersatzkreise)
20007377	Vorlesungsraum	INES-Box 20007377	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
20022582	Hörsaal	INES-Box 20022582	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
20001081	Hörsaal	INES-Box 20001081	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
20009035	Hörsaal	INES-Box 20009035	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes
20007351	Maschinenlabor	INES-Box 20007351	Energieverbrauch pro Stromkreis	Stromverbrauch des Raumes

Um den erfassten Stromverbrauch von Gebäude A zu verifizieren, wurden in verschiedenen Zeitabständen die Stromzähler manuell abgelesen (analog zu den WMZ) und die Werte entsprechend dokumentiert. Über das Verhältnis aus dem Verbrauch der verschiedenen Zeitperioden zu den von der INES-Box erfassten Impulsen konnte die Wertigkeit der Einzelimpulse bestimmt werden.

Der Gesamtstromverbrauch von Gebäude A wurde mit der INES-Box 20002246 gemessen bzw. dokumentiert. Die jeweiligen Raumnutzungszuordnungen der einzelnen Stromkreise sowie die berechneten Impulswertigkeiten nach der erläuterten Vorgehensweise sind in Tabelle 106 zusammengefasst. Die in Gebäude A eingesetzten Wandler mit dem Wandlerverhältnis 1:40 wandeln die Wertigkeiten der von der INES-Box empfangenen Impulse entsprechend. Dies wird in Tabelle 106 anhand der vom Hersteller angegebenen Soll-Impulswertigkeit und der beschriebenen Vorgehensweise ermittelten Ist-Impulswertigkeiten dargestellt. Aufgrund der

vorhandenen Zählerstruktur können im Referenzgebäude A lediglich die neun vorhandenen separaten Stromkreise gemessen werden. Diese sind unterteilt in 5 Hauptstromkreise und 4 Netzersatzkreise. Nach Informationen der Hochschule sollen die Hauptstromkreise Beleuchtung und konventionelle Steckdosen versorgen und die Netzersatzkreise als Stromquelle für EDV-Geräte dienen.

Die analysierten vier Vorlesungsräume haben eigene Stromzähler, welche den Energieverbrauch erfassen und deshalb separat betrachtet werden können. Tabelle 106 gibt eine Übersicht über die zur Erfassung verwendeten Stromkreise der Räume. Im Gegensatz zu den in Gebäude A verwendeten Stromzählern wurden hier keine Wandler eingesetzt, welche die vom Hersteller angegebene Soll-Impulswertigkeit verändert. Die über die beschriebene Vorgehensweise ermittelten Ist-Impulswertigkeiten sind in Tabelle 106 dargestellt und bestätigen diese Tatsache. Die aufgeführten Impulswertigkeiten werden zur Berechnung des Energieverbrauchs verwendet.

Tabelle 106: Impulswertigkeiten und Zuordnungen der INES-Boxen zur Erfassung des Stromverbrauchs in Gebäude A

Stromkreis	Soll-Impulswertigkeit Stromzähler [kWh/Imp]	Ist-Impulswertigkeit INES-Box [kWh/Imp]	Fläche [m ²]	Raumnutzung
31	0,001	0,04	387,35	12 Büros, 1 Flur
32	0,001	0,04	44	1 Technikraum
33	0,001	0,04	328,55	7 Büros, 5 Flure, 1 Sanitärbereich,
34	0,001	0,04	695,04	17 (ab 06.15 22) Büros, 1 Besprechungsraum, 1 Sanitärbereich, 1 (ab 06.15 2) Flur(e)
36 (Netzersatz 31)	0,001	0,04	387,35	s. Stromkreis 31
37 (Netzersatz 32)	0,001	0,04	44	s. Stromkreis 32
38 (Netzersatz 33)	0,001	0,04	328,55	s. Stromkreis 33
39 (Netzersatz 34)	0,001	0,04	695,04	s. Stromkreis 34
40	0,001	0,04	808,47	Keller
20007377	0,001	0,001	120	Vorlesungsraum
20022582	0,01	0,01	206	Hörsaal
20001081	0,01	0,01	240	Hörsaal
20009035	0,01	0,01	231	Hörsaal
20007351	-	-	259	Maschinenlabor

Grundlage: HKV-Daten

Zur differenzierten Bewertung des Wärmeverbrauchs verschiedener Raumnutzungsgruppen wurden 57 Heizkostenverteiler (HKV) an die Heizkörper des Gebäudes A angebracht.

Da Heizkostenverteiler den Wärmeenergiebedarf nicht direkt zählen können, müssen die Verbrauchswerte der HKVs mithilfe der Wärmemengenzähler berechnet werden. Im Allgemeinen gilt dabei folgende Gleichung:

$$E_{HKV} = Digits_{HKV} * \frac{E_{WMZ}}{Digits_{gesamt}}$$

Für die Berechnung des Energieverbrauchs einzelner HKVs ist also das Verhältnis zwischen dem Gesamtenergieverbrauch des Wärmemengenzählers (E_{WMZ}) und der Gesamtsumme der Digits aller HKVs ausschlaggebend.

Die Wertigkeit eines Digits kann mittels des Gesamtheizenergieverbrauchs des Gebäudes, Gesamtanzahl der Digits und der betrachteten Fläche genähert berechnet werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Wärmemengenzähler (WMZ) aufgrund von Energieverlusten (z. B. Leitungs- und Verteilverlusten etc.) nicht nur die tatsächlich an den Heizkörpern abgegebene Energie (Nutzenergie) zählen, sondern auch alle Verluste, welche zwischen den zentralen WMZ und den Heizkörpern (Verlustenergie) auftreten. Demnach lässt sich über das Verhältnis des angezeigten Verbrauchs der beiden Wärmemengenzähler (WMZ) zu den HKV-Digits die Wertigkeit einer Verbrauchseinheit (VE) bestimmen.

Mittels der Fläche der Räume, in denen sich Heizkörper befinden, welche jedoch nicht von dem installierten HKV-System erfasst werden (0,43 % der Gesamtfläche von rund 1.688 m²), sowie des in Kapitel 31 in (ASHRAE, Inc., 2008) angenommenen Wärmeenergieverlusts von 15 % kann die von den HKV nicht erfasste Heizenergie in guter Näherung abgeschätzt werden. Dementsprechend wird über die Multiplikation des spezifischen Heizenergieverbrauchs von 0,2192 kWh/m²d⁸ mit der Fläche der Räume ohne HKV von ca. 33,4 m² und der betrachteten Tage sowie der Errechnung der 15 % Verlustenergie aus der Gesamtenergieverbrauchsmessung durch die WMZ eine Gesamtverlustenergie innerhalb eines Monats errechnet. Die den HKV zuzuordnende Heizenergie beträgt demnach die von den WMZ erfasste Wärmeenergie abzüglich der errechneten Verlustenergie. Das Verhältnis dieses Energieverbrauchs zu den erfassten VE beschreibt die Wertigkeit jedes Digits in dem betrachteten Monat.

Daraus ergeben sich die in Tabelle 107 dargestellten Monatswerte. Die Heizperiode ist allgemein zwischen November und April, weshalb im Rahmen dieses Projekts dieser Zeitraum als Messperiode gewählt wurde. Deutlich ist, dass die Umrechnungsfaktoren in diesem Zeitrahmen zwischen 0,79 kWh/Imp und 1,05 kWh/Imp, also um ca. 25 %, schwanken. Die Wertigkeiten innerhalb einer Messperiode liegen jedoch in annähernd gleichen Wertebereichen. Aufgrund der Unterschiede wurde kein einheitlicher Wert verwendet, sondern mit den berechneten monatspezifischen Werten gearbeitet.

⁸ Dieser Wert ergibt sich aus (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) und beträgt 80 kWh/m²a, demnach 0,2192 kWh/m²d.

Tabelle 107: Wertigkeiten der Verbrauchseinheiten der HKV

	Nov 2014	Dez 2014	Jan 2015	Feb 2015	Mrz 2015	Apr 2015	Nov 2015	Dez 2015	Jan 2016	Feb 2016	Mrz 2016	Apr 2016
Gesamte- nergie Gebäude A [kWh]	11475	16184	17646	17607	14492	7707	10738	11270	15797	14766	11611	7003
Flächen- spez. Energie- verbrauch [kWh/m²]	6,67	9,41	10,26	10,24	8,43	4,48	6,24	6,55	9,41	9,07	7,86	4,09
15 % Rohrver- luste [kWh]	1721	2428	2647	2641	2174	1071	1611	1691	2370	2215	1742	1054
Energie nicht durch HKV erfasster Räume [kWh]	1378	1944	2119	2115	1741	909	1290	1354	1898	1774	1395	829
Gesamte- nergie HKV [kWh]	8451	11745	12761	12699	10597	5728	7944	8319	11455	10719	8429	5120
HKV Im- pulse	9561	12676	15161	15457	11735	5479	10096	9316	13821	12527	11435	5569
Faktor [kWh/Imp]	0,88	0,93	0,84	0,82	0,90	1,05	0,79	0,89	0,83	0,90	0,86	0,92

6.3.2.3.3 Auswertungen

Die Ergebnisse der Auswertung werden im kommenden Abschnitt anhand von Diagrammen dargestellt. Gegliedert ist dieser Abschnitt in die untersuchten Gebäude, falls möglich in einzelne Raumnutzungskategorien und Räume sowie deren gemessenen Energieverbräuchen. Zunächst erfolgt die Analyse über die täglichen und anschließend über die jährlichen Verbräuche. Weiterhin werden diese im Vergleich mit öffentlichen Vergleichswerten verglichen. Jede Auswertung wird näher erläutert, falls Besonderheiten zu beachten sind werden diese ebenfalls erwähnt und diskutiert.

6.3.2.3.4 Technikum

Aufgrund der seltenen und nur kurzen Nutzungszeiträume von Blockseminaren in den Semesterferien der Hochschule Niederrhein konnten weder Aussagen zur Energieperformance noch zu möglicherweise erreichten Energieeinsparserfolgen getroffen werden. Auf die ausführliche Darstellung der Messdaten des Technikums wird deshalb an dieser Stelle verzichtet.

6.3.2.3.5 Verwaltungsgebäude

Wärmeenergieverbrauch

Gesamtheizenergieverbrauch

Abbildung 131 zeigt den anhand der Impulswertigkeiten ermittelten Gesamtheizenergieverbrauch von Gebäude A pro Tag im Vergleich zur jeweiligen Außentemperatur. Zwischen dem 16. Dezember 2014 und dem 16. Januar 2015 gab es einen Ausfall der Datenerfassung aufgrund eines Ausfalls des zentralen INES-Servers. Durch den Ausfall der Messdatenerfassung wurden die Messwerte mit denen des darauffolgenden Jahres verglichen. Die Werte der Weihnachts- und Silvesterzeit 2015/2016 zeigen keine besondere Veränderung. Dementsprechend wurden die fehlenden Daten über die jeweiligen Wochentage gemittelt. Dies gilt ebenso für die Zeit vom 01. November 2014 bis 06. November 2014.

Weiterhin ist ein der Erwartung entsprechender Verlauf des spezifischen Heizenergieverbrauchs zu erkennen. In den Wintermonaten steigt der Gesamtheizenergiebedarf an und in den Sommermonaten sinkt er. Auffällig bzw. wider den Erwartungen ist der teilweise bis zu 100 kWh/d hohe Heizenergieverbrauch in der Zeit zwischen Mitte Juni und August 2015

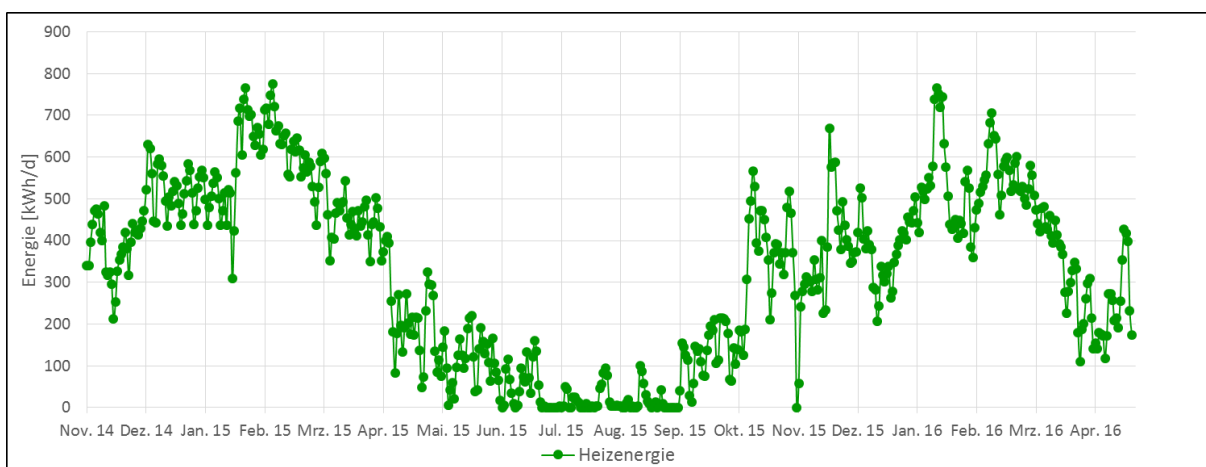


Abbildung 131: Gesamtheizenergieverbrauch Gebäude A Nov 2014 - Apr 2016 (täglich)

Beim Vergleich der beiden Heizperioden verglichen ist sich eine deutliche Verbrauchsreduzierung zu erkennen. Abbildung 132 zeigt eine Minimierung des Verbrauchs um 13 %. Im Rahmen der Diskussion wird dies auf mögliche Ursachen untersucht.

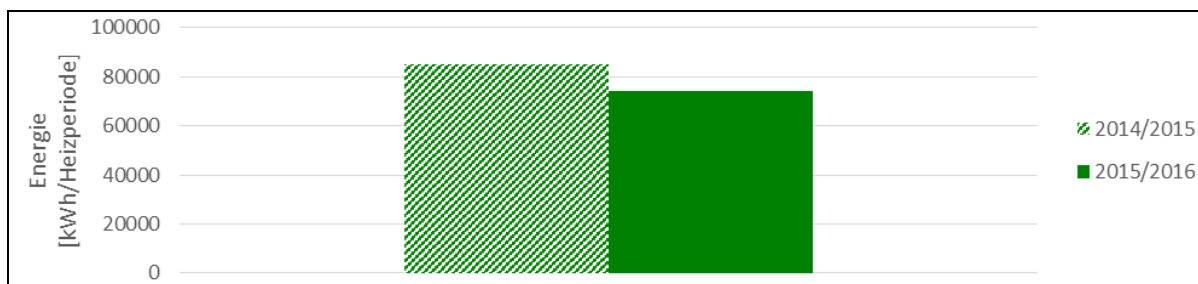


Abbildung 132: Gesamtheizenergieverbrauch Gebäude A Nov 2014 - Apr 2016 (monatlich)

Heizenergieverbrauch verschiedener Raumnutzungskategorien

Abbildung 133 zeigt den entsprechenden Heizenergieverbrauch von Gebäude A innerhalb der ersten und der zweiten Messperiode, unterteilt in die ausgewählten Raumnutzungskategorien (RNK).

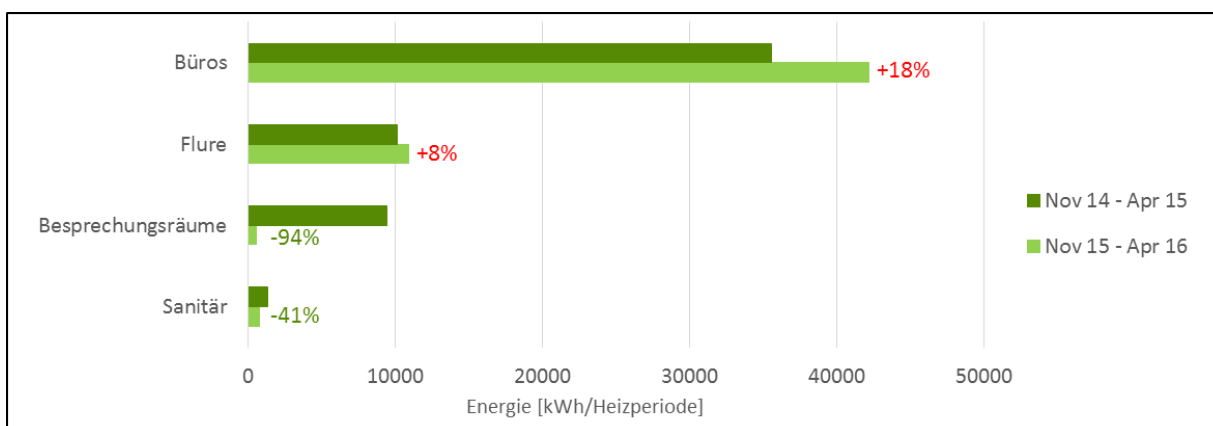


Abbildung 133: Heizenergieverbrauch der einzelnen Raumtypen, kalkuliert mittels der gemessenen HKV Digits

Zu erkennen ist, dass die Büroräume, welche die Hauptnutzungskategorie des Gebäudes darstellen, den höchsten Heizenergieverbrauch haben. Der weniger genutzte Besprechungsraum und die weniger genutzten Sanitärräume haben hingegen einen sehr niedrigen Verbrauch an Heizenergie. Besonders auffällig ist der Energieverbrauchsrückgang des Besprechungsraumes um rund 94 %. Begründet ist dies durch den Nutzungswechsel des Raumes, welcher in Abbildung 130 dargestellt ist. Dieser wurde im Sommer 2015 zu sieben Büroräumen, einem Flur und einem deutlich kleineren Besprechungsraum umgebaut. Daher werden die 94 % der Energie (rund 8.880 kWh), welche in der ersten Messperiode noch dem Besprechungsraum zugeordnet war, in der zweiten Messperiode den Büros und den Fluren zugeschrieben. Der absolute Energieverbrauch der Büros stieg daher auch in der zweiten Messperiode um 18 % (rund 6.450 kWh). Eine detaillierte Betrachtung des Energieverbrauchs bzgl. der Änderung der Flächenverteilung erfolgt in der Diskussion des Wärmeenergieverbrauchs. Zu erwarten wäre eine deutlich höhere Energiezunahme von mindestens der Menge an Energie, die in der zweiten

Messperiode von der Zuordnung zu den Besprechungsräumen in die Büros übergehen müsste. Die geringere Zunahme kann aber der in Abbildung 132 dargestellten gesamten Energieeinsparung des Gebäudes zugeordnet werden. Die Flure haben insgesamt eine geringe Steigerung des Heizenergieverbrauchs von 8 % (rund 880 kWh). Zu vermuten ist, dass dieser durch den hinzugekommenen unbeheizten Flur begründet werden kann. Daher kann von einem leichten Mehrverbrauch in den Fluren ausgegangen werden, um diesen Flur indirekt mit zu heizen. Die Sanitärräume verbrauchten in der zweiten Messperiode 41 % (rund 520 kWh) weniger Energie als noch in der ersten. Auch diese Reduzierung kann der in Abbildung 132 dargestellten gesamten Energieeinsparung des Gebäudes zugeordnet werden. Eine genauere Analyse erfolgt in der Diskussion.

Im monatlichen Vergleich der verschiedenen RNK wird die Notwendigkeit einer detaillierten Betrachtung und Analyse des Heizenergieverbrauchs ebenfalls deutlich. Abbildung 134 zeigt den monatlichen Verbrauch an Heizenergie der einzelnen RNK. Die Büros und die Flure folgen in beiden Messperioden den Erwartungen eines höheren Verbrauchs in den Wintermonaten und des niedrigeren Verbrauchs im Herbst und im Frühjahr. Die Büros haben durch den Nutzungswechsel des großen Besprechungsraumes zur zweiten Messperiode und der resultierenden neuen Büros analog zu dem Ergebnis aus Abbildung 133 einen höheren Energieverbrauch in der zweiten Messperiode. Auffällig ist, dass die Flure in beiden Messperioden einen ähnlich hohen Energieverbrauch haben wie der große Besprechungsraum der ersten Messperiode. Auch dies ist bereits in Abbildung 133 veranschaulicht. Hier wird deutlich, dass eine bessere Kontrolle bezüglich des Energieverbrauchs, insbesondere im Bereich der Flure, erfolgen sollte um deutliche Einsparungen zu erreichen. Klar erkennbar ist, dass lediglich im Besprechungsraum und in den Sanitärräumen eine Reduzierung der Energieverbräuche in der zweiten Messperiode erreicht wurde. Da für den Besprechungsraum im Dezember 2015 kein Verbrauch an Heizenergie erfasst wurde, ist davon auszugehen, dass der Raum auch in dieser Zeit nicht genutzt wurde. Auffällig ist der geringere Heizenergieverbrauch der Büros im Dezember der zweiten Messperiode im Gegensatz zum Verbrauch im Vorjahr. Auch die Flure verbrauchten im Dezember 2015 und Januar 2016 weniger Wärmeenergie als 2014 bzw. 2015. Die deutliche Verbrauchsreduzierung der Besprechungsräume der gesamten Messperioden (vgl. Abbildung 133) spiegelt sich in der monatlichen Darstellung wieder. Eine ausführliche Analyse folgt in der Diskussion.

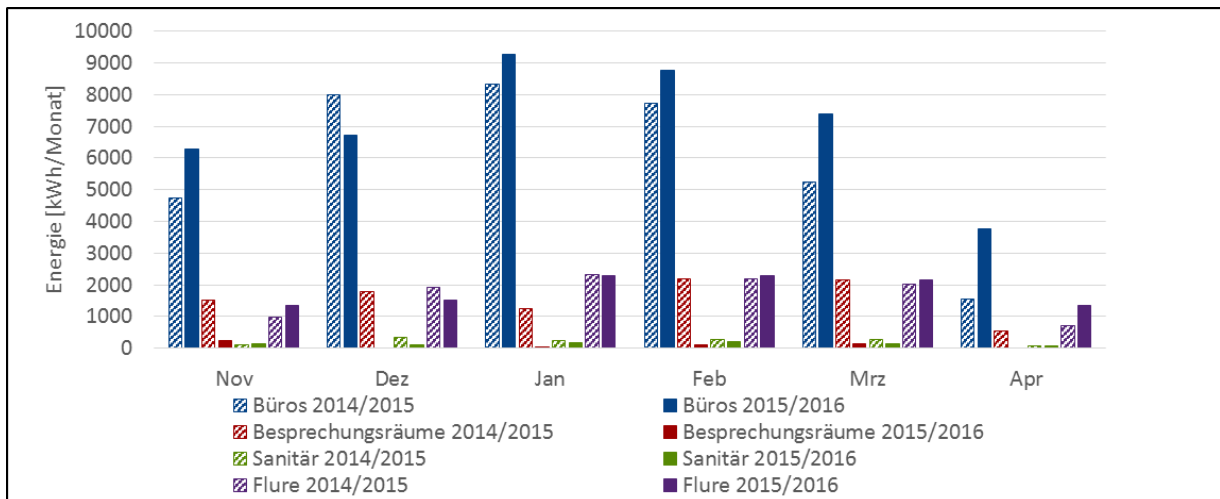


Abbildung 134: Vergleich des monatlichen Heizenergieverbrauchs der RNK pro Messperiode

Verteilung der Heizenergie

Abbildung 135 zeigt die absolute Verteilung des Heizenergieverbrauchs und der Flächen der Raumnutzungskategorien (RNK) zwischen November 2014 und April 2015 sowie zwischen November 2015 und April 2016. Erwartungsgemäß haben die Büroräume in Summe in beiden Heizperioden den höchsten absoluten Verbrauch. Dies unterstreicht das Potenzial einer möglichen Energieeinsparung in dieser Nutzungskategorie. Die Sanitärräume benötigen, wie durch die für gewöhnlich kurzfristige Nutzung und den geringen Flächenanteil zu erwarten ist, in der ersten Messperiode den geringsten Anteil der Heizenergie des Gebäudes. Die Anteile sowohl an der Gesamtfläche und dem Gesamtenergieverbrauch bleiben über beide Messperioden annähernd konstant. Aufgrund der diskontinuierlichen und lediglich kurzzeitigen Nutzung der RNK Sanitärräume und Flure ist zu erwarten, dass die Flächenanteile dieser RNK größer sind als die Anteile an der Gesamtheizenergie. Diese Erwartung wird von beiden RNK in beiden Messperioden erfüllt. Der Besprechungsraum hat in der zweiten Messperiode eine Anteilsminderung am Gesamtenergieverbrauch von -16 % (von 17 % auf 1 %), begründet durch die Reduzierung seines Flächenanteils von rund 15 % in der ersten Messperiode auf rund 1 % in der zweiten Messperiode. Grund hierfür ist die Nutzungsänderung dieses Raumes, der in der zweiten Periode nach einem Umbau neben einem kleineren Besprechungsraum zusätzlich einem Flur sowie sieben Büros Platz bietet. Büros stellen mit einem Anteil an der Gesamtfläche des Gebäudes von 62 % in der ersten und 73 % in der zweiten Messphase deutlich die Hauptnutzung dar. Der Verbrauchsanteil an Wärmeenergie steigt jedoch im Vergleich zur Flächenentwicklung beachtlich von 63 % auf 77 %. Dieser Mehrverbrauch ist vermutlich größtenteils dem Nutzungswechsel des Besprechungsraumes zuzuordnen. Die Heizkörper, welche sich zuvor in einem Raum befunden haben, werden in den Büros nun unabhängig voneinander bedient. Dies könnte den leicht höheren Anteil der Heizenergie der Büros im Vergleich zur größeren Fläche erklären. Auch der größere Flächenanteil von 20 % in der zweiten Heizperiode (18 % in der Ersten) der Flure entstand durch die Nutzungsänderung des Besprechungsraumes. Der Anteil am

Gesamtenergieverbrauch änderte sich in der zweiten Messperiode im Gegensatz zur Anteilsänderung der Fläche daher nur gering, da in der hinzu gekommenen Fläche des Flures kein Heizkörper installiert ist.

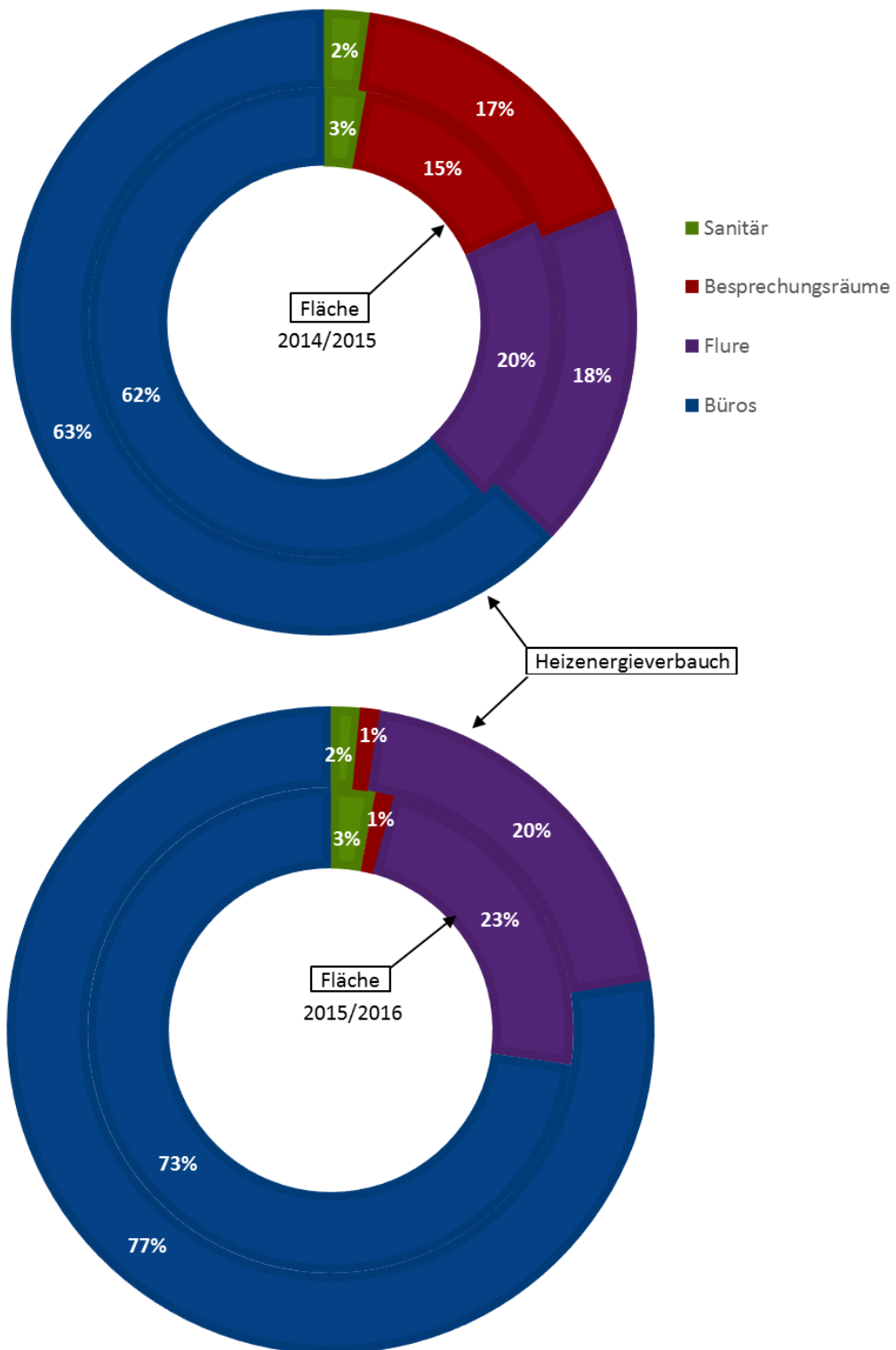


Abbildung 135: Absolute Verteilung der Heizenergie und Fläche nach RNK für die Zeiträume Nov. 2014 bis April 2015 und Nov. 2015 bis April 2016

Diskussion

Vergleich des Heizenergieverbrauchs mit deutschen Standards

Über das Kalenderjahr 2015 betrachtet, liegt der Wärmeenergieverbrauch des Verwaltungsgebäudes mit 58,44 kWh/m²a (rund 0,16 kWh/m²d, s. Abbildung 137) rund 27 % unter dem Vergleichswert aus (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) von 80 kWh/m²a (rund 0,22 kWh/m²d, s. Abbildung 137).

Eine genaue Analyse des Heizenergieverbrauchs in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens der ersten im Gegensatz zur zweiten Messperiode erfolgt über die Außentemperaturbereinigung. Da durch die Installation der INES-Boxen (vgl. Abschnitt 6.3.1.2) sogar eine Energieverbrauchserfassung im Minutentakt vorhanden ist, kann die Bereinigung über die täglichen Verbrauchswerte und mittleren Außentemperaturen durchgeführt werden. Die Vorgehensweise entspricht der Bereinigung der Endenergieverbrauchswerte der VDI 3807 Blatt 1 über die Bestimmung der Regressionsgeraden der Auftragung des täglichen Energieverbrauchs über die täglichen Durchschnittstemperaturen. Mithilfe dieser Ergebnisse ist die Bereinigung des Heizenergieverbrauchs zu einem Verbrauchskennwert eines Jahres möglich. Dazu werden die Parameter der Regressionsgeraden (vgl. Gleichung (1)) eingesetzt. Der Heizenergieverbrauchskennwert des Jahres 2015 wird daher durch folgende Gleichungen beschrieben:

$$\text{allgemein: } Q_{VH} = (s \cdot t_m + (Q_{V0} - Q_{VGP})) \cdot z_{Hm} \quad (1)$$

mit Q_{VH} mittlerer Heizenergieverbrauch [kWh/a]

s Steigung der Heizgeraden

t_{Hm} langjährige Tagesdurchschnittstemperatur
über die Heiztage [°C]

Q_{V0} Energieverbrauch bei $t_m = 0$ °C [kWh/d]

Q_{VGP} Energieverbrauch für Prozesswärme [kWh/d]

z_{Hm} durchschnittliche Anzahl der Heiztage [d/a].

Da der Heizenergieverbrauch direkt an Wärmemengenzählern abgelesen wurde und nicht über den Verbrauch an Brennstoff ermittelt werden musste, welcher zusätzlich

für die Trinkwassererwärmung sorgt, ist keine Berücksichtigung der Prozesswärme⁹ notwendig. In Gleichung (1) hat diese demnach den Wert 0. Für den Standort Krefeld können nach VDI 3807 repräsentativ die Werte der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Düsseldorf verwendet werden. Nach Anhang A der VDI 3807 Blatt 1 beträgt die durchschnittliche Anzahl der Heiztage z_{Hm} dort 266,2 und die langjährige Tagesdurchschnittstemperatur t_{Hm} 7,1 °C. Die Steigung s wird aus der Steigung der Regressionsgeraden in Abbildung 136 zur Bewertung des Jahres 2015 entnommen, ebenso der Heizenergieverbrauch Q_{V0} , der durch den Achsenabschnitt dargestellt ist.

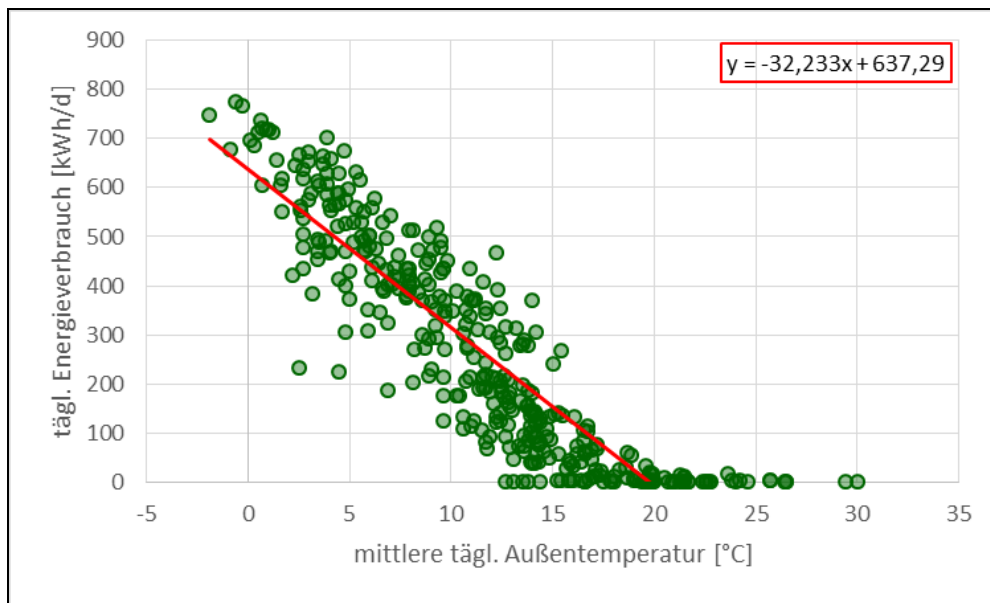


Abbildung 136: Bildung der Regressionsgeraden der Auftragung des täglichen Energieverbrauchs über die mittlere Tagesaußentemperatur Gebäude A Jahr 2015

Für den Zeitraum des Jahres 2015 gilt:

$$Q_{VH} = \left(-32,233 \frac{\text{kWh}}{^{\circ}\text{C}} \cdot 7,1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{d}} + 637,29 \frac{\text{kWh}}{\text{d}} \right) \cdot 266,2 \frac{\text{d}}{\text{a}} \approx 106064 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Der Verbrauchskennwert für das Jahr 2015 beträgt bei einer Bezugsfläche von 1687,46 m² rund 63 kWh/m²a. Verglichen mit dem öffentlichen Vergleichswert nach (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) von 80 kWh/m²a für Verwaltungsgebäude ist der generelle Heizenergieverbrauch des Verwaltungsgebäudes der Hochschule Niederrhein gering. Das deutet einerseits auf ein gutes Heizverhalten

⁹ Unter Prozesswärme wird nach VDI 3807 der außentemperaturunabhängige Wärmeverbrauch zusammengefasst. Darunter wird allgemein die Erwärmung von Trinkwasser verstanden.

der Nutzer des Gebäudes hin, könnte jedoch ebenso mit einem guten Dämmstandard begründet werden, welcher jedoch nicht bekannt ist.

Die folgende Analyse des täglichen Energieverbrauchs muss für den gesamten erfassten Zeitraum jedoch unbereinigt erfolgen, da der Messzeitraum nur 18 Monate umfasst und somit keinen ganzjährlichen Vergleich mehrerer Messperioden, wie es nach VDI 3807 vorgeschrieben ist, zulässt. Dies ist auf die Verzögerungen des Messbeginns zurückzuführen, welcher aus der Notwendigkeit einer neuen Messstruktur resultierte. Zu näheren Informationen siehe Abschnitt 6.2.

Verglichen mit der täglich gemittelten Außentemperatur verläuft der Energieverbrauch erwartungsgemäß. In Abbildung 137 ist deutlich zu erkennen, dass der Energieverbrauch bei steigenden Temperaturen sinkt und bei sinkenden Temperaturen steigt. Dies ist vor allem am 03. Dezember 2014 erkennbar. An diesem Tag lag der flächenspezifische Verbrauch bei einer mittleren Außentemperatur von $-0,5\text{ °C}$ bei $0,37\text{ kWh/m}^2$. Im Gegensatz zu diesem Wärmeenergieverbrauch konnte am 10. Dezember 2014 bei einer mittleren Außentemperatur von 5 °C ein um $0,11\text{ kWh/m}^2$ geringerer flächenspezifischer Energieverbrauch festgestellt werden. Ein weiteres deutliches Beispiel ist der Zeitraum vom 17. Dezember 2015 bis zum 21. Februar 2016. In diesem ist die Temperatur zuerst von $13,6\text{ °C}$ auf $-3,6\text{ °C}$ am 19. Januar 2016 gefallen und anschließend wieder auf $11,3\text{ °C}$ am 21. Februar 2016 angestiegen. Proportional zu diesem Verhalten ist der Energieverbrauch von $0,17\text{ kWh/m}^2$ am 17. Dezember 2015 auf $0,45\text{ kWh/m}^2$ am 19. Januar 2016 gestiegen und wurde zum 21. Februar 2016 wieder auf $0,27\text{ kWh/m}^2$ reduziert. Dieser Trend weist auf ein gutes Gebäudemanagement hin.

Auffälligkeiten liegen in einzelnen Tagen, die eine ähnliche mittlere Außentemperatur haben, jedoch unterschiedliche Energieverbräuche. So kann beispielsweise am 03.12. 2014 bei einer mittleren Außentemperatur von $-0,5\text{ °C}$ ein Energieverbrauch von $0,37\text{ kWh/m}^2$ festgestellt werden, am 06. Februar 2015 bei einer Außentemperatur von $-0,6\text{ °C}$ einen Mehrverbrauch von $0,09\text{ kWh/m}^2$, also einen Verbrauch von $0,46\text{ kWh/m}^2$. Die Außentemperatur von $-0,5\text{ °C}$ führte am 17. Januar 2016 zu einem flächenspezifischen Energieverbrauch von $0,34\text{ kWh/m}^2$, am 16. Februar 2016 jedoch zu einem um $0,06\text{ kWh/m}^2$ erhöhten Energieverbrauch von $0,40\text{ kWh/m}^2$. Im Vergleich ähnlicher flächenspezifischer Wärmeenergieverbräuche zu den mittleren Tagestemperaturen fallen ebenfalls Unregelmäßigkeiten auf. In der Winterzeit, beispielsweise am 06. Februar 2015 konnte bei einer mittleren Außentemperatur von $-0,6\text{ °C}$ ein Energieverbrauch von $0,46\text{ kWh/m}^2$ festgestellt werden, während bei einer um -3 °C geringeren Außentemperatur am 19. Januar 2016 ($-3,6\text{ °C}$) ebenso viel Energie verbraucht wurde wie am 06. Februar 2015. Bei einem Verbrauch von $0,11\text{ kWh/m}^2$ beispielsweise am 12. April 2015 ($10,3\text{ °C}$), 17. September 2015 ($13,8\text{ °C}$) und 09. Oktober 2015 ($12,9\text{ °C}$) ist eine Temperaturspanne von sogar $3,5\text{ °C}$ bei gleichem Verbrauch zu vermerken. Die unter näherer Betrachtung des Energieverbrauchs im Vergleich zur derzeit herrschenden Außentemperatur festgestellten Unterschiede weisen darauf hin, dass

bei geringeren Temperaturen auch unter Einsatz weniger Heizenergie eine angenehme Raumtemperatur erreicht werden könnte. Dies deutet ebenfalls daraufhin, dass die Zeitpunkte, in denen niedrigere Temperaturen herrschen, ebenfalls von Bedeutung sind. So zeigen die vorherigen Auswertungen, dass bei gleicher Temperatur am Ende der Heizperiode mehr Energie verbraucht wurde als noch zu Beginn der Heizperiode. Das lässt also darauf schließen, dass die thermische Speicherfähigkeit der Gebäudemauern bzw. deren Auskühlung über den Winter einen Mehrverbrauch gegen Ende der Heizperiode bedingt bzw. mehr Energie benötigt wird um die gewünschte Innenraumtemperatur zu erreichen als zu Beginn der Heizperiode. Es kann auch auf eine Überkompensation von Temperaturschwankungen geschlossen werden, welche einen höheren Heizenergieverbrauch verursachen, als zum Erreichen einer behaglichen Innentemperatur nötig wäre. Dies lässt darauf schließen, dass die Installation eines autonom kontrollierten Heizsystems den Heizenergieverbrauch senken könnte.

Auffällig ist auch der Energieverbrauch am 07. November 2015, an dem dieser auf ein Minimum sinkt. Da der 07. November 2015 ein Samstag war, ist auch kein Verbrauch an Warmwasser zu erwarten. Bekannt ist, dass die Heizung der Hochschule Niederrhein am Campus Krefeld-Süd außentemperaturgesteuert ist. Auch in den Sommermonaten ist ein Heizenergieverbrauch an manchen Tagen festzustellen. Vor allem zwischen Juni und August 2015 ist in Abbildung 131 und Abbildung 137 nur vereinzelt ein Verbrauch zu erkennen. Das Auftreten der Tage mit Heizenergieverbrauch mit den mittleren Tagesaußentemperaturen verglichen, lässt sich ein Zusammenhang erkennen. Die Temperaturmarke von 19 °C ist die vom Gebäudemanagement der Hochschule festgelegte Heizgrenztemperatur. Abbildung 137 verdeutlicht diesen Zusammenhang: An allen Tagen, welche die Außentemperaturmarke von ca. 19 °C überschreiten ist kein Heizenergieverbrauch zu erkennen. Die Herabsetzung der Heizgrenztemperatur um 1-2 °C würde hier schon zu einer deutlichen Minderung des Wärmeenergieverbrauchs führen. Da die offizielle Heizperiode nur von Oktober bis April (den kühleren Monaten) dauert, jedoch auch außerhalb dieser Zeit Wärmeenergieverbrauch festgestellt werden kann, kann durch Herabsetzung der Heizgrenztemperatur gerade in den Sommermonaten Energie eingespart werden.

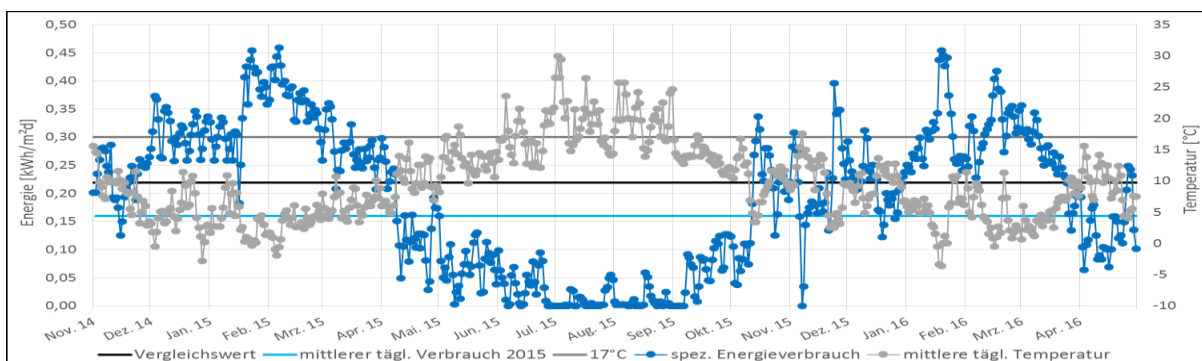


Abbildung 137: Betrachtung des flächenspezifischen Gesamtheizenergieverbrauchs Gebäude A (täglich)

Die beiden Heizperioden miteinander verglichen, fällt analog zu Abbildung 132 eine Reduzierung des flächenspezifischen Energieverbrauchs auf (s. Abbildung 138). Diese Verringerung kann sowohl aus der Differenz der mittleren Außentemperaturen der Heizperioden, als auch aus geringerer Belegung des Gebäudes und aufgrund des Erfolgs der psychologischen Interventionen, welche in Abschnitt 5 erläutert werden, resultieren. Eine definitive Zuordnung ist mit den vorliegenden Daten jedoch nicht möglich, da insbesondere die Belegungszahlen und -zeiten nicht bekannt sind.

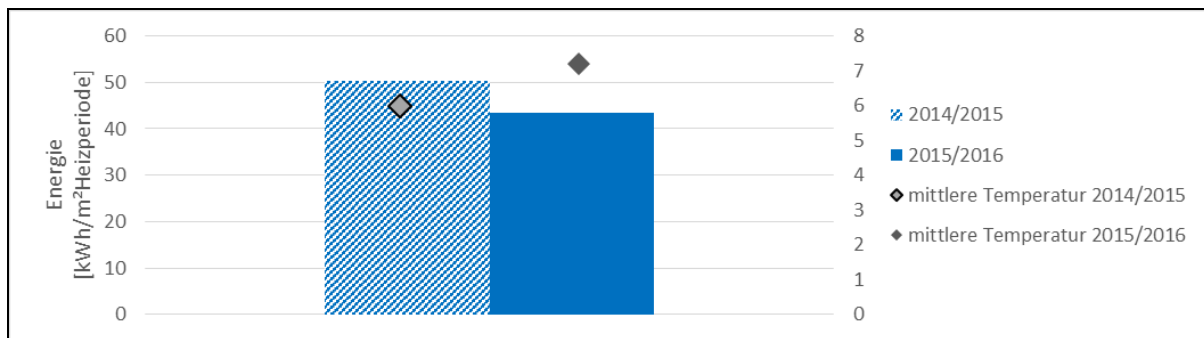


Abbildung 138: Betrachtung des flächenspezifischen Gesamtheizenergieverbrauchs Gebäude A (pro Heizperiode)

In der folgenden Auswertung sind alle Temperaturangaben als mittlere Monatsaußentemperaturen zu verstehen, auch, wenn dies nicht explizit erwähnt ist.

Der monatliche Verlauf des Energieverbrauchs beider Messperioden in Abbildung 139 ist verglichen mit den mittleren monatlichen Außentemperaturen erwartungsgemäß. Der geringere Verbrauch im Jahr 2015/2016 scheint, wie in Abbildung 139 dargestellt, durch höhere Außentemperaturen begründet. Um einen genaueren Vergleich ziehen zu können, werden in Folge die monatlichen Heizenergieverbräuche mit den nach dem Deutschen Wetterdienst zu dieser Zeit herrschenden Außentemperaturen verglichen. Verwendet wurden die Temperaturen aus Düsseldorf, da lokale Wetterdienste nicht über ein Wetterarchiv verfügen, welches den benötigten Zeitrahmen vollständig abdeckt. Deutlich erkennbar ist die scheinbare Proportionalität dieses Zusammenhangs. Durch die hohe Temperaturdifferenz von Dezember 2014 (4,5 °C) und 2015 (9,5 °C) von +5 °C wird 30 % weniger Energie verbraucht, siehe hierzu auch Tabelle 108. Bei der Betrachtung des Januars mit der geringeren Temperaturdifferenz zwischen 2015 (3,7 °C) und 2016 (4,7 °C) von +1 °C ist analog ein geringerer Energieverbrauch von 8 % zu erkennen. Auffälligkeiten ergeben sich bei der Betrachtung des Energieverbrauchs bei bestimmten Temperaturen zu bestimmten Jahreszeiten. Beispielsweise verursacht das Fallen der mittleren Temperatur um 0,4 °C im Dezember 2015 (9,5 °C) im Vergleich zu November 2015 (9,9 °C) nur einen sehr geringen Anstieg des Energieverbrauchs von 3 %. Im Januar (4,7 °C) und Februar 2016 (4,6 °C) hingegen herrschte eine Differenz der durchschnittlichen Außentemperatur von nur 0,1 °C. Der Energieverbrauch ändert sich im Februar jedoch ebenfalls um 3 %. Im Vorjahr ist solch ein Effekt im Vergleich von Januar (3,7 °C) auf Februar 2015 (3,1 °C) zu erkennen. Die Durchschnittsaußentemperaturdifferenz beträgt -0,6 °C, der Verbrauch beider Monate ist jedoch ähnlich hoch. Dies könnte auf ein Fehl-

verhalten der Nutzer hinweisen. Im Gegensatz dazu ist der Energieverbrauch im März 2016 (5,3 °C) anders als erwartet. Trotz einer um 1,1 °C geringeren Temperatur im Jahr 2016 (5,3 °C) wird 11 % weniger Heizenergie verbraucht als im wärmeren März 2015 (6,4 °C). Dies deutet auf eine bewusstere Nutzung der Wärmeenergie hin, kann jedoch auch auf eine geringere Anwesenheit von Mitarbeitern, beispielsweise aufgrund von Osterurlaub, zurückzuführen sein. Eine genaue Analyse des Heizenergieverbrauchs pro Temperaturänderung ist mithilfe der Tabelle 108 durchzuführen. Diese gibt ebenfalls die Temperatur- und Verbrauchsänderung der Messperioden November 2014 bis April 2015 und November 2015 bis April 2016 im monatlichen Vergleich an. Anhand von Tabelle 108 wird die Verbrauchsänderung pro Temperatureinheit untersucht.

Auch in Abbildung 139 ist die relativ hohe Temperatur im November beider Messperioden auffällig. Der Temperaturunterschied beträgt hier 1,3 °C (8,6 °C im November 2014 und 9,9 °C im November 2015). Der Verbrauch verringert sich nach Tabelle 108 um 4 % pro °C Temperaturunterschied. Im Vergleich der Dezembermonate ist in Abbildung 139 ein Temperaturunterschied von +5 °C im Dezember 2015 (9,5 °C) zum Dezember 2014 (4,5 °C) zu erkennen und in Tabelle 108 aufgeführt. Theoretisch ist davon auszugehen, dass der Unterschied von 4,5 °C zu 9,5 °C in den Dezembermonaten deutlich stärker wahrgenommen wird, als der Unterschied von 8,6 °C auf 9,9 °C in den Novembermonaten der Heizperioden. Dadurch könnte davon ausgegangen werden, dass der Verbrauchsunterschied pro Grad Celsius Temperaturunterschied im Dezember höher sein würde. Entgegen dieser Annahme wurde jedoch ein ähnlicher Verbrauchsunterschied pro Temperatureinheit von 6 %/ °C festgestellt. Dies liegt vermutlich daran, dass der Temperaturunterschied nicht direkt, sondern in Relation zum Vormonat wahrgenommen wird. Im Vergleich der Januarmonate ist lediglich ein Temperaturunterschied von 1 °C, 3,7 °C im Januar 2015 und 4,7 °C im Januar 2016, festzustellen. Diese Temperaturdifferenz führt im Januar 2016 zu einem geringeren Energieverbrauch von sogar 8 %/ °C. Der Vergleich der Verbrauchswerte von Februar 2015 (3,1 °C) und Februar 2016 (4,6 °C) ergibt eine Verbrauchsänderung von 7 %/ °C. Die Relation zwischen Verbrauchsreduzierung pro Grad höherer mittlerer monatlicher Außentemperatur von 6 %/ °C in den Dezembermonaten, 8 %/ °C in den Januarmonaten und 7 %/ °C in den Februarmonaten ist trotz höherer mittlerer Temperatur des Dezembers 2015 annähernd gleich. Dadurch kann auf eine annähernd konstante Reduzierung des Heizenergieverbrauchs pro Grad Temperaturerhöhung sowie ein konstantes Nutzerverhalten hinsichtlich des Wärmeenergieverbrauchs geschlossen werden. Dies würde darauf hindeuten, dass der Effekt/Erfolg der in Abschnitt 5 aufgeführten vorgenommenen Interventionen und Maßnahmen aufgrund der messtechnisch erfassten Daten nicht nachgewiesen werden kann, da die Verbrauchsreduktionen über alle Monate insbesondere auf die Änderungen der mittleren Temperaturen zurückzuführen sind. Die Temperaturdifferenz im März 2016 im Vergleich zum März 2015 führt jedoch zu einer Verringerung des Heizenergieverbrauchs von 10 % pro geringerem Grad Celsius. Der Temperaturunterschied von -1,1 °C (6,4 °C im März 2015, 5,3 °C im März 2016) führt - wie bereits anhand von Abbildung 139 diskutiert - demnach sogar zu einer Verbrauchsminimie-

rung, obwohl durch die geringere Durchschnittstemperatur im März 2016 gegenüber März 2015 ein höherer Verbrauch im März 2016 zu erwarten wäre. Dies ist ebenfalls in den Aprilmonaten festzustellen, da im April 2015 eine mittlere monatliche Temperatur von 9,7 °C und im April 2016 eine mittlere monatliche Temperatur von 9,3 °C erfasst wurde und trotz der geringeren Außentemperatur eine Wärmeenergieverbrauchsreduzierung von 37 % pro Grad Unterschied festgestellt werden konnte. Dieses Verhalten spricht wiederum für den Erfolg durchgeführter Interventionen, kann jedoch auch durch Belegungsunterschiede oder durch höhere Sonneneinstrahlung verursacht worden sein.

Werden die Verläufe der einzelnen Heizperioden in Abbildung 139 sowie Tabelle 108 genauer betrachtet, so lässt sich vermuten, dass eine geringere Temperatur im Folgemonat unabhängig vom Temperaturbereich eher wahrgenommen wird - der Heizenergieverbrauch also schneller erhöht wird - als ein Temperaturanstieg im Folgemonat. Dies ist vor allem in den späten, also wärmeren Monaten der Heizperiode, zu beobachten. Die Temperaturanstiege führen tendenziell zu einer geringeren Änderung des Heizenergieverbrauchs in Relation zur Temperaturänderung. So wird im Verbrauchsverlauf der Monate November bis Januar in beiden Heizperioden eine relativ hohe Verbrauchsänderung pro Grad Celsius mittlerer Monatstemperatur, in den Monaten Februar bis April jedoch eine eher geringe Verbrauchsminimierung pro höherem Grad mittlerer Monatstemperatur festgestellt.

Die um 4,1 °C niedrigere Temperatur zwischen Dezember 2014 (4,5 °C) und November 2014 (8,6 °C) führt beispielsweise zu einer Verbrauchszunahme von 10 %/°C. Im Januar 2015 (3,7 °C) ist eine Temperaturänderung von -0,8 °C und eine Verbrauchserhöhung von 9 % zum Dezember 2014 festzustellen. Pro niedrigerem Grad mittlerer Monatstemperatur entspricht dies einem Mehrverbrauch von 11 %. Dies weist auf ein unverändertes Heizverhalten der Nutzer hin. Im Vergleich zum Verbrauch im Februar 2015 (3,1 °C) zum Januar 2015 (3,7 °C) ist bei gleicher Temperaturdifferenz wie im Vergleich zwischen Dezember 2014 (4,5 °C) und Januar 2015 (3,7 °C) jedoch kaum eine Veränderung im Heizenergieverbrauch zu ermitteln (vgl. Tabelle 108). Dies kann sowohl mit dem höheren Transmissionswärmeverlust bei niedrigeren Temperaturen und dem somit höheren Energiebedarf zusammenhängen, als auch mit dem Heizverhalten der einzelnen Nutzer. Häufig werden Heizkörperthermostate bzw. Einzelraumregler individuell auf höhere Temperaturen eingestellt, damit die gewünschte Raumtemperatur „schneller“ erreicht wird, was den Energieverbrauch erhöht. Da in diesem Zeitraum keine Interventionen dokumentiert sind, erscheint diese Begründung plausibel. Die Temperaturdifferenz von +3,3 °C zwischen Februar 2015 und März 2015, in dem eine mittlere Monatstemperatur von 6,4 °C erfasst wurde, lässt den Heizenergieverbrauch um 5 % pro Temperatureinheit sinken. Verglichen mit der Temperaturerniedrigung von 4,1 °C (von 8,6 °C im November 2014 auf 4,5 °C im Dezember 2014) und der Verbrauchssteigerung um 10 %/°C in diesem Zeitraum, ist die Verbrauchsminimierung von 5 %/°C bei Temperaturanstieg von 3,3 °C (von 3,1 °C im Februar 2015 auf 6,4 °C im März 2015) vergleichsweise gering. Dies kann ebenfalls durch höhere Transmissionswärmeverluste und Auskühlung der Gebäudemauern über die Winterzeit begründet werden.

Vergleicht man die Ergebnisse der Analyse der ersten gemessenen Heizperiode mit denen der zweiten, ist ein ähnliches Heizverhalten zu erkennen. Durch die Temperaturänderung von November 2015 (9,9 °C) zum Dezember 2015 (9,5 °C) von -0,4 °C werden 8 % mehr Energie je geringerem Grad verbraucht. Ebenso wie in der ersten Heizperiode, ist das Heizverhalten zwischen Dezember 2015 (9,5 °C) und Januar 2016 (4,7 °C) mit 9 % Mehrverbrauch pro Grad Temperaturenniedrigung ähnlich dem zwischen November 2015 und Dezember 2015. Deutlich ist, dass der Verbrauch der zweiten Heizperiode (8-9 % Mehrverbrauch je geringerem Grad der mittleren Außentemperatur) im Vergleich zur ersten (10-11 % Mehrverbrauch je geringerem Grad der Außentemperatur) nicht nur im Vergleich der flächenspezifischen Energieverbräuche (vgl. Abbildung 139) geringer ist, sondern auch im Vergleich der Verbrauchsänderung pro Gradunterschied. Das Heizverhalten scheint in der zweiten Heizperiode demnach auch in Bezug auf das Nutzerverhalten bei Änderungen der Außentemperatur verbessert. Eine plausible Erklärung könnten zwischenzeitliche Interventionen und Energieeinsparmaßnahmen am Campus Krefeld-Süd der Hochschule Niederrhein sein, welche das Nutzerverhalten für die zweite untersuchte Heizperiode änderte.

Auch in der zweiten Hälfte der Heizperiode 2015/2016 ist im Gegensatz zur Heizperiode 2014/2015 eine Reduzierung des Heizenergieverbrauchs pro Temperaturänderung zu bemerken (vgl. Tabelle 108). Bei ähnlicher mittlerer Außentemperatur in den Monaten Januar 2016 und Februar 2016 von 4,7 °C und 4,6 °C konnte sogar eine Verbrauchsreduzierung von 28 % pro Temperaturunterschied errechnet werden. Zu bemerken ist, dass die Energieeinsparung von 3 % sogar trotz leicht geringerer Temperatur im Vormonat erreicht wurde. Das ist ebenfalls ein Anzeichen dafür, dass das Heizverhalten der zweiten Heizperiode verbessert wurde. Der Vergleich des Zeitraums zwischen Januar 2015 (3,7 °C) und Februar 2015 (3,1 °C), in welchem trotz niedrigerer mittlerer Außentemperatur keine Verbrauchsänderung gemessen wurde, und des Zeitraums zwischen Januar 2016 (4,7 °C) und Februar 2016 (4,6 °C), in welchem bei ähnlicher mittlerer Außentemperatur sogar eine Energieersparnis festzustellen ist, zeigt erneut die Änderung des Heizverhaltens in den zweiten Hälften der Heizperioden. Bei einem Temperaturanstieg von 0,7 °C von 4,6 °C im Februar 2016 auf eine mittlere Monatstemperatur von 5,3 °C im März 2016 wurde ebenfalls eine vergleichsweise hohe Reduzierung von 26 %/ °C ermittelt. Dementsprechend wurde der reduzierte Energieverbrauch in Relation zur Temperaturänderung von Februar 2016 auf März 2016 im Vergleich von Februar 2015 auf März 2015 (5 %/ °C) verfünffacht. Diese starke Verbesserung des Heizverhaltens ist nicht durch zuvor aufgestellte Theorien zur Temperaturwahrnehmung zu erklären, da der Unterschied der Außentemperaturen im Februar 2015 (3,1 °C) zum März 2015 (6,4 °C) von 3,3 °C deutlicher zu spüren sein sollte, als der Temperaturunterschied von 0,7 °C zwischen Februar 2016 (4,6 °C) und März 2016 (5,3 °C). Da jedoch im Hinblick auf die mittleren Außentemperaturen pro höherem Grad der zweiten Heizperiode mehr Energie verbraucht wird als in der ersten, kann festgestellt werden, dass eine Veränderung im Heizenergieverbrauchsverhalten stattgefunden haben muss. Aus diesem Grund muss die starke Verbrauchsreduzierung in der zweiten Hälfte der zweiten

Messperiode durch eine Änderung des Nutzerverhaltens oder des Heizmanagements zu begründen sein. Zur genaueren Beurteilung dieses Ergebnisses sollten in künftigen Projekten daher genauere Untersuchungen mit Hinblick auf Änderungen in der Belegschaft und Änderungen des Gebäudemanagements angestellt werden. Aus datenschutzrechtlichen Gründen ist die Erfassung der Arbeits- und Anwesenheitszeiten der Mitarbeiter jedoch schwierig und konnte daher nicht erfolgen.

Ebenso könnten bei künftigen Projekten Analysen zur Sonneneinstrahlung und deren Einfluss auf das Wärmeempfinden durchgeführt werden, um eine genauere Aussage zur Ursache der Energieeinsparung treffen zu können.

Durch den starken Temperaturanstieg (3,3 °C) von 6,4 °C im März 2015 auf 9,7 °C im April 2015 wurde in der ersten Heizperiode 14 % Heizenergie pro Grad Temperaturunterschied weniger verbraucht. In der zweiten Heizperiode wurden bei einem Temperaturanstieg (4,0 °C) von 5,3 °C im März 2016 auf 9,3 °C im April 2016 nur 12 % Heizenergie pro Grad Temperaturunterschied eingespart. Durch die geringe Reduzierung der Energieersparnis pro höherem Grad der Außentemperatur kann davon ausgegangen werden, dass das individuelle Heizverhalten sowie die Heizungssteuerung sich in der zweiten Heizperiode kaum verändert bzw. sogar etwas verschlechtert haben. Das relativiert die vorige Annahme der Verbesserung des Heizverhaltens im untersuchten Referenzgebäude. Dementsprechend ist nicht von einem Erfolg der durchgeführten Interventionen zur Energieeinsparung auszugehen, bzw. deren Erfolge sind aufgrund der vorhandenen Datenbasis nicht eindeutig zu belegen.

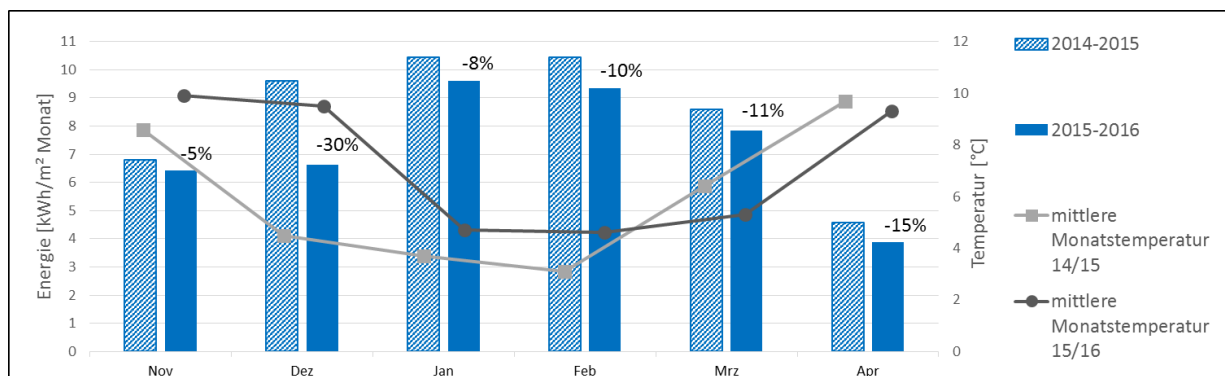


Abbildung 139: Betrachtung des flächenspezifischen Gesamtheizenergieverbrauchs Gebäude A (monatlich)

Hinweis zu Tabelle 108: Ein Mehrverbrauch wird in Rot dargestellt, eine Verbrauchsreduzierung in Grün. Zu beachten ist, dass die Verbrauchsdifferenz pro Grad Celsius immer in Zusammenhang mit dem Vorzeichen der Verbrauchsdifferenz und der Temperaturdifferenz betrachtet werden muss.

Tabelle 108: Vergleich der Verbrauchsdifferenzen der Monate der Heizperioden Nov 2014 - Apr 2015 und Nov 2015 - Apr 2016 im Hinblick auf mittlere monatliche Temperaturunterschiede

Vergleichs- zeitraum	Temp. 2014 (ab Jan 2015) [°C]	Temp. 2015 (ab Jan 2016) [°C]	Temp.- differenz [°C]	Verbrauchs- differenz [kWh/m ²]	Verbrauchs- Differenz zwischen den Messperioden [%]	Verbrauchs- differenz [%/ °C]
Nov	8,6	9,9	+1,3	-0,36	5 %	4 %
Dez	4,5	9,5	+5	-2,95	30 %	6 %
Jan	3,7	4,7	+1	-0,85	8 %	8 %
Feb	3,1	4,6	+1,5	-1,10	10 %	7 %
Mrz	6,4	5,3	-1,1	-0,94	11 %	10 %
Apr	9,7	9,3	-0,4	-0,67	15 %	37 %
2014/2015	Temp. Monat 1 [°C]	Temp. Monat 2 [°C]	Temp.- differenz [°C]	Verbrauchs- differenz [kWh/m ²]	Verbrauchs- differenz [%]	Verbrauchs- differenz [%/ °C]
Nov - Dez	8,6	4,5	-4,1	+2,79	41 %	10 %
Dez - Jan	4,5	3,7	-0,8	+0,87	9 %	11 %
Jan - Feb	3,7	3,1	-0,6	-0,02	0 %	0 %
Feb - Mrz	3,1	6,4	+3,3	-1,85	18 %	5 %
Mrz - Apr	6,4	9,7	+3,3	-4,02	47 %	14 %
2015/2016						
Nov - Dez	9,9	9,5	-0,4	+0,20	3 %	8 %
Dez - Jan	9,5	4,7	-4,8	+2,97	45 %	9 %
Jan - Feb	4,7	4,6	-0,1	-0,27	3 %	28 %
Feb - Mrz	4,6	5,3	+0,7	-1,68	18 %	26 %
Mrz - Apr	5,3	9,3	+4,0	-3,76	49 %	12 %

Betrachtung des Heizenergieverbrauchs einzelner Räume

Die genauere Analyse des Heizenergieverbrauchs der verschiedenen Raumnutzungskategorien erfolgt in Folge nach der Heizenergie pro Kategorie und Flächeneinheit. Auffällig in der Betrachtung des täglichen Heizenergieverbrauchs der ersten Messperiode, siehe dazu Abbildung 140, ist insbesondere, dass alle Raumtypen auch an Tagen, an denen von einer geringen Nutzung ausgegangen werden kann, einen relativ hohen Energieverbrauch haben. Das deutet auf ein bisher noch nicht genutztes Optimierungspotential bzw. nicht optimales Nutzerverhalten hin. Während in den Sanitärräumen Tage ohne Heizenergieverbrauch festgestellt werden können, sind in den anderen Nutzungskategorien keine solchen Tage zu erkennen. Die Heizkörper der Sanitärräume scheinen nicht nur erst Mitte November genutzt, sondern auch zwischendurch ausgeschaltet worden zu sein. Besonders fällt hier der Januar 2015 auf, in dem diese Räumlichkeiten häufig keinen Energieverbrauch verzeichnen sowie der April 2015, in welchem der Heizenergieverbrauch der Sanitärräume als erstes minimiert wird. Büros, Besprechungsräume und Flure scheinen unabhängig davon, ob diese genutzt werden oder nicht, durchgängig beheizt zu werden. Das gilt vor allem für Wochenenden und Feiertage, sowie für die Zeit zwischen Weihnachten und Silvester, einem Zeitraum, von dem bekannt ist, dass sich keine bzw. sehr wenige Mitarbeiter im Gebäude befinden.

Ein Vergleich zur zweiten Messperiode ist nicht möglich, da in dieser die Batterieleistung der HKV nicht mehr zum Senden der Daten ausgereicht hat. Die HKV speichern jedoch monatliche Verbrauchswerte, welche mit einem optischen Auslesekopf ausgelesen werden konnten.

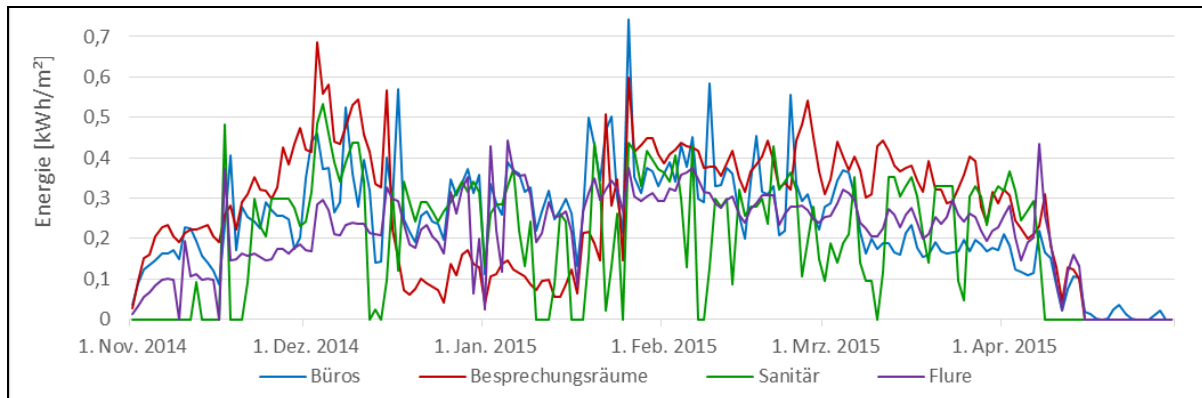


Abbildung 140: Betrachtung des flächenspezifischen Heizenergieverbrauchs der einzelnen RNK (Messperiode 1, täglich)

Im Vergleich der flächenspezifischen Energieverbräuche der Räume verschiedener Raumnutzungskategorien ist der Verbrauch der Büros und sanitären Einrichtungen über die Messperioden erwartungsgemäß.

In der Messperiode 2014/2015 werden in absoluten Zahlen die Büros als Meistverbraucher identifiziert, vergleiche dazu auch Abbildung 133. Flächenspezifisch, wie in Abbildung 141 veranschaulicht, sind dies jedoch die Besprechungsräume, welche erwartungsgemäß seltener genutzt werden als Büros. Dies gilt jedoch nur für die erste Messperiode. In der zweiten Messperiode konnte eine flächenspezifische Reduzierung von 34 % erreicht werden. Durch die Nutzungsänderung des großen Besprechungsraums zu sieben Büros, einem Flur und einem kleineren Besprechungsraum wird dieser Raum nicht mehr über acht Heizkörper mit Wärmeenergie versorgt, sondern lediglich mit einem. Die Reduzierung des flächenspezifischen Heizenergieverbrauchs kann damit begründet werden, dass es organisatorisch einfacher und auch bequemer ist, ein Heizkörperventil bewusst zu bedienen, als acht. Daraus kann geschlossen werden, dass durch die Installation einer zentralen Bedienung der Heizkörper – z.B. über Thermostate - beispielsweise der Räume einer Nutzungskategorie die Einsparung von Heizenergie technisch unterstützt. Auffällig ist auch der Vergleich der Sanitärräume in beiden Messperioden. Die Verbrauchsreduzierung von 41 % könnte auf Temperatureinflüsse, ein geändertes Nutzerverhalten, ein verbessertes Gebäudemanagement oder auch auf die im Oktober 2015 im Gebäude verteilten Informationsmaterialien (wie zum Beispiel Poster und Aufkleber, s. hierzu Abschnitt 5) zurückzuführen sein. Auffällig ist der beinahe gleich bleibende spezifische Wärmeenergieverbrauch der Büros, da diese in der Betrachtung absoluter Verbrauchswerte in der zweiten Messperiode einen um 18 % höheren Verbrauch hatten, vergleiche dazu auch Abbildung 133. Durch das Hinzukommen der sieben Büros, ist ein absolu-

ter Mehrverbrauch erwartungsgemäß. Die flächenspezifische Verbrauchssteigerung von lediglich 1 % ist daher als Indiz für ein beinahe unverändertes Nutzerverhalten zu werten. Die Verbrauchsreduzierung der Flure um 6 % kann durch das Hinzukommen einer unbeheizten Flurfläche von 38m² durch die Nutzungsänderung des Besprechungsraums resultieren. Diese wird in den flächenspezifischen Energieverbrauch mit einberechnet und sorgt so für die deutlichere Minimierung des spezifischen Verbrauchs an Wärmeenergie. Bei einem Flächenzuwachs von 14 % (von 264 m² auf 302 m²) erhöhte sich der absolute Heizenergieverbrauch der Flure, wie in Abbildung 133 zu erkennen, um 8 % (von 10125 kWh auf 11002 kWh). Somit werden die Flure, welche sowohl in der ersten Messperiode als auch in der zweiten Messperiode existent waren, trotz gleicher Nutzung mehr beheizt. Unter Nicht-Betrachtung des hinzugekommenen unbeheizten Flurs entspräche dies einem flächenspezifischen Mehrverbrauch von ca. 9 % (von 38 kWh/m² auf 41 kWh/m²). Theoretisch und aufgrund der Lage des zusätzlichen Flurs der zweiten Messperiode ist nicht davon auszugehen, dass dieser hauptsächlich über die anderen Flure beheizt wird, sondern über die umliegenden Büros, vergleiche dazu Abbildung 130. Daher ist trotz einer flächenspezifischen Reduzierung des Energieverbrauchs der Flure allgemein eher von einer Heizenergieverbrauchszunahme auszugehen.

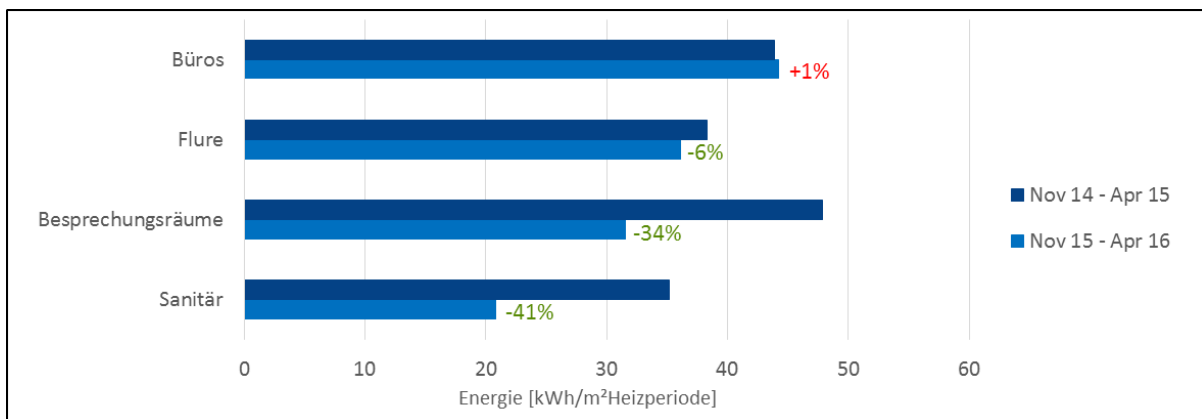


Abbildung 141: Betrachtung des flächenspezifischen Heizenergieverbrauchs der RNK in beiden Messperioden

Werden die monatlichen Verläufe der Raumnutzungskategorien (RNK) in beiden Heizperioden, wie in Abbildung 142 sowie Tabelle 109 genauer betrachtet, fallen unterschiedlich hohe Verbrauchsveränderungen der einzelnen RNK auf. Die Heizenergieverbräuche der Sanitärräume scheinen beispielsweise extremer auf Temperaturabfälle zu reagieren als Büros und Flure. Bei einer hohen Temperaturdifferenz beispielsweise zwischen Dezember 2015 (9,5 °C) und Januar 2016 (4,7 °C) von -4,8 °C wurde in den Sanitärräumen im Gegensatz zum Vormonat 82 % mehr Energie verbraucht. Der Mehrverbrauch der Büros und Flure ist in diesem Zeitraum mit 39 % und 46 % deutlich geringer als der der Sanitärräume. Der Verbrauch in den Sanitärräumen steigt zwischen November 2014 (8,6 °C) und Dezember 2014 (4,5 °C) bei einer ähnlich hohen Temperaturreduzierung von -4,1 °C mit 193 % sogar um fast das Drei-

fache an. Eine mögliche Erklärung dafür können, beim Verlassen der Sanitärräume durch die Nutzer geöffnete – und anschließend nicht wieder geschlossene – Fenster sein, durch welche die Raumtemperatur gerade bei niedrigen Außentemperaturen deutlich herabsetzt wird. Dadurch wird die Heizungsleistung selbst bei energiebewusst eingestellten Heizkörperthermostaten nicht reduziert, da die eingestellte Raumtemperatur durch einen ständigen Luftaustausch nicht erreicht wird.

Der Heizenergieverbrauch der Flure steigt in dieser Zeit ebenfalls deutlich, jedoch lediglich um 94 % an, der der Büros sogar nur um 69 %. Auffällig ist, dass der Besprechungsraum nur einen Mehrverbrauch von 17 % hat. Dies deutet darauf hin, dass der Verbrauch dieses Raums nicht so stark von der Außentemperatur abhängt, wie derjenige der anderen RNK. Dies zeigt sich ebenfalls im Vergleich des Heizenergieverbrauchs von November und Dezember 2015. Hier ist der Energieverbrauch des Besprechungsraums trotz niedrigerer, monatlich gemittelter Temperatur von 9,9 °C im November 2015 auf 9,5 °C im Dezember 2015 um 100 % gesunken, was auf einen Mess- oder Montagefehler des HKV in dieser RNK hindeutet. In diesem Zeitraum sind die Sanitärräume die einzigen, welche trotz niedrigerer Temperatur eine Verbrauchsreduzierung von 24 % haben, was ein Anzeichen dafür sein könnte, dass die Vorlauftemperatur der Heizkörper zum Ferienzeitraum im Dezember (Weihnachts- und Silvesterzeit) aufgrund der geringen Belegung im Dezember im Gegensatz zu November abgesenkt wurde. Die Nutzer reagieren in Büros und Fluren erwartungsgemäß mit einem geringen Verbrauchsanstieg von 7 % und 14 %. Der Verbrauch des Besprechungsraums von Februar 2016 (4,6 °C) ist im Vergleich zu Januar 2016 (4,7 °C) bei einem Temperaturunterschied von nur -0,1 °C sogar um 191 %, also fast das Dreifache, angestiegen. Ebenfalls auffällig sind die Verbräuche von März 2016 (5,3 °C) im Vergleich zum Februar 2016 (4,6 °C). Bei diesem Temperaturanstieg von 0,7 °C ist der Besprechungsraum die einzige RNK, bei der ein Mehrverbrauch festzustellen ist. Dieser beläuft sich sogar auf 38 %, was auf die außentemperaturunabhängigere Regulierung der Heizleistung hinweist. Die größte Verbrauchsminimierung im Zeitraum Februar 2016 zum März 2016 weisen die Sanitärräume mit 29 % auf. In den Fluren ist immerhin eine Reduzierung des Heizenergieverbrauchs von 5 % zu vermerken, die Büros haben einen erwartungsgemäß geringeren Verbrauch von 16 %. Dies zeigt erneut das unterschiedliche Verbrauchsmuster der verschiedenen RNK. Durch die beschriebenen Relationen des Heizenergieverbrauchs zu Temperaturunterschieden lässt sich vermuten, dass der Verbrauch des Besprechungsraums und auch der der Sanitärräume nur bedingt von der Außentemperatur abhängt. Vor allem in den Besprechungsräumen ist davon auszugehen, dass vor allem die Belegung ausschlaggebend für den Energieverbrauch ist, da kein klares Verbrauchsmuster erkennbar ist. In den Sanitärräumen hingegen wird vermutlich durch die kurzen Aufenthaltszeiten auch kein besonderer Wert auf Behaglichkeit gelegt. Daher werden Verbrauchsdifferenzen in diesen Räumen, wie bereits erläutert, tendenziell eher bei deutlicheren Temperaturänderungen festgestellt.

Die Flure weisen kein besonderes Muster in den Verbrauchsmengen auf. Es ist jedoch deutlich eine Temperaturabhängigkeit zu erkennen, da der Heizenergieverbrauch mit Ausnahme der Verbrauchsminimierung von Januar 2015 zu Februar 2015

bei niedrigerer Temperatur immer erwartungsgemäß steigt oder reduziert wird. Die Höhe der Verbrauchsdifferenz ist jedoch unterschiedlich. Beispielsweise wird bei einem Temperaturanstieg um 3,3 °C im März 2015 (6,4 °C) im Gegensatz zum Februar 2015 (3,1 °C) eine ähnliche Verbrauchsdifferenz erfasst, wie bei einem Temperaturanstieg von lediglich 0,7 °C im März 2016 (5,3 °C) im Gegensatz zum Februar 2016 (4,6 °C) (vgl. Tabelle 109). Im Vergleich dazu wurde der Verbrauch der Büros in denselben Zeiträumen um 32 % und um 16 % reduziert, wodurch der Heizenergieverbrauch der Büros außentemperaturabhängiger zu sein scheint als derjenige der anderen RNK. Dies ist ebenfalls in den bereits diskutierten hohen Temperaturunterschieden von beispielsweise November 2014 (8,6 °C) und Dezember 2014 (4,5 °C) sowie Dezember 2015 (9,5 °C) und Januar 2015 (4,7 °C) zu erkennen, in denen die Büros jeweils die geringste Verbrauchsänderung haben, siehe dazu auch Tabelle 109.

Besonders auffällig ist eine ähnliche Verringerung des Wärmeenergieverbrauchs von 65 % bis 75 % aller RNK im April 2015 (9,7 °C) im Gegensatz zum März 2015 (6,4 °C). Trotz gleicher Temperaturdifferenz von 3,3 °C wie im Monatsvergleich des Februars 2015 und März 2015 wird eine deutlich höhere Energieeinsparung festgestellt. Begründet werden kann dies mit den Osterferien, welche zu Beginn des Aprils 2015 waren. Daher ist es möglich, dass die Heizkörperthermostate auf niedrigere Stufe eingestellt wurden. Ebenso ist es durch den in Abbildung 137 dargestellten relativ schnellen Anstieg der Außentemperatur und eventuell einhergehende größere Sonneneinstrahlung möglich, dass die Heizkörperthermostate nach den Osterferien individuell nicht oder kaum auf eine höhere Stufe eingestellt wurden. Die geringere Einsparung bei gemittelt 4 °C Temperaturanstieg von März 2016 (5,3 °C) zu April 2016 (9,3 °C) von 49 % in den Büroräumen, 38 % in den Fluren und immerhin 60 % in den Sanitärräumen rührt vermutlich daher, dass die Osterferien in diesem Jahr bereits im März begannen und die Belegung somit bereits dort geringer war, was die Energieeinsparung im April vergleichsweise geringer erscheinen lässt. Dies ist jedoch durch die höhere Anwesenheit von Mitarbeitern zu begründen. Die Verbrauchsreduzierung des Besprechungsraumes von 100 % ist vermutlich auf einen Mess- oder Montagefehler zurückzuführen. Hier kann der HKV beispielsweise abmontiert und anschließend nicht mehr ordnungsgemäß an den Heizkörper angebracht worden sein. Nach Austausch der HKV im Januar 2016 sollten die HKV wieder fehlerfrei messen. Aus diesem Grund kann für April 2016 selbiges wie für die Messungen im Dezember 2015 angenommen werden. Andernfalls wäre davon auszugehen, dass der Besprechungsraum nicht genutzt und auch nicht beheizt worden ist.

Vergleicht man die beiden Heizperioden, siehe dazu Abbildung 142 und Tabelle 109, kann man die bereits diskutierten unterschiedlichen Verbräuche innerhalb der RNK ebenfalls erkennen. Auffällig ist der Monat November, in dem jede Nutzungsgruppe in der zweiten Messperiode trotz einer um 1,3 °C höheren Temperatur mehr Wärmeenergie verbraucht als in der Messperiode zuvor, in der eine mittlere Außentemperatur von 8,6 °C gemessen wurde. Besonders auffällig ist der Verbrauch des Besprechungsraums, der sogar um 82 % ansteigt. Eine höhere Belegung aber auch eine mangelnde Überwachung des Heizenergieverbrauchs können hier die

Ursachen sein. Die anderen RNK haben ebenfalls einen Verbrauchsanstieg, der mit 13 % in den Büros, 18 % in den Fluren und lediglich 6 % in den Sanitärräumen jedoch von weitaus geringerer Größenordnung ist als der des Besprechungsraums. Gründe für den Mehrverbrauch aller RNK entgegen der Erwartungen könnten hohe tägliche Temperaturunterschiede innerhalb des Monats sein, welche vor allem in den niedrigeren Temperaturbereichen zu einem deutlichen Mehrverbrauch führen können. Verglichen mit den aufgetragenen täglichen Temperaturen, wie in Abbildung 137 dargestellt, wird diese Vermutung bestätigt. Während im November 2014 ein stetiger Temperaturabfall zur langsamen Gewöhnung an niedrigere Temperaturen führt, schwankt die mittlere Tagestemperatur im November 2015 sehr deutlich. Im Gegensatz dazu wird, wie in Abbildung 142 dargestellt, bei der deutlichen Temperatursteigerung um 5 °C im Dezember der zweiten Messperiode (9,5 °C) im Gegensatz zu Dezember 2014 (4,5 °C) in allen RNK eine deutliche Verbrauchsminderung ersichtlich. Auffällig ist auch in diesem Vergleich der Verbrauch des Besprechungsraums, welcher auch im April 2016 um 100 % minimiert wurde und erneut auf Mess- oder Montagefehler hinweist. Büros und Flure haben hier eine ähnliche Reduzierung des Verbrauchs von 29 % und 30 %, während in den Sanitärräumen eine Einsparung von 72 % festgestellt werden kann. Dies bekräftigt die Vermutung, dass in den Sanitärräumen vor allem auf extreme Temperaturunterschiede reagiert wird und Verbrauchsänderungen durch die kurzen Aufenthaltszeiten deutlich abhängiger vom Nutzerverhalten und unabhängiger von der Außentemperatur sind. Ein Temperaturunterschied im Januar 2016 (4,7 °C) von +1 °C zum Januar 2015 (3,7 °C) führt in den Büros zu einem um 5 % geringeren Verbrauch. In Relation zur Energieeinsparung von 30 % bei 5 °C Temperaturunterschied ist der Verbrauch pro Grad Temperaturänderung ähnlich. Daher kann davon ausgegangen werden, dass der Heizenergieverbrauch der Büros stark von der Außentemperatur abhängt und die Nutzer demnach allgemein ein konstantes Heizverhalten haben. Im Gegensatz dazu weisen der Besprechungsraum, die Flure und auch die Sanitärräume bei der Temperaturdifferenz in den Januarmonaten von 1 °C eine deutlichere Energieersparnis auf. Im Besprechungsraum wurden in der zweiten Messperiode, siehe Tabelle 109, ein um 66 %, in den Fluren ein um 16 % und in den Sanitärräumen ein um 31 % niedrigerer Energieverbrauch festgestellt. Dies deutet erneut darauf hin, dass der Verbrauch dieser RNK deutlich abhängiger von anderen Einflussfaktoren als der Außentemperatur ist als in den Büros. Ein entscheidender Faktor ist beispielsweise die Belegung, Thermostateinstellung am Heizkörper und die Kontrolle des Verbrauchs.

Verglichen mit den mittleren Monatstemperaturen der vorhergehenden Dezembermonate fällt auf, dass der Dezember 2015 mit 9,5 °C deutlich wärmer war als der Dezember 2014 mit 4,5 °C. Dementsprechend könnten die Heizungsventile in den seltener genutzten Räumen im Januar 2016 noch auf geringerer Stufe eingestellt sein, als im Januar 2015.

Die Verbrauchsunterschiede in den Februarmonaten der Heizperioden könnten ebenfalls den Außentemperaturen zugrunde liegen. Bei einem Temperaturunterschied von 1,5 °C ist die Energieeinsparung der Büros mit 3 % ähnlich hoch wie bei dem ähnlichen Temperaturunterschied der Januarmonate der Messperioden (5 % Energieverbrauchsdifferenz, 1 °C Temperaturdifferenz). Das deutet ebenfalls auf eine Verbrauchsreduzierung im Februar 2016 aufgrund der Außentemperatur und somit auf ein konstantes Heizverhalten der Nutzer hin. Auch die Sanitärräume erreichen mit 28 % Verbrauchsreduzierung ebenfalls eine ähnliche Einsparung wie im Vormonat mit 31 %. In den Fluren und dem Besprechungsraum wird die Energieeinsparung zwar etwas minimiert, aber dennoch ist diese mit 9 % in den Fluren und 42 % im Besprechungsraum deutlich.

Auffällig ist, wie in Abbildung 142 dargestellt, die um 1,1 °C geringere mittlere Außentemperatur im März 2016 (5,3 °C) im Gegensatz zum März 2015 (6,4 °C). Als einzige RNK spiegelt diesen Unterschied die Verbrauchsdifferenz der Büros wieder. Diese haben im März der zweiten Messperiode als einzige RNK einen um 20 % erhöhten Energieverbrauch, obwohl aufgrund der Osterferien im März 2016 im Gegensatz zum März 2015 ein niedrigerer Energieverbrauch in den Büros zu erwarten war. Der Besprechungsraum, die Sanitärräume und auch die Flure haben trotz geringerer Außentemperatur einen geringeren Energieverbrauch von 19 %, 49 % und 6 %. Die Verbrauchsreduzierung der Sanitärräume könnte erneut durch die lediglich kurzzeitigen Aufenthalte und die dadurch mangelnde Kontrolle der Thermostate bzw. der Fenster begründet sein. Dies wird bekräftigt durch den Vergleich des monatlichen Temperaturverlaufs mit dem monatlich erfassten Energieverbrauch: Da die Temperatur im Februar 2015 mit 3,1 °C deutlich geringer war als im März 2015 mit 6,4 °C und im Vergleich, wie Abbildung 142 und Tabelle 109 dargestellt, in diesem Zeitraum bereits trotz eines Temperaturanstiegs von 3,3 °C keine Verbrauchsänderung festzustellen war, kann davon ausgegangen werden, dass die Heizkörper der Sanitärräume nicht auf Temperaturunterschiede hin bedient und damit generell selten kontrolliert und reguliert werden. Im Februar 2015 scheinen die Heizkörperthermostate als Reaktion auf den Temperaturabfall von 3,7 °C im Januar 2015 auf 3,1 °C im Februar 2015 auf eine höhere Stufe eingestellt worden zu sein, da ein Mehrverbrauch von 10 % erfasst wurde. In diesen Räumlichkeiten ist ebenfalls möglich, dass eine (maximale) Einstellung der Heizkörperthermostate trotz offener Fenster beibehalten wurde. Dadurch, dass bei der höheren mittleren Außentemperatur im Folgemonat März 2015 (6,4 °C) ein ebenso hoher Heizenergieverbrauch erfasst wurde (Verbrauchsdifferenz 0 %) als bei geringerer mittlerer Außentemperatur von 3,1 °C im Februar 2015, ist es sehr wahrscheinlich, dass der Heizenergieverbrauch der Sanitärräume auch in der zweiten Heizperiode ebenfalls kaum bis gar nicht kontrolliert wurde. Da die Außentemperaturen in der zweiten Heizperiode generell höher lagen und seit Januar 2016 relativ konstant waren, ist es wahrscheinlich, dass die Heizkörperventile noch auf geringerer Stufe eingestellt waren als in der ersten Heizperiode und so auch im März 2016 keinen höheren Verbrauch haben und so im Vergleich der beiden Messperioden in der Zweiten einen deutlich geringeren Verbrauch haben, obwohl die Außentemperatur

geringer ist. Besonders auffällig sind die Mehrverbräuche der Büros und der Flure im April 2016 (9,3 °C) im Gegensatz zum Verbrauch im April 2015 (9,7 °C) bei ähnlichen Außentemperaturen. Dieser Mehrverbrauch von 105 % in den Büros und 64 % in den Fluren kann vermutlich damit begründet werden, dass die Osterferien 2015 im April und 2016 im März waren und die größere Belegung dementsprechend der Grund für diesen Mehrverbrauch im April 2016 im direkten Vergleich dieser RNK zu sein scheint. Die Verbrauchsreduzierung im gleichen Zeitraum der Sanitäräume von 26 % ist in diesem Zusammenhang nicht zu erklären.

Die Verbrauchsreduzierung der Besprechungsräume in den Monaten der zweiten Messperiode liegt vermutlich sowohl den mittleren Außentemperaturen als auch den Belegungszeiten zugrunde. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Nutzungsänderung, welche in Abbildung 130 veranschaulicht ist. Durch diese wird der Heizenergieverbrauch wie bereits festgestellt, durch die Bedienung lediglich eines statt acht Heizkörpern leichter kontrollierbar. Durch die Nutzungsänderung des großen Besprechungsraumes in sieben Büros, einen kleineren Besprechungsraum und einen Flur, änderte sich auch die Fläche der Flure. Da die zusätzliche Flurfläche jedoch unbeheizt ist, ist ein gewisser Anteil der flächenspezifischen Energieeinsparung im Vergleich der Heizperioden neben der höheren mittleren Außentemperaturen der Nutzungsänderung zuzuschreiben. Die Reduzierung des Heizenergieverbrauches der Besprechungsräume und Flure, trotz geringerer mittlerer Außentemperatur im März 2016 im Gegensatz zum März 2015, kann daher mit der Nutzungsänderung des großen Besprechungsraumes im Juni 2015 plausibel begründet werden.

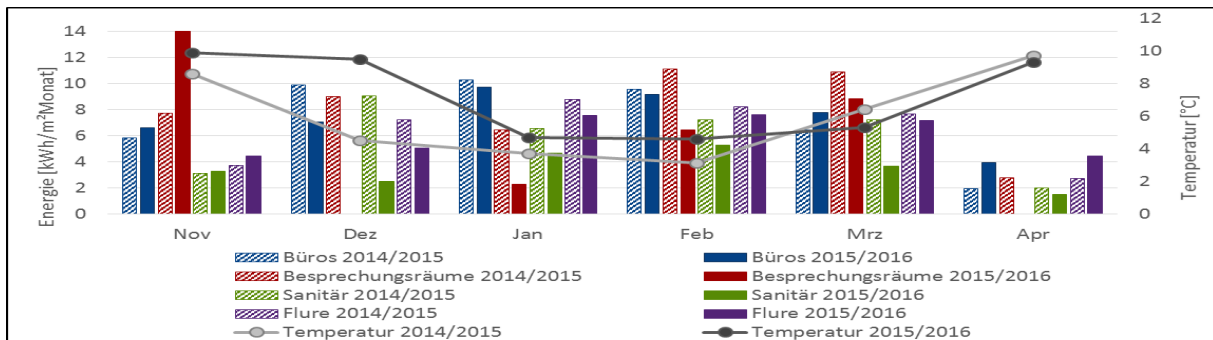


Abbildung 142: Vergleich des monatlichen Heizenergieverbrauches der RNK pro Messperiode zur Außentemperatur

Hinweis zu Tabelle 109: Zu erkennen ist der Verbrauchsunterschied der einzelnen RNK im Vergleich der Messperioden und im Monatsverlauf. Ein Mehrverbrauch wird in Rot dargestellt, eine Verbrauchsreduzierung in Grün. Zu beachten ist, dass die Verbrauchsdifferenz pro Grad °C immer in Zusammenhang mit dem Vorzeichen der Verbrauchsdifferenz und der Temperaturdifferenz betrachtet werden muss.

Tabelle 109: Vergleich der Verbrauchsdifferenzen der Monate der Heizperioden Nov 2014 - Apr 2015 und Nov 2015 – Apr 2016 im Hinblick auf Temperaturdifferenzen und Raumnutzungskategorien

Vergleichs- zeitraum	Temp. 2014 (ab Jan 2015) [°C]	Temp. 2015 (ab Jan 2016) [°C]	Temp.- differenz [°C]	Verbrauchsdifferenz der verschiede- nen Messperioden [%]			
				Büros	Flure	Bespr.- raum	San.- räume
Nov	8,6	9,9	+1,3	13 %	18 %	82 %	6 %
Dez	4,5	9,5	+5	29 %	30 %	100 %	72 %
Jan	3,7	4,7	+1	5 %	16 %	66 %	31 %
Feb	3,1	4,6	+1,5	3 %	9 %	42 %	28 %
Mrz	6,4	5,3	-1,1	20 %	6 %	19 %	49 %
Apr	9,7	9,3	-0,4	105 %	64 %	100 %	26 %
	Temp. Monat 1 [°C]	Temp. Monat 2 [°C]	Temp.- differenz [°C]				
2014/2015							
Nov - Dez	8,6	4,5	-4,1	69 %	94 %	17 %	193 %
Dez - Jan	4,5	3,7	-0,8	4 %	21 %	29 %	28 %
Jan - Feb	3,7	3,1	-0,6	7 %	6 %	74 %	10 %
Feb - Mrz	3,1	6,4	+3,3	32 %	7 %	2 %	0 %
Mrz - Apr	6,4	9,7	+3,3	75 %	65 %	70 %	73 %
2015/2016							
Nov - Dez	9,9	9,5	-0,4	7 %	14 %	100 %	24 %
Dez - Jan	9,5	4,7	-4,8	39 %	46 %		82 %
Jan - Feb	4,7	4,6	-0,1	6 %	2 %	191 %	14 %
Feb - Mrz	4,6	5,3	+0,7	16 %	5 %	38 %	29 %
Mrz - Apr	5,3	9,3	+4	49 %	38 %	100 %	60 %

Mittels der durchgeführten Energieverbrauchsanalyse konnten demnach keine konkreten Rückschlüsse auf Erfolge der durchgeführten Maßnahmen abgeleitet werden. Lediglich in den Sanitärräumen kann aufgrund der hohen Energieeinsparung in der zweiten Messperiode von einem zumindest geringfügigen Erfolg der Posteraktion ausgegangen werden. Wie in Tabelle 110 dargestellt, zeigen die Verbrauchsänderungen pro Temperaturveränderung der Büros eine höhere Abhängigkeit von der Außentemperatur. Die Besprechungsräume sind durch die hohe Schwankung des Energieverbrauchs pro veränderter Temperatur deutlich vom Nutzerverhalten bzw. den Belegungszeiträumen abhängig. Der Energieverbrauch der Flure sowie der Sanitärräume ist nach vorangegangener Analyse ebenfalls eher nutzerabhängig und nicht so sehr auf die Außentemperatur abgestimmt. Diese Abhängigkeiten sind jedoch nicht so stark einzustufen, wie die des Besprechungsraums, da immerhin Tendenzen erkennbar sind. Demnach ist deren Energieverbrauch nur bedingt von der Außentemperatur abhängig. Vor allem in den Sanitärräumen wird dieser durch kurze Nutzungszeiträume und hohen Luftaustausch bestimmt.

Tabelle 110: Abhängigkeiten des Energieverbrauchs der einzelnen RNK

Abhängigkeit von der Außentemperatur	Abhängigkeit vom Nutzerverhalten
-----------------------------------------	-------------------------------------

Büros	+	-
Besprechungsraum	-	+
Sanitärräume	-/o	o/+
Flure	o	o
+ hohe Abhängigkeit	o bedingte Abhängigkeit	- keine Abhängigkeit

Auch der in Abbildung 130 veranschaulichte Umbau des Besprechungsraumes zu sieben Büros, einem Flur und einem kleineren Besprechungsraum beeinflusst den Energieverbrauch der einzelnen RNK.

Die Analyse des Heizenergieverbrauchs einzelner Nutzungskategorien zeigt, dass die Verkleinerung des Besprechungsraumes flächenspezifisch zu einer effizienteren Energienutzung führt. Es kann geschlussfolgert werden, dass der Besprechungsraum dadurch, dass er zuvor durch mehrere Heizkörper beheizt wurde, organisierter beheizt wurde. Durch die Reduzierung der zu beheizenden Fläche und der Heizkörper, über welche die Temperatursteuerung erfolgt, ist nach Abbildung 141 eine Energieersparnis von 34 % pro Flächeneinheit erzielt worden. Das lässt darauf schließen, dass eine Installation einer zentralen Ansteuerung über Thermostate der Heizkörper zum Beispiel einer Nutzungskategorie eine deutliche Energieeinsparung verspricht.

Dennoch ist zu bemerken, dass in der Betrachtung des Vergleichs der Heizenergieverbräuche im Gegensatz zur mittleren Außentemperatur Temperaturempfindungseinflüsse wie die Sonneneinstrahlung nicht berücksichtigt werden. Außerdem werden Faktoren wie die Belegungsdichte und mögliche Mitarbeiterwechsel ebenfalls nicht beachtet, von denen der Energieverbrauch des Gebäudes und der Raumnutzungskategorien deutlich abhängt. Allerdings ist es schwierig, diese Einflüsse, vor allem den der Sonneneinstrahlung, in der Berechnung der Verbrauchsdaten zu berücksichtigen. Ebenfalls unberücksichtigt bei der Analyse des Heizenergieverbrauchs bleiben die Bauphysik und beispielsweise das Lüftungsverhalten der Nutzer, die auch eine tragende Rolle im Energiemanagement spielen.

Festgestellt wurde ebenfalls, dass die Heizung entsprechend einer gemittelten Außentemperatur genutzt wird und nach einer Ausschaltaußentemperatur von 19 °C gesteuert wird. Die Außentemperatur bestimmt jedoch nur bedingt die Innentemperatur des Gebäudes. Beispielsweise wird zusätzliche Innenraumerwärmung durch Sonneneinstrahlung und anwesende Personen erzeugt. Die Wärmedämmung des Gebäudes führt zu geringeren Wärmeverlusten nach Außen (Transmissionswärmeverluste) und so indirekt zur Erhöhung der Innentemperatur. Wärme- und Kälteaus-tausch über offene Fenster sind ebenfalls nicht berücksichtigt. Daher könnte eine Regelung der Heizung über die Innentemperatur oder Temperaturfühler am Fenster die gewünschten Energieeinsparungen unterstützen.

Stromverbrauch

Gesamtstromverbrauch des Gebäudes A

Abbildung 143 zeigt die Ergebnisse der Messungen für den Zeitraum November 2014 bis April 2016. Analog zur Wärmeverbrauchsmessung konnten aufgrund des Ausfalls der Datenerfassung im Zeitraum zwischen dem 16. Dezember 2014 und dem 16. Januar 2015 keine Daten aufgezeichnet werden. Über den prozentualen Unterschied der Messwerte des Jahres 2015/16 in der Weihnachts- und Silvesterzeit wurde der Energieverbrauch des Vorjahres angenähert. Neben dieser Ferienzeit sind ebenfalls die Wochenenden zu erkennen. Auffällig ist, dass der Gesamtstromverbrauch von Gebäude A zwischen November 2014 und Juli 2015 stetig geringer wird, sich sogar von einem Wert von ca. 750 kWh/d auf ca. 250 kWh/d reduziert, jedoch ab diesem Zeitpunkt in den Wintermonaten leicht auf ca. 350 kWh/d steigt, jedoch ab Januar 2016 wieder auf 300 kWh/d fällt. Daher ist zu vermuten, dass eine grundlegende Umstrukturierung in Gebäude A stattgefunden haben muss, welche den Stromverbrauch bis Juli 2015 um 2/3 gesenkt hat. Ebenso lässt sich ein genereller Mehrverbrauch im Winter ableiten, welcher aus geringeren Sonnenstunden und demnach höherem Beleuchtungsbedarf resultiert. Die Untersuchung einzelner Stromkreise erfolgt daraufhin in der folgenden Diskussion. In der Weihnachts- und Silvesterzeit 2015/2016 ist von keiner bis einer sehr geringen Belegung des Verwaltungsgebäudes auszugehen, dennoch ist ein Grundverbrauch von ca. 140 kWh/d in dieser Zeit zu erkennen. Die Ursache dieser hohen Grundlast gilt es zu identifizieren und anschließend zu optimieren bzw. den Verbrauch zu minimieren. An einzelnen Tagen wie den 07. Juni 2015, den 16., 17. und 29. August 2015, den 07. September 2015 und den 21. November 2015 ist ein geringerer Verbrauch als die mittlere Grundlast von ca. 140 kWh/d festzustellen. Auch diese Daten sollten im Anschluss an das Projekt von der HN genauer analysiert werden. Mögliche Gründe für die geringen Verbrauchswerte an diesen Tagen könnten beispielsweise Stromausfälle oder Wartungsarbeiten an einzelnen Geräten sein.

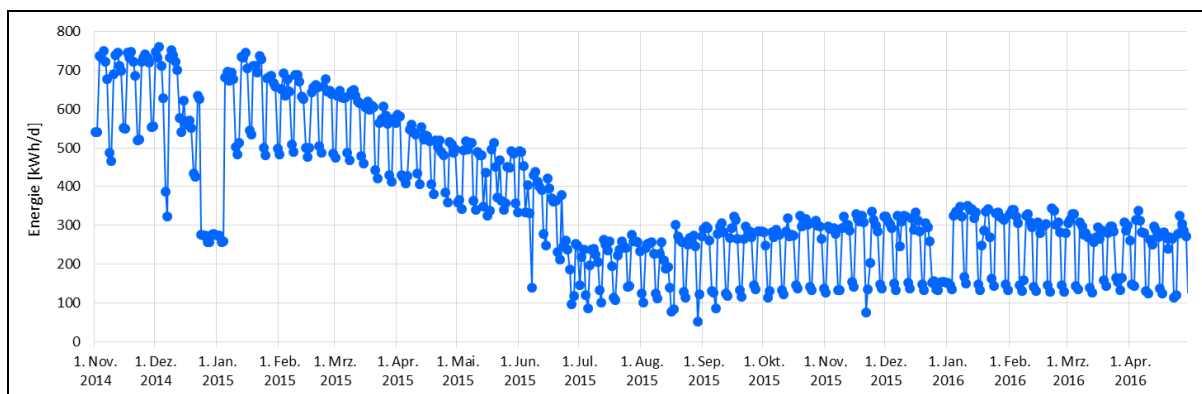


Abbildung 143: Gesamtstromverbrauch Gebäude A (täglich)

Stromverbrauch verschiedener RNK

Zur genaueren Untersuchung dieses Ergebnisses wurde der Gesamtstromverbrauch in die einzelnen Stromkreise unterteilt und jeweils separat ausgewertet, siehe dazu Abbildung 144 und Abbildung 145.

Die regulären und die zugehörigen Netzersatzkreise werden in Abbildung 144 und Abbildung 145 zunächst getrennt betrachtet und verglichen. Ebenso wie in der Auswertung des Gesamtstromverbrauchs des Gebäudes konnten im Zeitraum zwischen dem 16. Dezember 2014 und dem 16. Januar 2015 keine Daten aufgezeichnet werden. Die Auswertung der einzelnen Stromkreise erfolgt analog zu der vorherigen Analyse des Gesamtstromverbrauchs. Die Wochenenden mit entsprechend niedrigem Verbrauch sind bei allen betrachteten Stromkreisen gleichermaßen deutlich zu erkennen.

Die Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Hauptstromkreise in Abbildung 144 (oben) veranschaulicht den Stromverbrauch des Stromkreises 31, des Stromkreises 40 (Keller) sowie des Stromkreises 32 (Rechenzentrum), deren Energieverbräuche jahreszeitunabhängig zu sein scheinen. Daraus kann geschlossen werden, dass Stromkreis 31, welcher hauptsächlich Büros umfasst (vgl. Tabelle 106), nicht nur künstliche Beleuchtung erfasst. Wäre dies der Fall, so wären durch geringere Sonnenstunden im Winter und längere Sonnenstunden im Sommer deutlichere Unterschiede erkennbar. Veränderungen an Wochenenden oder Ferienzeiten (Weihnachts- und Silvesterzeit) fallen hingegen auf. Lediglich im Jahr 2015 ist der Verbrauch des letzten Juliwochenendes nicht minimiert. Eine diesbezügliche Begründung ist jedoch auf der Grundlage der vorhandenen Datenbasis nicht möglich. Die Stromkreise 32 und 40 versorgen keine kontinuierlich genutzten Räumlichkeiten (vgl. Tabelle 106) und haben daher sehr geringe Verbräuche. Ab Ende August 2015 ist in Stromkreis 32 jedoch eine Veränderung des Energieverbrauchs festzustellen. Ab diesem Zeitpunkt vervielfältigt sich der Verbrauch im Hauptstromkreis des Rechenzentrums. Dies lässt sich zurückführen auf eine Nutzungsänderung des als Rechenzentrum genutzten Raums, welcher ab diesem Zeitpunkt nicht mehr als solcher dient, sondern nach Aussage der HN nunmehr zu Lehrzwecken genutzt wird.

Die Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Hauptstromkreise in Abbildung 144 (unten) zeigt einen deutlich erhöhten Verbrauch des Stromkreises 33. Auffällig ist, dass die Wochenenden erkennbar sind, das Minimum des Stromverbrauchs jedoch keinen festen Wert besitzt sondern sich kontinuierlich ändert. So steigt der Energieverbrauch in den Wintermonaten und fällt in den Sommermonaten. Dieser Verlauf ist ebenso in Stromkreis 34 zu erkennen. Das könnte daran liegen, dass in diesen Stromkreisen vorwiegend die künstliche Beleuchtung erfasst wird, welche in den Sommermonaten durch längere Sonnenstunden weniger benötigt wird als in den Wintermonaten mit kürzeren Sonnenstunden. Ebenfalls auffällig ist der deutlich höhere Verbrauch des Stromkreises 33 im Vergleich zu Stromkreis 34, da er bei

weniger Büros und mehr Fluren auf halb so großer Fläche mit Strom versorgt) wird, vergleiche dazu Tabelle 106. Zu erwarten wäre unter diesen Umständen eher ein deutlich geringerer Energieverbrauch in Stromkreis 33. Gründe für den Mehrverbrauch sind nicht bekannt, werden jedoch an der Hochschule untersucht. Stromkreis 34 scheint einen jahreszeitunabhängigen Grundstromverbrauch zu haben, welcher an Wochenenden und in der Ferienzeit (Weihnachten und Silvester) erreicht wird. Dies kann begründet werden durch die Klimatechnik, welche in zwei der in diesem Stromkreis erfassten Räume installiert ist. Der jahreszeitunabhängige Grundverbrauch des Stromkreises 34 könnte demnach durch den Dauerbetrieb der Klimaanlage festgelegt sein.

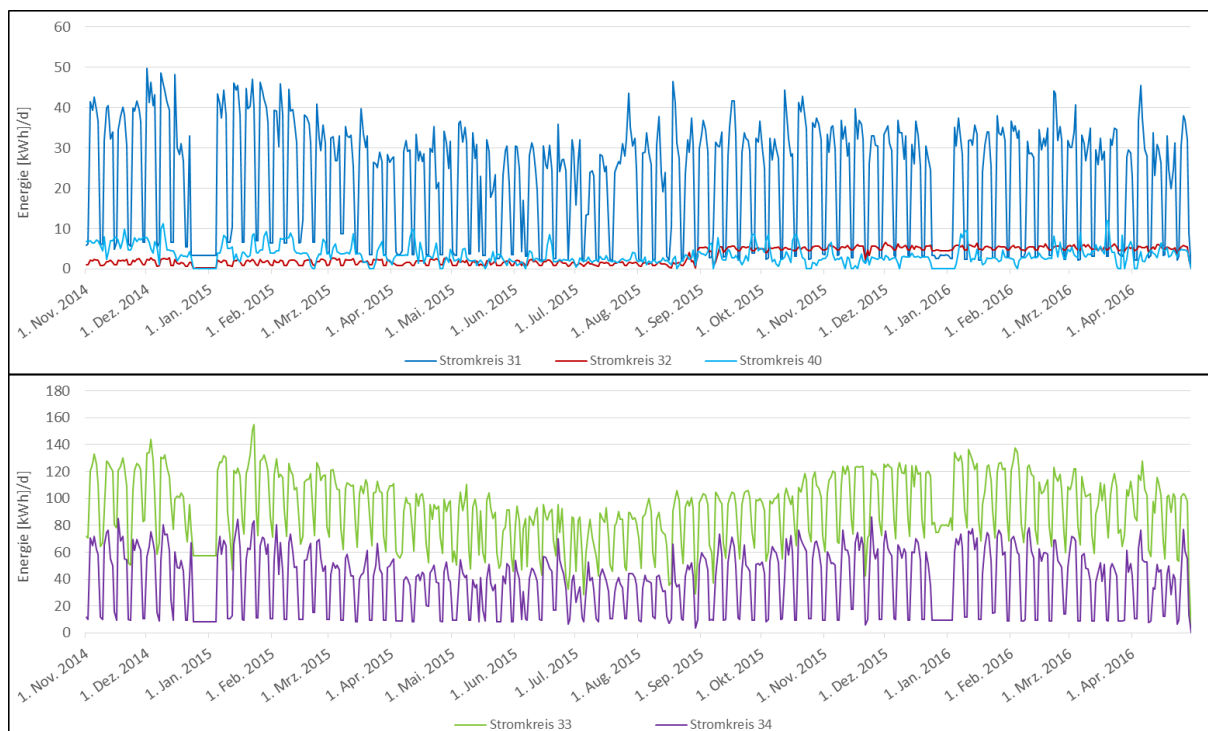


Abbildung 144: Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Hauptstromkreise in Gebäude A November 2014 bis April 2016 (täglich)

Die Auswertung der Netzersatzkreise, dargestellt in Abbildung 145, ergibt, dass die stetige Verringerung des absoluten Gesamtverbrauchs des Referenzgebäudes bis Juli 2015 durch den Netzersatzkreis des Rechenzentrums/Technikraums (s. Abbildung 145 (unten)) verursacht wird. Grund hierfür ist der bereits erwähnte Nutzungswechsel. Die übrigen Netzersatzkreise haben im gegenseitigen Vergleich ähnlich hohe Verbrauchswerte. In Abbildung 145 (oben) ist ein erhöhter Stromverbrauch des Stromkreises 38 ab Juli 2015 zu erkennen, ebenso ein geringerer Verbrauch im Stromkreis 39 ebenso ab Juli 2015. Es kann vermutet werden, dass die Verbraucher des Stromkreises 39 ab Juli 2015 in die Räumlichkeiten des Stromkreises 38 verlegt worden sind. Dies kann begründet werden durch einen möglichen Nutzerwechsel, der jedoch in den zugehörigen Hauptstromkreisen (vgl. Abbildung 144) nicht zu erkennen ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass Büromitarbeiter, welche zuvor in den Räumlichkeiten der Stromkreise 34+39 arbeiteten, ab Juli 2015 in die durch

den Nutzungswechsel des Besprechungsraumes entstandenen neuen Büros und somit in die Räumlichkeiten der Stromkreise 33+38 umgezogen sind. Der Energieverbrauch des Stromkreises 36 bleibt über das Jahr konstant, was auf die konstante Nutzung der Verbraucher des Stromkreises hinweist. In allen drei Stromkreisen sind ebenfalls Wochenenden zu erkennen, was auf nutzungsabhängige Verbraucher hinweist - beispielsweise EDV-Equipment.

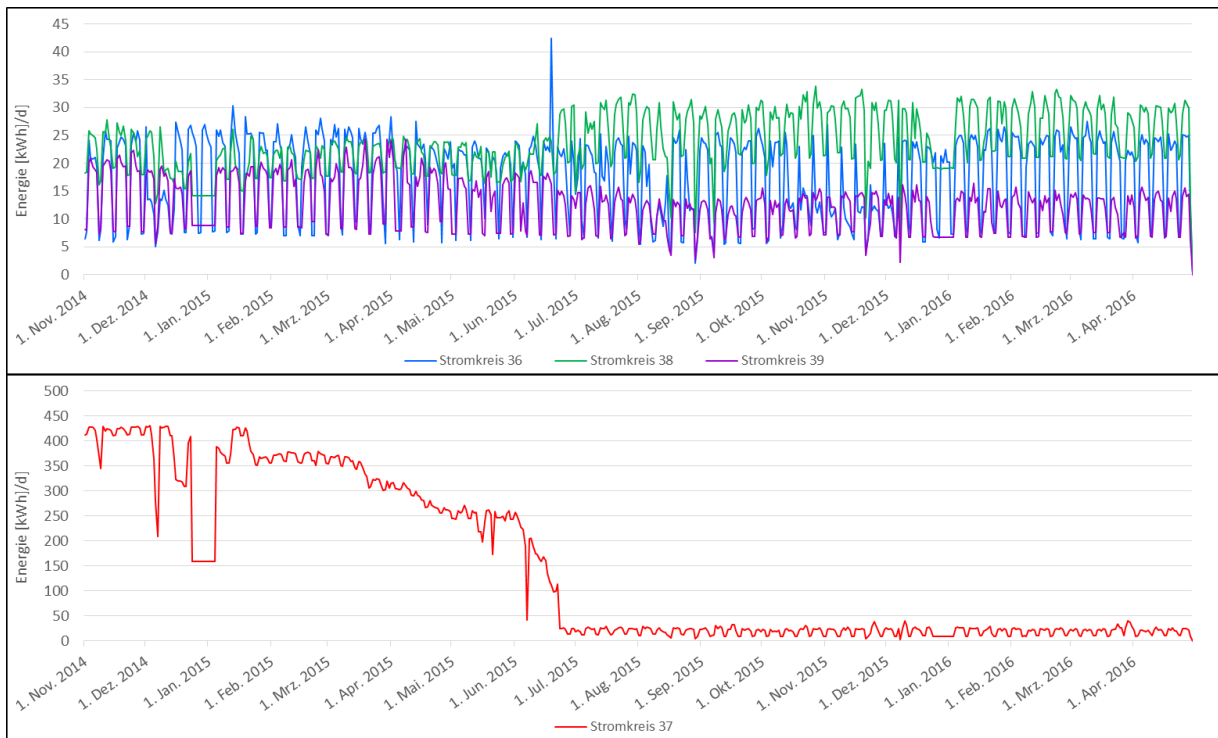


Abbildung 145: Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Netzersatzkreise in Gebäude A November 2014 bis April 2016 (täglich)

Der Verbrauchsverlauf der zusammengefassten Stromkreise in Abbildung 146 entspricht den Erwartungen. Bei den Stromkreisen 31+36, 33+38 und 34+39 sind die Wochenenden weiterhin deutlich erkennbar, wohingegen der Verbrauch von Stromkreis 40 (Keller) sehr gering ist und sich auch an den Wochenenden kaum merklich verändert. Der jahreszeitabhängige Verbrauch in den Stromkreisen 33+38 und 34+39 ist weiterhin erkennbar. Das deutet darauf hin, dass der Anteil der Hauptstromkreise den Hauptanteil an der elektrischen Versorgung der Räumlichkeiten (vermutlich künstliche Beleuchtung) darstellt. Insgesamt verbrauchen die Stromkreise 31+36 und 34+39 ähnlich viel Energie, Stromkreis 33 hebt sich auch durch Zusammenschluss mit dem zugehörigen Netzersatzkreis Stromkreis 38 deutlich von den anderen ab. In der Darstellung der Verbrauchswerte ist der im Vergleich zu den Stromkreisen 31+36 und 34+39 mehr als doppelt so hohe Verbrauch der Stromkreise 33+38 (in Abbildung 146 grün dargestellt), gut erkennbar. Aufgrund der ähnlichen Nutzungsstruktur, welche die durch die Stromkreise 33+38 versorgten Räumlichkeiten im Gegensatz zu denen der Stromkreise 31+36 und 34+39 haben, kann dort ein hohes Einsparpotential vermutet werden (vgl. hierzu Tabelle 106). Die Stromkreise 32+37 fallen durch den markanten Mehrverbrauch bis

Juli 2015 deutlich aus dem Rahmen und werden in folgendem Abschnitt genauer diskutiert.

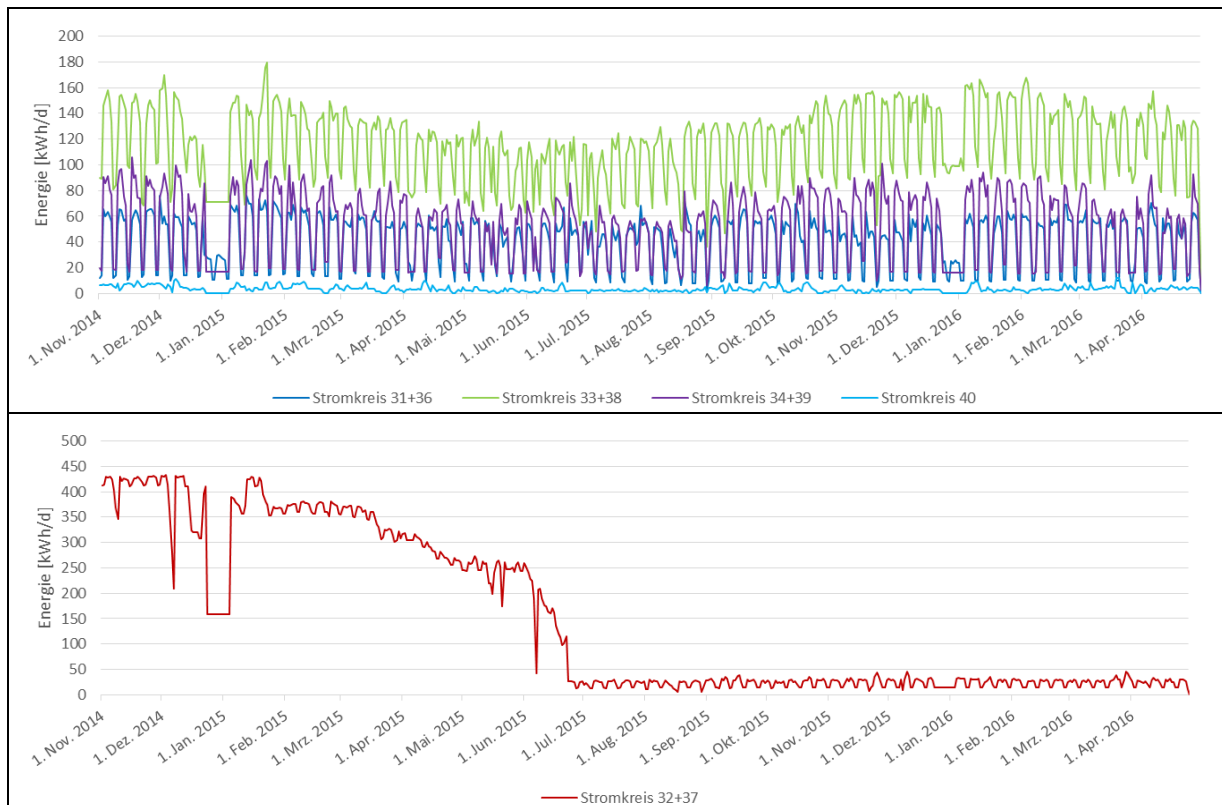


Abbildung 146: Absoluter Stromverbrauch von Gebäude A, Zusammenfassung der Hauptstrom- und Netzersatzkreise einzelner Raumgruppen (täglich)

Verteilung des Stromverbrauchs von Gebäude A

Werden die Verbrauchszahlen der einzelnen Stromkreis des Jahres 2015 untereinander verglichen, fällt erneut der hohe Verbrauch des Netzersatzes des Rechenzentrums (Stromkreis 37) sowie der Mehrverbrauch des Stromkreises 33 auf, siehe hierzu Abbildung 147 links. Ebenfalls auffällig ist der allgemeine Mehrverbrauch der Hauptstromkreise gegenüber den Netzersatzkreisen. Der Stromkreis 34 hat beispielsweise einen ca. dreimal höheren Verbrauch als dessen Netzersatzkreis, siehe Abbildung 147 (rechts). Stromkreis 33 verzeichnet einen ca. viermal so hohen Verbrauch wie der zugehörige Netzersatzkreis. Weniger auffällig, dennoch beachtlich ist der Mehrverbrauch des Stromkreises 31 von rund 30 % gegenüber dem zugehörigen Netzersatzkreis. Der unverkennbar höhere Verbrauch des Netzersatzes des Rechenzentrums (Stromkreis 37) gegenüber dem Hauptstromkreis 32 entspricht dagegen aufgrund der hohen Anzahl an EDV Geräten in diesem Raum, welche an den Stromkreis 37 angeschlossen sind, den Erwartungen. Stromkreis 32 erfasst demnach lediglich die Beleuchtung, die nur eingeschaltet wird, wenn der Raum genutzt wird, sowie konventionelle Steckdosen, welche anscheinend selten genutzt werden. Die deutlichen Unterschiede der anderen Hauptstrom- und Netzersatzkreise sind von der Hochschule Niederrhein zu analysieren. Da bei Begehungen des Verwaltungsgebäu-

des der Hochschule Niederrhein am Campus Krefeld-Süd festgestellt wurde, dass die Netzersatzkreise nicht nur für EDV-Geräte verwendet werden, sondern die Steckdosen auch als konventionelle Steckdosen genutzt werden und umgekehrt, sollte künftig ebenfalls eine genaue Analyse der Stromverbraucher erfolgen. Bezüglich der Zuordnung der einzelnen Stromkreise zu einzelnen Raumnutzungskategorien siehe Tabelle 106.

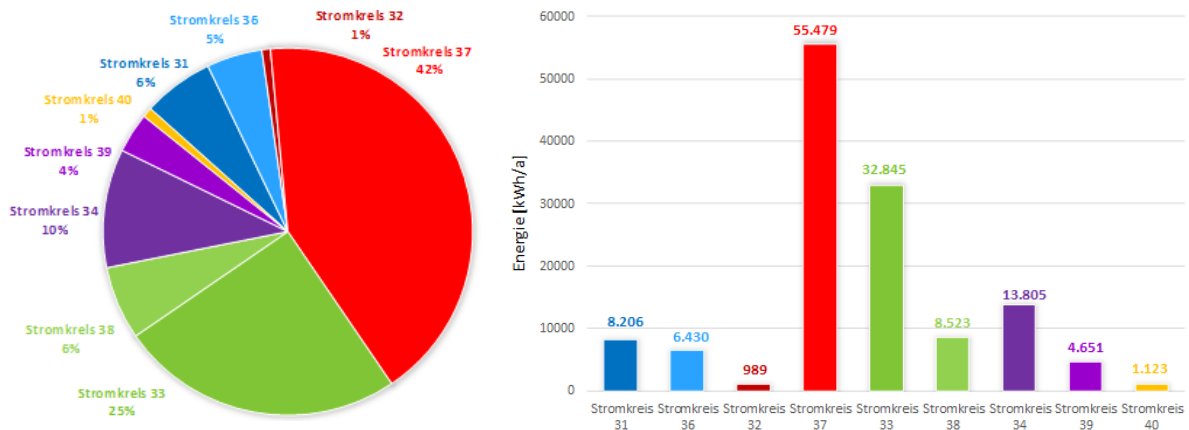


Abbildung 147: Verbrauchsanteile der Stromkreise im Jahr 2015 (links); Betrachtung des absoluten Stromverbrauchs der Stromkreise in kWh im Jahr 2015 (rechts)

Diskussion

Vergleich des elektrischen Energieverbrauchs des Gebäudes A mit deutschen Standards

Die Analyse des Stromverbrauchs erfolgt üblicherweise nach Energieverbrauch für elektrische Geräte pro Person und Energiebedarf der Beleuchtung pro Person. Durch die unterschiedliche Nutzung der Stromkreise ist eine Aufteilung nach Elektrogeräten und Beleuchtung nicht ohne weitere Maßnahmen möglich. Daher erfolgt eine Betrachtung des Stromverbrauchs pro Flächeneinheit. In Abbildung 149 wird der Energieverbrauch des Gebäudes A mit dem Vergleichswert aus (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) von 20 kWh/m²a bzw. rund 0,06 kWh/m²d verglichen.

Für Rechenzentren liegt der offizielle Vergleichswert nach (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) bei 155 kWh/m²a und demnach im Tagesmittel bei 0,42 kWh/m²d (in Abbildung 148 grün dargestellt). Bis zum Zeitpunkt vor der Nutzungsänderung, welche zwischen Dezember 2014 und Juli 2015 stattfand, betrug der täglich gemittelte Stromverbrauch des Rechenzentrums rund 9 kWh/m²d. Der Ver-

gleichswert von 0,42 kWh/m²d, wie in Abbildung 148 veranschaulicht, wurde somit um ca. das 20-fache überschritten. Diese Messungen lassen vermuten, dass der Stromkreis des Rechenzentrums noch weitere Verbraucher umfasst bzw. nicht alle Verbraucher bekannt sind. Nach der Nutzungsänderung von einem Rechenzentrum zu einem dem Lehrzweck dienenden Computerraum beträgt der mittlere tägliche Verbrauch nur noch 0,54 kWh/m²d und beträgt damit immerhin fast das Vierfache der anderen erfassten Stromkreise. Diese haben einen durchschnittlichen Verbrauch von 0,15 kWh/m²d. Obwohl sich nach Informationen der HN kein Rechenzentrum mehr in diesem Raum befindet, liegt der Verbrauch des Raumes des Rechenzentrums deutlich näher am Vergleichswert von 0,42 kWh/m²d für Rechenzentren, als vor der Nutzungsänderung. Dies ist besonders beachtlich, da die anderen Stromkreise nach der Nutzungsänderung des Rechenzentrums den Hauptverbrauch des Gebäudes ausmachen sollten.

Das Rechenzentrum bzw. der Raum des Rechenzentrums wird daher aufgrund der unklaren Informationslage bei der Auswertung des Verwaltungsgebäudes nicht weiter betrachtet. Im Anschluss an dieses Projekt sollte dieser Raum bzw. dieser Stromkreis genauer auf seine Verbraucher und auf die Nutzungsabsicht untersucht werden.

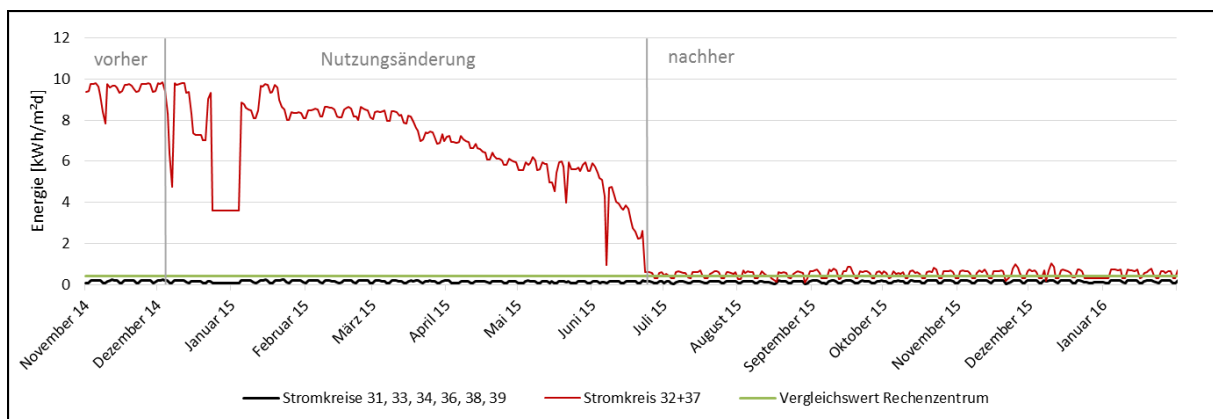


Abbildung 148: Betrachtung des flächenspezifischen Energieverbrauchs des Rechenzentrums im Vergleich zu den anderen Stromkreisen des Gebäudes A

In Abbildung 149 ist zu erkennen, dass der Vergleichswert nur an Wochenenden erreicht und nur selten unterschritten wird. Dementsprechend kann hier von einem hohen Energieeinsparpotenzial ausgegangen werden. Verglichen mit dem in (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) veröffentlichten Vergleichswert von 20 kWh/a, sollte der flächenspezifische tägliche Stromverbrauch für universitäre Gebäude gemittelt auf 365 Tage bei rund 0,06 kWh/m²d liegen. Der Mittelwert für den täglichen Stromverbrauch im erfassten Zeitraum zwischen 1. November 2014 bis 31. April 2016 liegt bei Ausschluss des Rechenzentrums mit rund 0,10 kWh/m²d weit über dem Vergleichswert.

Der Verlauf des Gesamtstromverbrauchs entspricht den Erwartungen. In der Winterzeit ist dieser bedingt durch kürzere Sonnenstunden und höheren Bedarf an künst-

licher Beleuchtung etwas erhöht, in den Sommermonaten dementsprechend geringer. Das Gleiche gilt auch für die Grundlast des Gebäudes. Der Gesamtgrundverbrauch kann aufgrund der Abwesenheit der Mitarbeiter während der Weihnachts- und Silvesterzeit in guter Näherung bestimmt werden und entspricht rund 0,065 kWh/m²d und liegt damit sogar über dem Vergleichswert von 0,06 kWh/m²d. Der über die gesamte Messperiode gemittelte Grundverbrauch (an Wochenendtagen zu erkennen) liegt für das Kalenderjahr 2015 mit 0,04 kWh/m²d etwas unter dem Vergleichswert.

Für das Jahr 2015 betrachtet, liegt der Stromverbrauch selbst ohne Betrachtung des Rechenzentrums mit 34,06 kWh/m²a rund 70 % über dem Vergleichswert von 20 kWh/m²a. Würde man das Rechenzentrum mit betrachten, läge die Überschreitung sogar bei ca. 190 %. Dies deutet erneut auf den hohen Verbrauch des Verwaltungsgebäudes hin und lässt ein hohes Energieeinsparpotential vermuten.

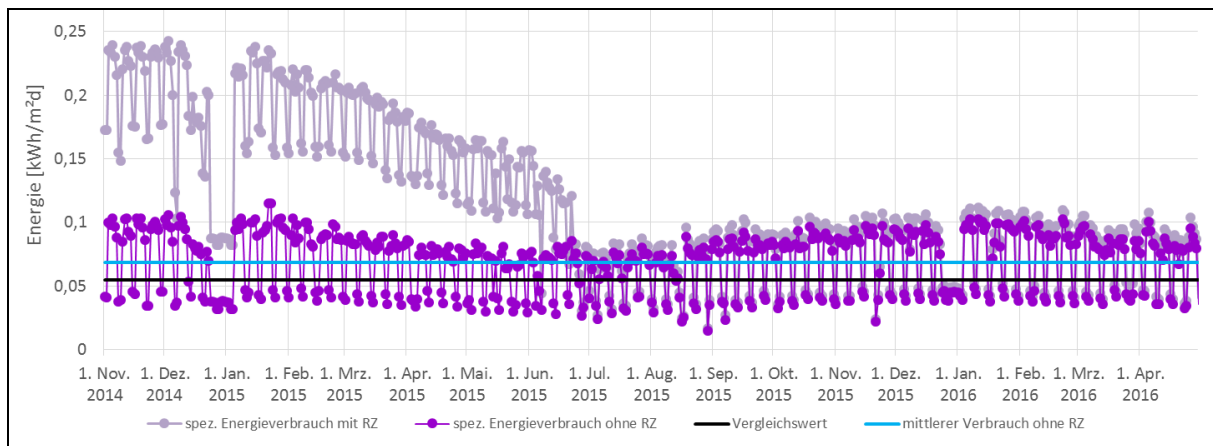


Abbildung 149: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs des Gebäudes A zwischen November 2014 - April 2016 (täglich)

In Abbildung 150 werden die Verbräuche monatlich im Detail betrachtet. Im Vergleich des Verbrauchs beider Messperioden sind keine bemerkenswerten Unterschiede zu erkennen. Der Verbrauch in der zweiten Messperiode ist mit Ausnahme des Novembers pro Quadratmeter sogar leicht angestiegen. Dies könnte das Resultat steigender Mitarbeiterzahlen sein. Der monatliche Energieverbrauchswert des Gebäudes liegt im Durchschnitt doppelt so hoch wie der monatliche Vergleichswert für diese Gebäudekategorie. Eine genauere Analyse der Verbraucher und des Nutzerverhaltens könnte Aufschluss darüber geben, wie dieser hohe Energieverbrauch zu Stande kommt. Diese Erhebungen waren jedoch nicht Bestandteil des Vorhabens und sollten ggf. in einem Folgevorhaben detailliert untersucht werden.

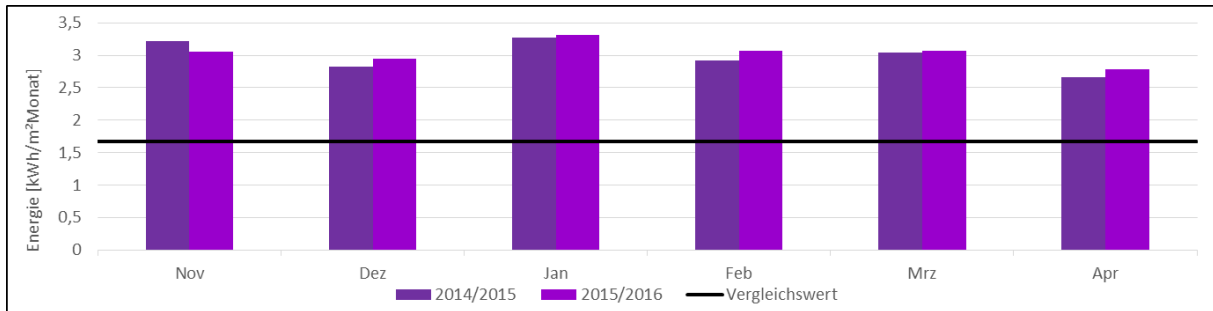


Abbildung 150: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs des Gebäudes A zwischen November 2014 und März 2015 sowie November 2015 und April 2016 (monatlich)

Betrachtung des Einflusses verschiedener Raumtypen auf den Energieverbrauch

Dadurch, dass die Messung lediglich in den neun vorhandenen Stromkreisen erfolgen konnte, ist eine Analyse verschiedener Raumnutzungskategorien nicht möglich. Es können lediglich Vermutungen über Zusammenhänge angestellt werden. In der folgenden Diskussion der Messergebnisse wird deshalb weiterhin nach Energieverbrauch pro Flächeneinheit analysiert.

Die gewonnenen Erkenntnisse über die Verhältnismäßigkeiten und Verbrauchsverläufe der Hauptstrom- und Netzersatzkreisen deuten darauf hin, dass die Netzersatzkreise entgegen den Vorgaben der Hochschule Niederrhein (der Stromverbrauch der Beleuchtung, konventioneller Steckdosen und der EDV-Geräte soll über verschiedene Stromkreise versorgt und erfasst werden) verwendet werden. Bei Begehungen konnte diese Annahme bestätigt werden. Die angeschlossenen Verbraucher der einzelnen Stromkreise sind daher zu überprüfen und zu identifizieren. Im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit war dies jedoch nicht möglich. Aufgrund dessen werden in der folgenden Betrachtung die Hauptstromkreise und die zugehörigen Netzersatzkreise zusammengefasst betrachtet.

Die Betrachtung des absoluten Energieverbrauchs enthält bereits erste Erkenntnisse bezüglich des Mehrverbrauchs des Verwaltungsgebäudes der Hochschule Niederrhein am Campus Krefeld-Süd. Verglichen mit dem offiziellen Vergleichswert auf Grundlage von (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) wird der Mehrverbrauch der Stromkreise 32+37 (Rechenzentrum) sehr eindeutig, die Stromkreise 33+38 (Büros und Flure) übersteigen diesen Wert ebenfalls um ein Vielfaches, wodurch ein Mehrverbraucher in diese Stromkreise vermutet werden kann. Der Stromverbrauch des Stromkreises 40 (Keller) ist erwartungsgemäß gering und liegt weit unter dem Vergleichswert. Die Stromkreise 31+36 (Büros) sowie 34+39 (Büros, Sanitär, Besprechungsraum) sind weniger auffällig. Die Räume der Stromkreise 31+36 haben nur einen, gegenüber dem Vergleichswert, leicht erhöhten Verbrauch. Demnach sollten vor allem die an die Stromkreise 33+38 angeschlossenen Verbraucher identifiziert und untersucht werden. Eine weitere Möglichkeit zur Begründung dieses hohen Verbrauchs könnten höhere Mitarbeiterzahlen sein. Sollten in den die-

sem Stromkreis zugehörigen Räumen verhältnismäßig mehr Personen arbeiten, ist auch flächenspezifisch ein höherer Energieverbrauch zu erwarten. Entsprechende Dokumentationen diesbezüglich fehlen, sollten jedoch zukünftig erfolgen.

Über das Jahr betrachtet verläuft der Stromverbrauch, wie in Abbildung 151 dargestellt und bereits in absoluten Werten analysiert, erwartungsgemäß. Die starke Energieverbrauchsreduzierung des Rechenzentrums ist auf die Nutzungsänderung des Raums zurückzuführen. Da dieser Raum seit Juli 2015 nicht weiter als Rechenzentrum, sondern lediglich zu Lehrzwecken genutzt wird, ist der Verbrauch zwar erhöht, jedoch weitaus geringer als zuvor.

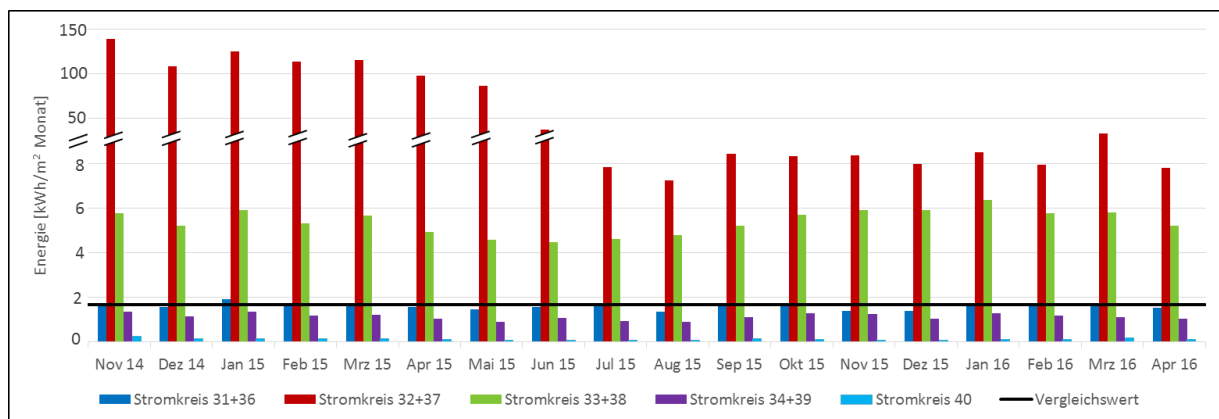


Abbildung 151: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs verschiedener Raumtypen im Zeitraum von November 2014 bis April 2016 (monatlich)

6.3.2.3.6 Hörsäle/Vorlesungsräume

Stromverbrauch

Der absolute Gesamtstromverbrauch der Vorlesungsräume ist in Abbildung 152 dargestellt. Fehlende Daten zwischen dem 16. Dezember 2014 und dem 16. Januar 2015 konnten über den Vergleich der Weihnachts- und Silvesterzeit des Folgejahres angenähert ermittelt werden, da der Verbrauch in dieser Zeit dem Grundverbrauch entsprach. Der Verbrauchsverlauf entspricht den Erwartungen; an Wochenenden sowie in der vorlesungsfreien Zeit ist der Verbrauch deutlich abgesenkt. Der Grundverbrauch der Räume lässt sich in den Ferienzeiten gut ermitteln. Beachtlich ist, dass der Verbrauch von Raum 20007377 an Wochenenden sowie in Ferienzeiten auf beinahe „Null“ absinkt, während die weiteren Räume einen Grundstromverbrauch von 2,0 kWh/d in 20009035, von 2,3 kWh/d in 20001081 und 2,4 kWh/d in 20022852 haben.

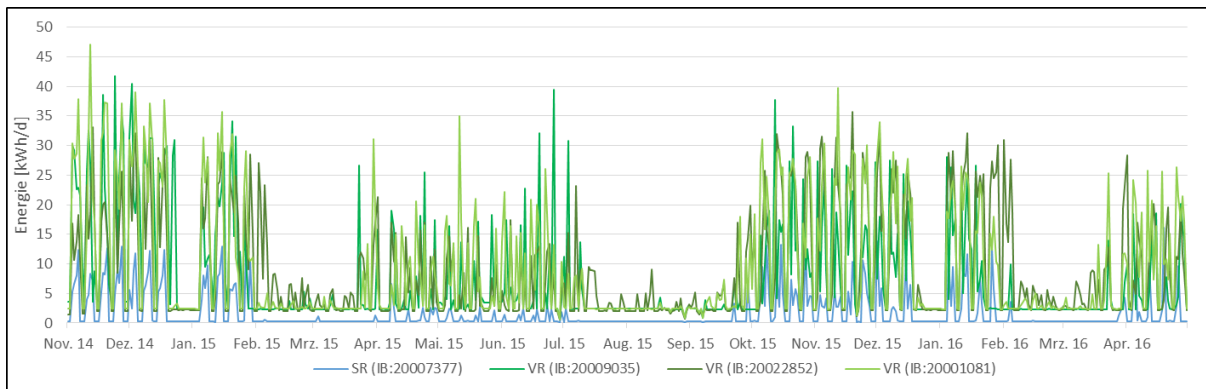


Abbildung 152: Vergleich des spezifischen Gesamtstromverbrauchs der betrachteten Vorlesungsräume (täglich)

Im Jahresvergleich ist ebenso auffällig, dass der Verbrauch der Vorlesungsräume 20022852, 20001081 und 20009035 rund dreimal so hoch ist wie derjenige des Raums 20007377, siehe dazu Abbildung 153. Dieses Ergebnis wird in der Folge ebenfalls noch genauer betrachtet bzw. begründet.

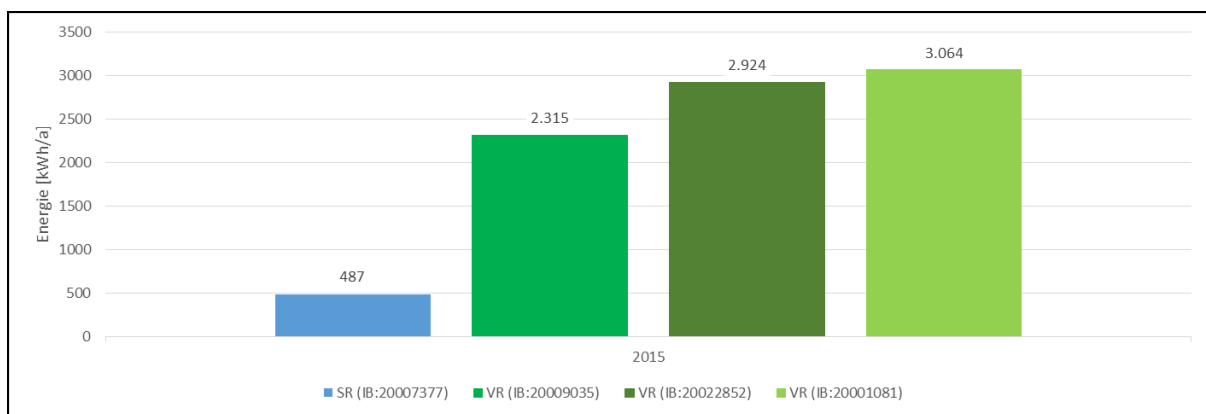


Abbildung 153: Vergleich des absoluten Stromverbrauchs der betrachteten Vorlesungsräume in kWh im Kalenderjahr 2015

Diskussion

Betrachtung des Stromverbrauchs bezüglich des deutschen Standards

Der gängige Effizienzbewertungsindikator ist auch in der Analyse des Stromverbrauchs der Hörsäle und Vorlesungsräume der Stromverbrauch elektrischer Geräte pro Person und Energiebedarf der Beleuchtung pro Person. Da auch in diesen Räumen keine Informationen über die Verbraucher vorhanden sind, werden Geräte und Beleuchtung zusammengefasst. Die Bedienung der Beleuchtung und der Gerätschaften der Vorlesungsräume unterliegt nicht automatisch jedem Raumnutzer, wie es in Büros der Fall ist. Häufig wird die im Raum vorhandene Technik vor allem durch die Dozenten bedient. Daher wird der Effizienzindikator für Vorlesungsräume nicht wie in den Büros pro Person gewählt, sondern pro Fläche.

Der Vergleichswert für den Stromverbrauch in Hörsaalgebäuden liegt nach (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) bei 40 kWh/m²a (0,11 kWh/m²d). Die Auswertungen in Abbildung 154 zeigen für die Vorlesungsräume und Hörsäle der Hochschule einen weitaus niedrigeren jährlichen Verbrauch an Strom von 4,06 kWh/m²a, 10,47 kWh/m²a, 14,23 kWh/m²a und 12,75 kWh/m²a. Besonders auffällig ist der jährliche flächenspezifische Verbrauch des Vorlesungsraumes 20007377, welcher nur ein Zehntel des offiziellen Vergleichswertes beträgt. Begründet ist dies möglicherweise dadurch, dass in diesem Raum keine Klimaanlage oder Lüftung vorhanden ist. Des Weiteren ist dort außer der Beleuchtung keine weitere besondere Raumausstattung installiert. Die anderen Hörsäle verfügen über jeweils eine (Teil-)Klimaanlage und höhere technische Ausstattung wie beispielsweise interaktive Whiteboards.

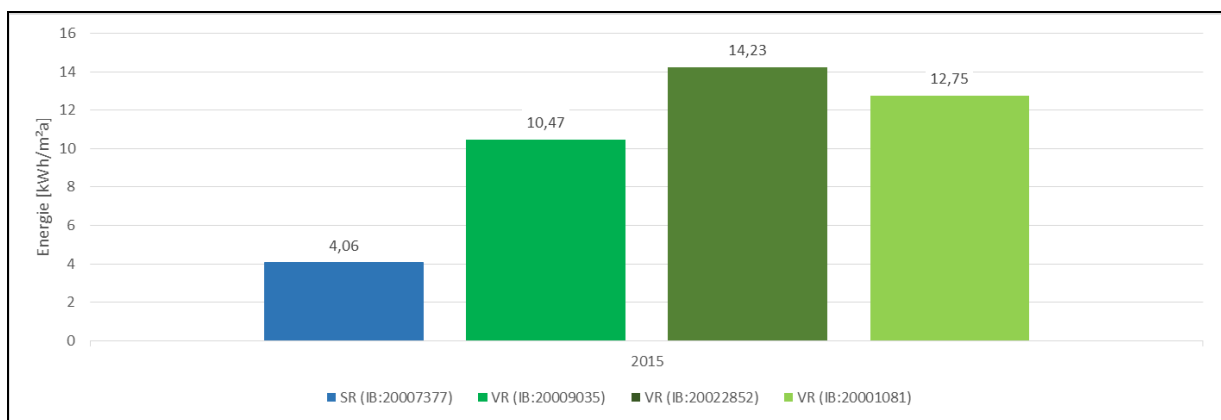


Abbildung 154: Vergleich des flächenspezifischen Stromverbrauchs der betrachteten Vorlesungsräume in kWh im Jahr 2015 in kWh/m²a

In der Betrachtung des täglichen flächenspezifischen Stromverbrauchs, siehe Abbildung 155, wird der Energieverbrauch der Vorlesungsräume und Hörsäle dargestellt. Klar zu erkennen sind hier die vorlesungsfreien Zeiten, in denen die Räumlichkeiten lediglich gelegentlich durch die Studierenden zum Lernen genutzt werden. Die mittleren täglichen Stromverbrauchszahlen liegen analog zu den absoluten Verbrauchswerten auch pro Quadratmeter in jedem der Vorlesungssäle weit unter dem Vergleichswert von 0,11 kWh/m²d. Der mittlere Stromverbrauch des Vorlesungsraumes 20007377 beträgt mit ca. 0,01 kWh/m²d nur 10 % des Vergleichswertes, der des Hörsaals 20009035 mit rund 0,03 kWh/m²d etwa 30 %, der Hörsäle 20022852 und 20001081 mit rund 0,04 kWh/m²d 40 % des Vergleichswertes.

Im Gegensatz zum Verwaltungsgebäude kann bei der Betrachtung dieser Räume ein konstanter Grundverbrauch von rund 0,01 kWh/m²d in 20009035, 20001081 und 20022852 ausgemacht werden. Demgegenüber bleiben die maximalen Verbräuche in Sommer- und Wintersemester nicht konstant, sondern ändern sich mit der Jahreszeit (im Sommer über alle gemessenen Vorlesungsräume gemittelt rund 0,06 kWh/m²d, im Winter über alle gemessenen Vorlesungsräume gemittelt rund doppelt so hoch).

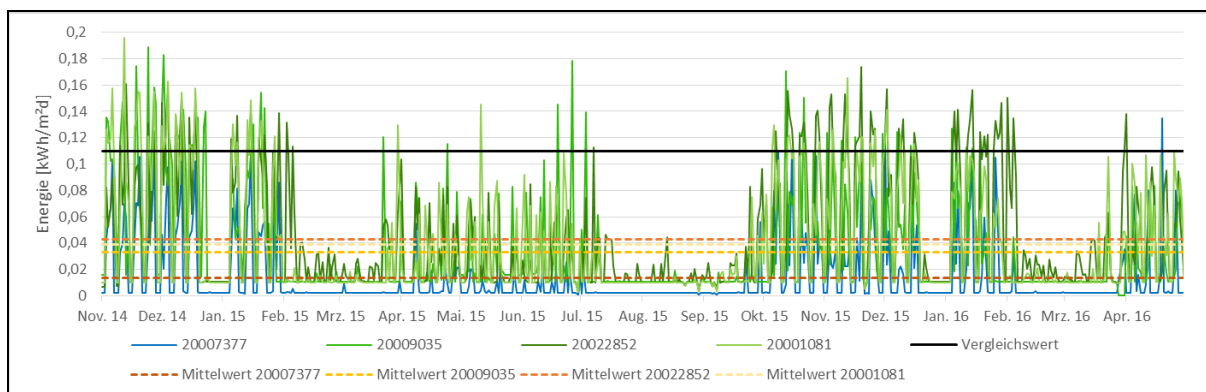


Abbildung 155: Betrachtung des flächenspezifischen Stromverbrauchs der Vorlesungsräume und Hörsäle verglichen mit dem offiziellen Vergleichswert (täglich)

6.3.2.4 Arbeitspaket 6: Verwertung der Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten wird ein Überblick bezüglich des zukünftigen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse, der wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten im Anschluss an das Vorhaben, sowie den daraus resultierenden wirtschaftlichen Erfolgsaussichten dargestellt.

6.3.2.4.1 Wissenschaftliche und fachöffentliche Verwertung

Im Rahmen des Vorhabens wurden zahlreiche Beiträge in Form von Fachartikeln, Vorträgen, Abschlussarbeiten und Posterausstellungen präsentiert bzw. veröffentlicht. Nachfolgend sind die Beiträge der IZES gGmbH chronologisch aufgeführt.

- S. Arns, B. Groß et al.; Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation (REGENA); Posterbeitrag 19. Symposium REGWA – Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik; Stralsund; 08. – 10. November 2012
- S. Arns, B. Groß et al.; REGENA – Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation; Konferenzband 19. Symposium REGWA – Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik; ISBN 978-3-9813334-5-9; Stralsund; 08. – 10. November 2012
- S. Arns, A. Christian und V. Jähn; Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation (REGENA); Posterbeitrag EnOB-Symposium Energieinnovationen in Neubau und Sanierung statt; Essen; 20. – 21. März 2014
- S. Arns, B. Groß; REGENA – Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation; Vortrag 7. Forum Energie: „Energieeffizienter Campus“; Clausthal/Zellerfeld; 23. – 25. Juni 2014
- B. Groß, S. Arns; REGENA – Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation: Weiterentwicklung eines Multifunktions-

messgeräts zur anwendungsoptimierten Datenerfassung; Posterbeitrag 21. Symposium REGWA – Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik; Stralsund; 06. – 08. November 2014

- B. Groß, S. Arns; REGENA – Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation: Weiterentwicklung eines Multifunktionsmessgeräts zur anwendungsoptimierten Datenerfassung; Konferenzband 21. Symposium REGWA – Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik; ISBN 978-3-9813334-8-0; Stralsund; 06. – 08. November 2014
- H. Manns; Bachelorarbeit zum Thema: „Steigerung der Energieeffizienz in Bildungsgebäuden – Eine Studie am Beispiel der Hochschule Niederrhein, Campus Krefeld-Süd“; 18. April 2016

Gemeinsam mit den Verbundpartnern wurden weitere Beiträge in Form von Postern, Vorträgen und/oder Artikeln veröffentlicht. Diese sind in den Abschnitten 4.3.5 und aufgeführt.

6.3.2.4.2 Erstellung und Pflege der REGENA Webseite

Im ersten Halbjahr 2014 wurde die Webseite www.projekt-regena.de gestartet. Auf dieser Webseite wurde während der Projektlaufzeit transparent über aktuelle Entwicklungen im Projekt REGENA informiert. Zusätzlich wurden dort der Öffentlichkeit Informationen und Handlungsempfehlungen im Bereich geringst- und geringinvestiver Maßnahmen zur Verfügung gestellt. Die Webseite soll auch über die Projektlaufzeit hinaus bis mindestens Ende 2016 weiterbetrieben und gepflegt werden. Es ist geplant, die Projektergebnisse der Verbundpartner dort vorzustellen.

6.3.2.4.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im ursprünglichen Antrag wurden die zum damaligen Zeitpunkt wahrscheinlichen Verwertungswege nach Ende des Vorhabens tabellarisch dargestellt. Aus diesem Verwertungsplan sowie den formulierten wissenschaftlichen Fragestellungen leiten sich die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit des Vorhabens ab.

Im Verwertungsplan wurde zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Zielen unterschieden. Als kurzfristiges Ziel für die IZES gGmbH im Rahmen des Verwertungsplans wurden der Vertrieb, die Kostenreduktion sowie die Weiterentwicklung der INES-Box angegeben. Der Einsatz der INES-Box am Campus Krefeld Süd der Hochschule Niederrhein wurde wie geplant mit der Hardwareversion HW200 begonnen. Während des Betriebs der eingesetzten Boxen wurden zahlreiche Verbesserungsoptionen identifiziert und sowohl hardware- als auch softwareseitig umgesetzt. Im Ergebnis ist nach Abschluss des Vorhabens REGENA die INES-Box als Hardwareversion HW310 verfügbar. Die notwendigen Labortests dieser Version sind abgeschlossen, der Einsatz im Feldtest steht noch aus. Im Rahmen von zwei weiteren IZES Vorhaben erfolgt eine direkte Verwertung der erzielten Ergebnisse durch den Einsatz der neu- bzw. weiterentwickelten INES-Box. Im ersten Vorhaben wird die Box standardmäßig als Datenlogger eingesetzt wobei der Anschluss bzw. die Datenübertra-

gung erstmals über WLAN bzw. LAN realisiert werden soll. Im zweiten geplanten Vorhaben wird die INES-Box mit dem ebenfalls von IZES entwickelten Elektrostatischen Filtercontroller (EFC) vereint um jederzeit den Status der im zugehörigen Feldtest eingesetzten EFC kontrollieren bzw. überwachen zu können.

Bezüglich des Vertriebs der INES-Box steht IZES in engem Kontakt mit der OTS Ingenieurgesellschaft mbH sowie der IMR Ingenieurgesellschaft für Mess- und Regeltechnik mbH. Derzeit ist ein Vertrieb der INES-Box noch nicht möglich, da entsprechende Zertifikate (EMV-Prüfung, CE etc.) noch nicht vorliegen. Eine Beantragung dieser Zertifikate bzw. die offizielle Beauftragung der notwendigen Messungen wurde vorerst zurückgestellt, da die endgültige Konfiguration und Ausbaustufe der INES-Box noch nicht realisiert werden konnte. Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich des Betriebs der INES-Boxen im Rahmen von REGENA bilden die Voraussetzung und die Basis für den geplanten Einsatz der INES-Box in der Hardwareversion HW310 in den genannten weiteren F&E Vorhaben.

Die indirekten bzw. mittel- bis langfristigen Verwertungsansätze des Vorhabens sollen zukünftig, insbesondere durch die Verbreitung der Ergebnisse über Multiplikatoren wie beispielsweise der HIS Institut für Hochschulentwicklung e.V., erfolgen.

6.3.2.4.4 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Die wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten bzw. deren Anschlussfähigkeit ist gegeben und kann in zwei unterschiedliche Themenbereiche gegliedert werden. Zum einen steht mit der INES-Box in der aktuellen Hardwareversion HW310 ein funktionstüchtiges Gerät zur Datenerfassung und Speicherung zur Verfügung. Diese Eigenentwicklung wird auch in Zukunft IZES-intern für die Datenerfassung und -speicherung eingesetzt und dabei kontinuierlich weiter optimiert. Aufgrund der Auswertung der erfassten Datensätze der Hochschule Niederrhein wurden wichtige Erkenntnisse bezüglich der Energieverbrauchs und des Nutzerverhaltens in öffentlichen Gebäuden, insbesondere von Hochschulverwaltungsgebäuden, gewonnen. Diese Erkenntnisse werden bei zukünftigen Vorhaben berücksichtigt, bzw. bilden die Grundlage für zukünftige Monitoringkonzepte.

Die Ergebnisse des Energiemonitorings des Vorhabens können nach entsprechender Anpassung auch von anderen Institutionen genutzt werden. Da die identifizierten Maßnahmen zur Energieeinsparung in der Regel einfach und kostengünstig umzusetzen sind, kann davon ausgegangen werden, dass das in der Hauptsache durch den UCB entwickelte REGENA-Modell von den im Antrag aufgeführten Verwertungspartnern, wie beispielsweise durch Wohnungsbaugesellschaften, Kommunen, Städte und Gemeinden auch genutzt werden kann.

6.3.2.4.5 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Bezüglich einer Prognose zu den wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bzw. deren Anschlussfähigkeit wird an dieser Stelle insbesondere bezüglich der Nennung einer zu einem späteren Zeitpunkt durch Dritte vermarktbare Stückzahl an INES-Boxen bewusst vermieden, da sehr viele unbeeinflussbare und hochflexible Faktoren in Betracht gezogen werden müssen. Hier sind beispielsweise der Entwicklungsstand sowie die finalen Kosten zu nennen.

7 Vergleich der Hochschulstandorte

Abschlussbericht

FuE-Vorhaben: Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation (REGENA)

Vergleichsteil der Verbundpartner Umwelt-Campus Birkenfeld und IZES gGmbH, Arbeitsfeld „Technische Innovationen“

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET1070 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtsteils liegt bei den Autoren.

Projektlaufzeit: 01.06.2012 - 31.05.2016

Projektleitung an der Hochschule Trier: Prof. Dr. Stefan Naumann

Projektleitung am IZES: Dr. Bodo Groß

Verantwortliche Autoren:

Andrea Christian, Christoph Göttert, Klaus-Uwe Gollmer, Rainer Michels, Stefan Naumann, Stefan Rüdler, Dr. Bodo Groß, Sebastian Arns, Alejandro Tristan, Hannah Manns

Herausgeber:

Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld

Institut für Softwaresysteme in Wirtschaft, Umwelt und Verwaltung

Postfach 13 80, D-55761 Birkenfeld

IZES gGmbH

Institut für ZukunftsEnergieSysteme
an der Hochschule für Technik und
Wirtschaft (HTW)

IT Park Saarland

Altenkesseler Straße 17, Geb. A1

D-66115 Saarbrücken

Hinweis: Zur besseren Lesbarkeit wird im Text nur die männliche Form verwendet, hiermit sind selbstverständlich auch Nutzerinnen, Mitarbeiterinnen, Dozentinnen und Professorinnen gemeint. Für Studenten und Studentinnen wird die Form „Studierende“ verwendet.

Saarbrücken, den 10.10.2016

7.1 Vergleichende Datenauswertung

7.1.1 Wärmeenergieverbrauch

7.1.1.1 Referenzgebäude

Für den folgenden Wärmebedarfsvergleich wird exemplarisch je ein Verwaltungsgebäude der teilnehmenden Hochschulen herangezogen. Die Bausubstanz der betrachteten Gebäude unterscheidet sich hierbei stark und wird daher einleitend erläutert. Etwaige Unterschiede, die nicht durch die Untersuchungen und Auswertungen im Projekt REGENA hervorgehoben werden können, sind nach unserer Auffassung im Wesentlichen auf diese Unterschiede in den Bausubstanzen zurück zu führen.

HN:

Die Fensterfronten der 42 Räumlichkeiten des untersuchten Gebäudes A der Hochschule Niederrhein am Campus Krefeld Süd sind nach Nord-Osten und Süd-Westen ausgerichtet. Das Gebäude ist über einen Flur mit Gebäude B des Hochschulstandortes verbunden. Alle Räume gehen von einem gemeinsamen, langen Flur ab. In den auf zwei Stockwerke verteilten Räumen arbeiten ca. 70 Mitarbeiter. Darunterliegend befindet sich ein Kellergeschoss.

Die Bausubstanz ist bei der Sanierung 2006 mit einer Dämmung erweitert worden. Bei dieser Sanierung wurden ebenfalls die Fenster des untersuchten A-Gebäudes ausgetauscht. Nähere Informationen zu dieser Sanierung sind nicht vorhanden.

UCB:

Das längliche, zweistöckige Gebäude ist Nord-Süd-ausgerichtet. Das Außenfläche/Volumen-Verhältnis beträgt 0,55 1/m. Die Räume des Gebäudes liegen pro Stockwerk entlang eines Flures (Mittelgang), und das Gebäude ist durch einen Verbindungsflur mit großflächiger Glasfassade mit dem restlichen Komplex des UCB verbunden, welcher in die vergleichenden Betrachtungen einbezogen wird. Die Gebäudehülle ist bei der Sanierung 1996 mit einer 50 mm-Dämmung versehen worden. Hingegen ist die Zwischendecke zum vorhandenen Kriechkeller ungedämmt geblieben. Weitere Details zur Wärmedämmung und Wärmebildaufnahmen sind in Abschnitt 4.1.1 abgebildet und beschrieben.

Einen Überblick zu den Grunddaten der beiden betrachteten Gebäude gibt Tabelle 111.

Tabelle 111: Allgemeines zu den untersuchten Gebäuden

Allgemeines zum untersuchten Gebäude		
	UCB	HN
Nettogeschoßfläche	1.347 m ²	ca. 1680 m ²
Bausubstanz	1996 renoviertes und gedämmtes Gebäude, ausgeführt in 24er Mauerwerk	2006 Kernsanierung, incl. neuer Fenster und teilweise Dämmung
Anzahl Räume	60	42
Mitarbeiter	30	70
Heizung	Nahwärme, Außentemperatur geregelter Vorlauf, Einzelraumregler über Gebäudeleittechnik verbunden	Fernwärme, Außentemperatur geregelter Vorlauf, Einzelraumregler über Gebäudeleittechnik verbunden
Beleuchtung	Leuchtmittel teils schon LED, z. T. gesteuert über Bewegungsmelder (Büros über Helligkeitssensoren gedimmt)	Leuchtmittel Leuchtstofflampen z. T. gesteuert über Bewegungsmelder
Bedarfe untersuchtes Gebäude		
	2015	2015
Elektrischer Energiebedarf	15.282 kWh/a	74.460 kWh/a
Wärmebedarf	112 MWh/a	97 MWh/a

7.1.1.1.1 Nutzungsunterschiede

Auch die Nutzung der untersuchten Gebäude ist verschieden und wird daher hier zur besseren Einordnung der folgenden Analysen beschrieben. Änderungen der Nutzungen während des Untersuchungszeitraums lassen sich der Abbildung 156 entnehmen, die auch den anteiligen Wärmeenergieverbrauch der untersuchten Raumtypen im Vergleich zweier Messperioden darstellt.

HN:

Die Räume des Gebäudes A der HN werden größtenteils als Büroräume und damit vorlesungsunabhängig genutzt. Den zweitgrößten Anteil an der Flächenverteilung haben die Verkehrsflächen, über welche die einzelnen Büros erreicht werden können. Hervorzuheben ist ein großer Besprechungsraum, welcher während der Projektlaufzeit zu sieben Büros, einem Flur und einem kleineren Besprechungsraum umge-

baut wurde. Dieser wird jedoch nach jetzigem Kenntnisstand nur gelegentlich genutzt. Als Sanitärräume werden WC und zwei kleine Küchen bezeichnet. Diese sind jedoch nur selten in Betrieb und dienen lediglich als Teeküchenzeile. Ein Technikraum wurde während der Projektlaufzeit von einem Serverraum/Rechenzentrum umfunktioniert und dient seit Juni 2015 verschiedenen Lehrzwecken.

Einzige Wärmequellen im untersuchten Gebäude sind der Übergabepunkt der Fernwärme durch einen Wärmetauscher, der jedoch aufgrund seiner Lage im Keller kaum zur Raumwärme beiträgt, sowie das Rechenzentrum, welches sich jedoch in einem separaten Raum befindet, gekühlt und seit Juni 2015 nur noch vereinzelt zu Lehrzwecken genutzt wird.

UCB:

Zu erwähnen ist der hohe Anteil an Verkehrsflächen (Flure und Treppenhäuser) und die im Unterschied zur HN vorhandenen Flächenanteile Lager/Archiv, Technik und Seminarraum. Ebenfalls sind in den Flächen Sozialräume wie eine Teeküche und Duschen zusätzlich zu den bei der HN aufgeführten Sanitärbereichen enthalten. Bei der in Abbildung 156 dargestellten Flächenaufteilung und deren Summe sind – im Gegensatz zur Nettogesamtfläche in der Gebäudeauswertung – lediglich zwei unbeheizte Räume (je 4,8 m²) für die Elektrounterverteilung ausgenommen.

Die Nutzung des übrigen Gebäudes ist überwiegend geprägt durch Bürotätigkeiten; es gibt einen Telefonkonferenzraum und einen Besprechungsraum, wobei letzterer verhältnismäßig häufig genutzt wird. Darüber hinaus wird auch der im Gebäude vorhandene Seminarraum nicht nur während des Semesters, sondern auch in der vorlesungsfreien Zeit für Blockveranstaltungen genutzt.

Die Nutzung hat in diesem Gebäude daher einen Zusammenhang zur Vorlesungszeit, welche zum Wintersemester im Oktober beginnt und im Januar endet. Daran angeschlossen folgt das Sommersemester mit Beginn im April und Vorlesungen bis Mitte Juli. Die Zeiträume zwischen den Lehrveranstaltungen sind geprägt durch eine verminderte Anwesenheit von Studierenden und auch Lehrkräften, welche in einer reduzierten Nutzung der Räumlichkeiten resultiert (Seminarraum, Besprechungsräume und z. T. Büros).

Einzige (kleine) Wärmequelle im untersuchten Gebäude ist der Übergabepunkt der Nahwärme (Wärmetauscher), der jedoch kaum zur Raumwärme beiträgt, da er an ein großes Treppenhaus grenzt.

Generell nicht in die Betrachtungen einbezogen wurden an beiden Standorten Wärmeauswirkungen, die durch den Stromverbrauch erfolgt sind (UCB: 15 MWh/a, HN: 74 MWh elektrische Energie/a)

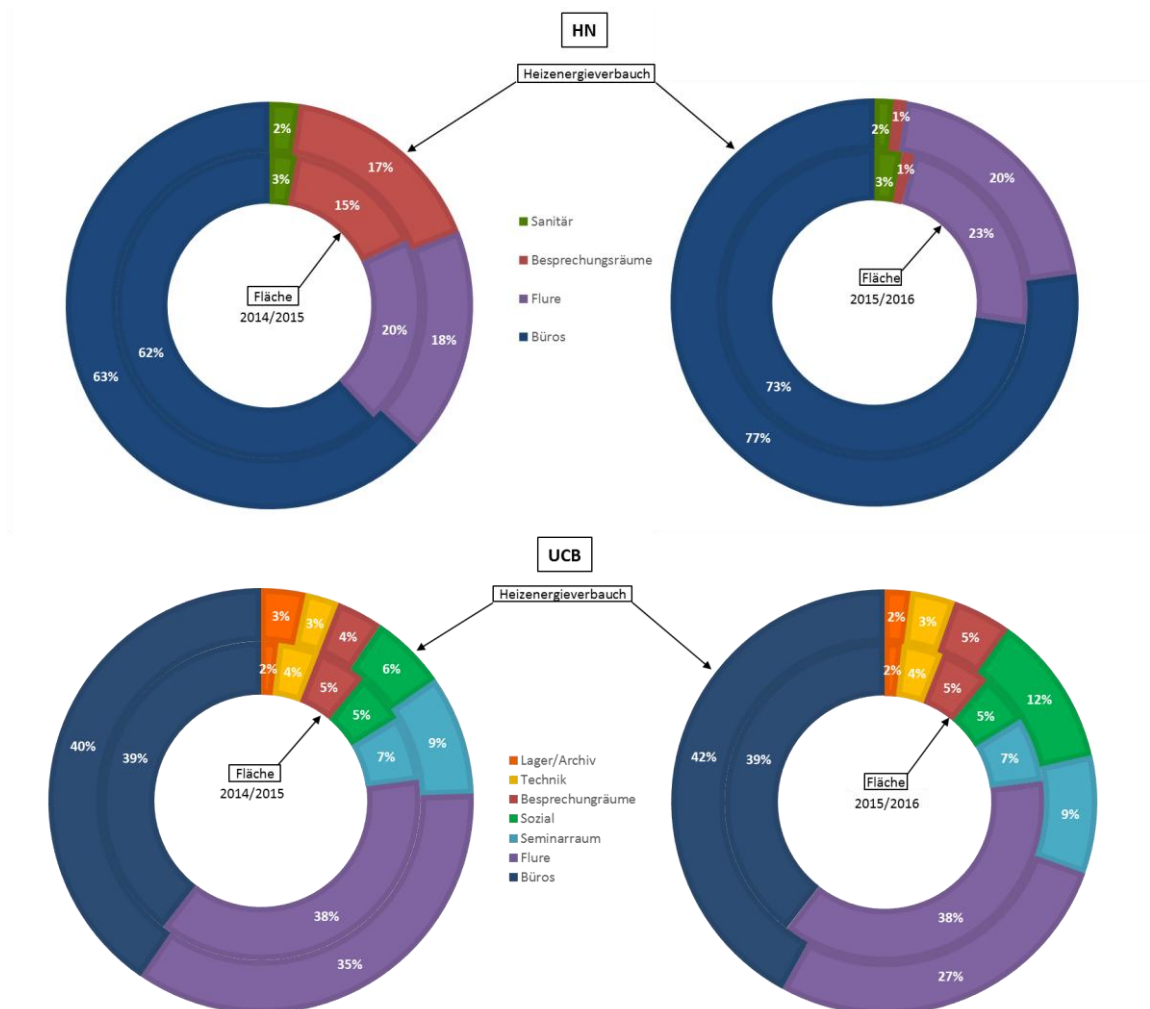


Abbildung 156: Verteilung der Heizenergie und der Fläche nach den Raumnutzungskategorien

Unterschiede im Energieverbrauch können vor allem durch die unterschiedlichen Außentemperaturen, die unterschiedliche Sonneneinstrahlung und die verschiedenen Verhaltensweisen beim Heizen, jedoch auch durch die unterschiedlichen Raumnutzungsarten, wie sie an beiden Standorten vorzufinden sind, auftreten. Der UCB verfügt, wie in Abbildung 156 veranschaulicht, über mehr heizenergetisch erfasste Raumnutzungskategorien im untersuchten Gebäude als die HN. Diese Räumlichkeiten sorgen zusätzlich für einen Unterschied in der Gesamtbetrachtung beider Standorte, da diese anders genutzt werden als die Räumlichkeiten an der HN. Demnach hat der UCB im Vergleich des untersuchten Referenzgebäudes zur HN einen zusätzlichen Energieverbrauch durch Räume, die im analysierten Gebäude der HN gar nicht vorhanden oder erfasst sind. Als Beispiel lassen sich hier Seminarräume, Technikräume, Lager und Archive nennen. Die Sozialräume des UCB entsprechen in ihrer Nutzung in etwa den Sanitärräumen der HN mit dem Unterschied, dass vorhandene Küchen am UCB häufiger und zusätzlich als Gemeinschaftsräume genutzt werden. Entsprechend wird der Energieverbrauch dieser Räumlichkeiten zusätzlich in den Energieverbrauch des untersuchten Referenzgebäudes eingerechnet.

Die in Abbildung 156 dargestellte Flächen- und Heizenergieverteilung beider untersuchten Gebäude der Hochschulen zeigt weitere Unterschiede. So ist zu vermerken, dass die Bürofläche und somit der Heizenergieanteil der Büros an der HN mit 62 % / 63 % in der ersten und 73 % / 77 % in der zweiten Heizperiode deutlich höher ist als der der Büros an der UCB mit 39 % / 40 % und 39 % / 42 % in der ersten und zweiten Heizperiode. In beiden untersuchten Hochschulgebäuden ist der Anteil des Energieverbrauchs der Büros etwas höher als der Anteil der Fläche. Begründet ist dies durch die dauerhafte Nutzung der Räumlichkeiten, welche dadurch kontinuierlich auf die gewünschte Raumtemperatur geheizt werden.

Umgekehrt ist es bei der Verteilung der Fläche und des Energieverbrauchs in den Fluren. Diese nehmen an der HN in der ersten Messperiode 20 % (23 % in der zweiten Messperiode) der Gesamtfläche des untersuchten Gebäudes ein und verbrauchen zur Beheizung dieser Fläche 18 % (20 % in der zweiten Messperiode) der Energie. Am UCB sind der Flächen- und somit auch der Heizenergieverbrauchsanteil der Flure mit 38 % / 35 % in der ersten Messperiode und 38 % / 27 % in der zweiten Messperiode deutlich höher. Entsprechend der kurzzeitigeren Nutzung der Flure werden diese auf eine geringere Raumtemperatur beheizt und haben somit an beiden untersuchten Gebäuden erwartungsgemäß einen niedrigeren Anteil am Heizenergieverbrauch als an der Fläche.

Die Sozialräume/Sanitarräume des UCB mit 5 % und der HN mit 3 % haben in beiden Messperioden einen ähnlichen Flächenanteil an den untersuchten Referenzgebäuden. Allerdings unterscheiden sich die Energieverbrauchsanteile hier durch die bereits beschriebene unterschiedliche Nutzung der Räumlichkeiten deutlich. Die Sozialräume am UCB haben einen Energieverbrauchsanteil von 6 % in der ersten Messperiode und 12 % in der zweiten Messperiode und liegen damit deutlich über dem stetigen Verbrauchsanteil der Sanitarräume der HN von 2 % in beiden Messperioden. Ebenfalls durch die häufigere und langfristige Nutzung der Sozialräume am UCB begründbar ist der Energieverbrauchsanteil der Sozialräume des untersuchten Gebäudes höher als der Flächenanteil. An der HN werden die Räumlichkeiten der Sanitarräume wie bereits beschrieben weniger intensiv genutzt und haben dementsprechend einen geringeren Anteil an der im untersuchten Gebäude eingesetzten Heizenergie als an der Gesamtfläche des Gebäudes. In der ersten Messperiode ist in Abbildung 156 ebenfalls zu erkennen, dass die Besprechungsräume mit 15 % Flächenanteil und 17 % Heizenergieverbrauchsanteil deutlich mehr Fläche, aber auch einen höheren Energieverbrauchsanteil als die Besprechungsräume am UCB mit 5 % Flächenanteil und 4 % Verbrauchsanteil haben. In der zweiten Messperiode ist es umgekehrt. Hier haben Flächen- und Verbrauchsanteil mit jeweils 1 % am untersuchten Gebäude der HN stark reduzierte und niedrigere Anteile als am UCB mit jeweils 5 %.

Weitere Details zur Entwicklung der Flächen- und Heizenergieverbrauchsanteile an beiden untersuchten Gebäuden der HN und des UCB sind in den Abschnitten 4.3.3.5 und 6.3.2.3.5 beschrieben.

7.1.1.1.2 Verbrauchsunterschiede

Um Heizenergieverbrauchswerte zweier Gebäude an unterschiedlichen Standorten miteinander vergleichen zu können, kann eine Bereinigung des erfassten Energieverbrauchs nach VDI 3807 Blatt 1 durchgeführt werden. Die Bereinigung über Gradtage sollte nach VDI 3807 jedoch nur erfolgen, wenn der betrachtete Zeitraum einem Jahr entspricht. Eine Hochrechnung zur Ermittlung des Verbrauchskennwertes eines Jahres sollte lediglich durchgeführt werden, wenn der betrachtete Zeitraum mindestens 400 Gradtage hatte, führt jedoch unter Umständen trotzdem zu einem unzureichenden Ergebnis. Da nicht das ganze Jahr, sondern nur sechs Monate des Heizenergieverbrauchs betrachtet werden können, ist die Korrektur über Gradtagszahlen für die untersuchten Gebäude nicht zielführend. Um dennoch eine Einordnung der Energieverbräuche zu ermöglichen, wird der monatliche Wärmeenergieverbrauch beider Hochschulen mit der jeweiligen mittleren monatlichen Außentemperatur verglichen.

Weiterhin ist zu beachten, dass unterschiedliche Gebäude unterschiedliche Bausubstanzen haben, welche den Energiebedarf stark beeinflussen. Zusätzlich können Randbedingungen wie der Bedeckungsgrad und die Sonneneinstrahlung betrachtet werden. Aufgrund unterschiedlicher Ausrichtungen der Fenster der untersuchten Gebäude und fehlenden Informationen zur Sonneneinstrahlung in den betrachteten Zeiträumen, wurden diese Faktoren im Energievergleich der Standorte nicht berücksichtigt. Ebenfalls sollte sichergestellt sein, dass während der Untersuchungen keine räumlichen Änderungen vorgenommen werden, wie es an der HN der Fall gewesen ist, da dies den direkten Vergleich zusätzlich erschwert.

Zur weiteren Analyse des Heizverhaltens der Hochschulen gibt die Auftragung der über jeden Monat gemittelten täglichen Energieverbräuche über die monatlich gemittelten Außentemperaturen in Abbildung 157 Aufschluss. Diese Abbildung zeigt die mittleren Außentemperaturen aufgetragen über den Energieverbrauch der Standorte. Deutlich erkennbar sind die höher liegenden Regressionsgeraden der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche des UCB. Ebenfalls auffällig ist das stets größere Gefälle der Geraden am UCB.

Bei Betrachtung der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche an beiden Hochschulen in Abbildung 157 fällt auf, dass diese in den verglichenen Heizperioden nahezu identisch sind. Deutlich ist auch, dass der Mehrverbrauch des UCB nicht nur durch die niedrigeren Temperaturen zustande kam. Mit einem aus dieser Analyse errechneten mittleren Monatsverbrauch von ca. 16,7 kWh/m² bei 0 °C mittlerer Monatsaußentemperatur verbraucht der UCB ca. 31 % mehr Wärmeenergie als die HN, mit einem errechneten mittleren Monatsverbrauch von ca. 12,8 kWh/m² bei 0 °C mittlerer Monatsaußentemperatur. Der errechnete Mehrverbrauch des UCB von 31 % gegenüber der HN bei 0 °C bekräftigt die Annahme des Energiemehrverbrauchs des UCB nach Temperaturbereichen (siehe auch spätere Erläuterungen). In lässt sich deutlich erkennen, dass der Heizenergieverbrauch bei steigendem Transmissionsgrad (tiefere Außentemperaturen) am UCB deutlich höher ist. Die Begründung

dafür liegt im Wesentlichen in der oben beschriebenen Bausubstanz und der Lage des Referenzgebäudes. Zwar wird der Wärmeverbrauch am UCB aufwändiger geregelt, trotzdem liegt der Grundwärmebedarf hier deutlich höher als bei der HN.

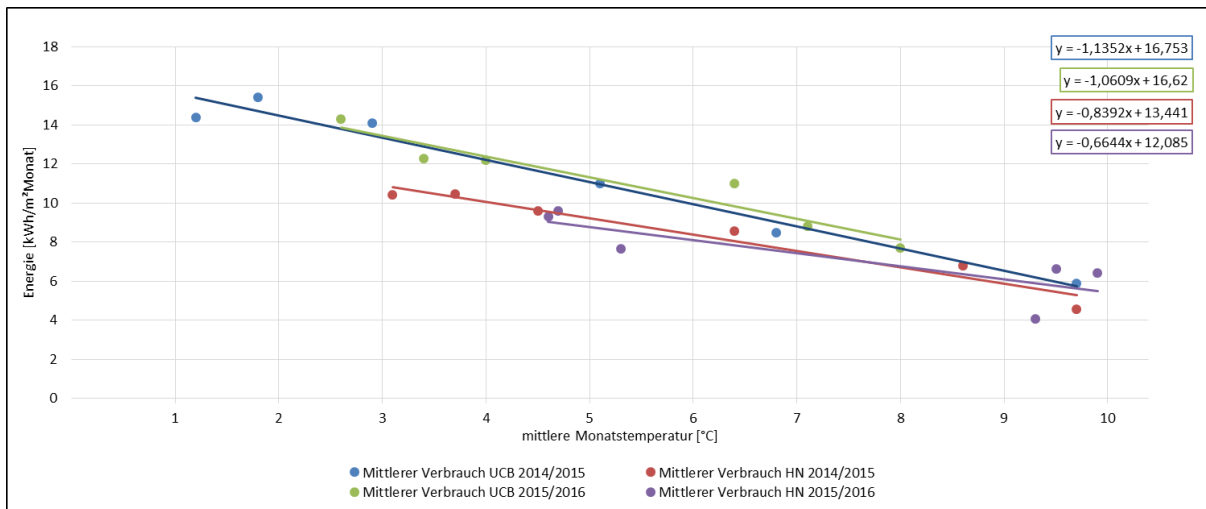


Abbildung 157: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der Referenzgebäude beider Hochschulen

Für den folgenden Vergleich sind die Wärmebedarfe der Gebäude an Heizsträngen mittels Wärmemengenzähler gemessen worden. Die weiteren, nach Raumtypen aufgeschlüsselten Vergleiche basieren auf der Wärmestromaufteilung mittels Heizkostenverteilern (HKV), die an den Heizkörpern der untersuchten Räume angebracht waren.

Gerade bei Auswertungen anhand von HKV-Daten bestehen allerdings Restunsicherheiten. Ein möglichst stabiles Verhältnis von HKV-Einheiten zu gemessenen kWh Wärme über die Heizperiode lässt dabei auf eine genaue Messung des Heizkreises schließen. Details zu den Berechnungen der Wärmeaufteilung siehe Abschnitte 4.3.3 Aufbereitung der Daten vor der Auswertung (UCB) und 6.3.2 Arbeitspaket 5 (HN).

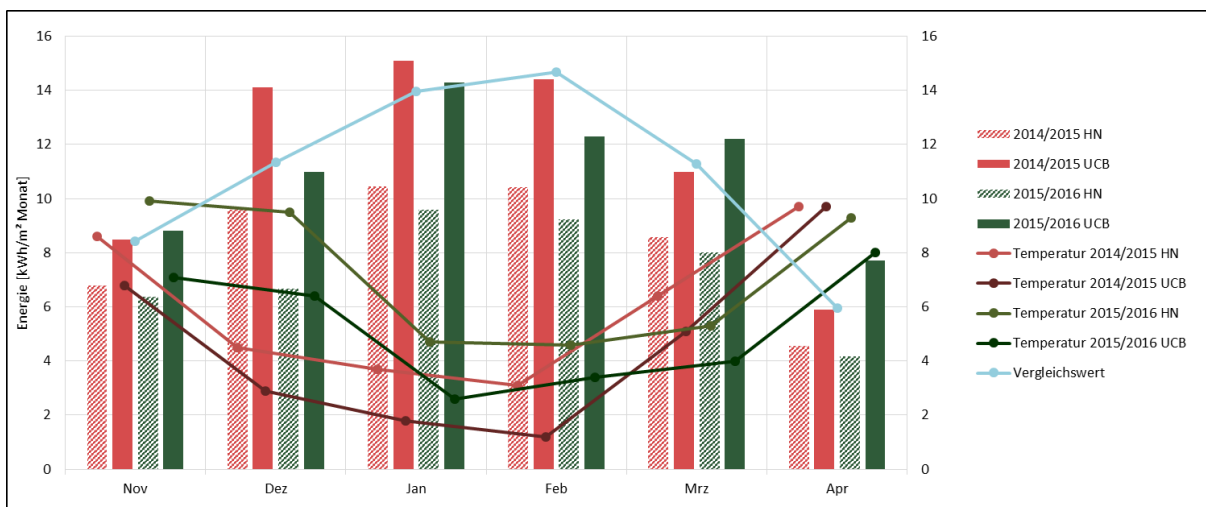


Abbildung 158: Vergleich der Heizenergieverbräuche der Referenzgebäude beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur und dem offiziellen Vergleichswert

Abbildung 158 zeigt den Verlauf des monatlichen spezifischen Heizenergieverbrauchs beider Referenzgebäude der Hochschulen (UCB in vollen Farben, HN schraffiert) in den erfassten Heizperioden 2014/2015 und 2015/2016 im Vergleich zu den monatlichen mittleren Außentemperaturen (dargestellt über Temperaturkurven). Ebenfalls dargestellt ist der monatliche Vergleichswert (in Abbildung 158 blau dargestellt) von jährlich 80 kWh/m²a nach (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorrecht, 07. April 2015). Die Vergleichskurve für die einzelnen Monate wurde über die ermittelten monatlichen prozentualen Verbrauchsanteile der untersuchten Gebäude beider Hochschulen im Jahr 2015 errechnet. Zu erkennen ist, dass dieser vom Referenzgebäude am UCB im November, Dezember und Januar der ersten Heizperiode und im Januar, März und April der zweiten Heizperiode überschritten wird und demnach durchschnittlich einen Heizenergieverbrauch über dem allgemeinen Vergleichswert hat. Die HN liegt in ihrem Heizenergieverbrauch stetig unter dem in (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorrecht, 07. April 2015) aufgeführten Vergleichskennwert für Verwaltungsgebäude.

Auffällig ist der Mehrverbrauch des UCB in allen Monaten und Messperioden. Ebenfalls zu erkennen ist jedoch, dass die Temperaturen in Birkenfeld durchgehend niedriger waren als in Krefeld, wodurch der Mehrverbrauch des UCB zumindest teilweise erklärt werden kann. Besonders zu bemerken ist der Mehrverbrauch des untersuchten Referenzgebäudes am UCB im April 2015, da dort an beiden Standorten die gleiche mittlere Außentemperatur von 9,7 °C geherrscht hat. Dieser ist daher vermutlich durch Unterschiede in der Bausubstanz (s. hierzu Abschnitt 7.1 des Vergleichs der Referenzgebäude) zu erklären, da beispielsweise am UCB eine Wärmedämmung von 50 mm vorhanden ist, diese an der HN jedoch dünner zu sein scheint (siehe hierzu auch obige Ausführungen).

7.1.1.1.3 Diskussion

Zur genaueren Untersuchung werden in Tabelle 112 die Außentemperaturen der zu vergleichenden Zeiträume an beiden Hochschulen sowie die Relation des Mehrverbrauchs des UCB aufgrund der niedrigeren Temperatur in Birkenfeld gegenübergestellt. Es wird in einen höheren Temperaturbereich ab 7 °C (in rot dargestellt), einen mittleren Temperaturbereich zwischen 4 °C und 7 °C (in orange dargestellt) und einen niedrigeren Temperaturbereich unter 4 °C (in gelb dargestellt) unterschieden. Temperaturen +/-0,3 °C um die gewählten Temperaturintervallgrenzen werden gegebenenfalls dem höheren Temperaturbereich zugeordnet und in einer etwas helleren Farbnuance als dieser dargestellt.

Tabelle 112: Vergleich der Heizenergieverbräuche der Referenzgebäude beider Hochschulen mit den prozentualen Verbrauchsdifferenzen vom UCB zur HN innerhalb der gewählten Temperaturintervalle

		Temperatur Krefeld [°C]	Temperatur Birkenfeld [°C]	Temperatur- differenz Krefeld- Birkenfeld [°C]	Ver- brauchs- differenz Krefeld- Birkenfeld [%]	Ver- brauchs- differenz [%/ °C]
2014/ 2015	Nov 14	8,6	6,8	1,8	25 %	14 %
	Dez 14	4,5	2,9	1,6	47 %	29 %
	Jan 15	3,7	1,8	1,9	44 %	23 %
	Feb 15	3,1	1,2	1,9	38 %	20 %
	Mrz 15	6,4	5,1	1,3	28 %	22 %
	Apr 15	9,7	9,7	0	29 %	-
2015/ 2016	Nov 15	9,9	7,1	2,8	38 %	14 %
	Dez 15	9,5	6,4	3,1	65 %	21 %
	Jan 16	4,7	2,6	2,1	49 %	23 %
	Feb 16	4,6	3,4	1,2	33 %	28 %
	Mrz 16	5,3	4	1,3	52 %	40 %
	Apr 16	9,3	8	1,3	85 %	65 %

Bereits in Abbildung 158 ist ein deutlich höherer Wärmeenergieverbrauch des untersuchten UCB-Gebäudes in beiden Messperioden zu erkennen. Eine Begründung ist die Differenz der mittleren Außentemperatur der beiden Standorte, da in Birkenfeld, mit Ausnahme des Monats April im Jahr 2015, generell eine niedrigere monatliche Außentemperatur gemessen wurde. Im genaueren Vergleich der unterschiedlichen mittleren Außentemperaturen mit dem entsprechenden Energieverbrauch des UCB in Tabelle 112 wurde festgestellt, dass der Mehrverbrauch in Birkenfeld in Relation zur niedrigeren Außentemperatur innerhalb der festgelegten Intervalle zwischen 14 %/ °C und 65 %/ °C schwankt. Diese Schwankung ist zum einen damit zu begründen, dass die Heizkurven der außentemperaturabhängigen Energiebereitstellung der Wärmeversorgungsanlagen der Hochschulen unterschiedlich gesteuert sind. Da durch vorangegangene Analysen (siehe Abschnitt 6.3.2 Arbeitspaket 5) bereits festzustellen war, dass der Energieverbrauch in der HN nicht proportional zur Außentemperatur ist, ist ein Vergleich der beiden Hochschulen schwierig. Die auftretenden Schwankungen in der Verbrauchsdifferenz der Hochschulen sind daher vermutlich teilweise von der Heizungssteuerung und dem individuellen Heizverhalten der Mitarbeiter und der Studierenden beider Hochschulen abhängig.

In der folgenden Analyse kann dennoch ein Trend bezüglich der in Tabelle 112 dargestellten Temperaturbereiche festgestellt werden.

Im Bereich der höheren Temperaturen (ab ca. 7 °C, in Tabelle 112 rot dargestellt) kann im November 2014 (8,6 °C in Krefeld, 6,8 °C in Birkenfeld) ein gleicher Mehrverbrauch des UCB wie im November 2015 (9,9 °C in Krefeld, 7,1 °C in Birkenfeld)

von 14 % pro niedrigerem Grad in Birkenfeld festgestellt werden. Im April 2015 jedoch ist bei gleicher mittlerer Monatstemperatur in Birkenfeld und in Krefeld ein Mehrverbrauch des untersuchten Gebäudes des UCB von 29 % erfasst. Dies deutet auf den Einfluss schlechterer Wärmedämmung und auf eine unterschiedliche hochschulspezifische Heizungssteuerung (sowohl individuell als auch systemabhängig) hin.

Ebenso fällt bei einer gemittelten Temperaturdifferenz der beiden Standorte von ca. 2 °C im Bereich des mittleren und kälteren Temperaturbereichs zwischen Dezember 2014 und März 2015 sowie zwischen Dezember 2015 und Februar 2016 ein stetiger Mehrverbrauch des UCB von 20 % bis 29 % pro niedrigerem Grad in Birkenfeld auf. Dieser ist deutlich höher als der im Bereich höherer Außentemperaturen, wodurch angenommen werden kann, dass der UCB mit sinkender Temperatur mehr Energie verbraucht als die HN. Dies ist bereits durch die Darstellung der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche in Abbildung 157 zu erkennen, da die Regressionsgeraden des außentemperaturabhängigen Energieverbrauchs des untersuchten Gebäudes des UCB steiler verlaufen als die des untersuchten Gebäudes der HN.

Auffällig ist der Mehrverbrauch des UCB von 40 % pro Grad Temperaturunterschied und 65 % pro Grad Unterschied des UCB zur HN im März/April 2016. Eine mögliche Erklärung für diesen Umstand kann nicht gegeben werden.

Aufgrund der Einteilung in die drei Temperaturintervalle kann ein Trend bezüglich des Mehrverbrauchs erkannt werden. Im gewählten Temperaturbereich größer 7 °C liegt der Mehrverbrauch des Referenzgebäudes des UCB im Mittel bei 14 %, in den Temperaturbereichen kleiner 7 °C im Mittel bei rund 24 % pro Grad Unterschied. Dies kann sowohl mit dem bereits erläuterten höheren Transmissionswärmeverlust bei niedrigeren Temperaturen und dem somit höheren Energiebedarf zusammenhängen, als auch mit dem Heizerhalten der einzelnen Nutzer. Häufig werden Heizkörperthermostate bzw. Einzelraumregler individuell auf höhere Temperaturen eingestellt, damit die gewünschte Raumtemperatur „schneller“ erreicht wird, was den Energieverbrauch erhöht.

Dadurch, dass der Mehrverbrauch des untersuchten Gebäudes des UCB gegenüber des Gebäudes der HN innerhalb dieser Temperaturbereiche jedoch stetig ist, kann von einem ähnlichen Heizverhalten ausgegangen werden.

7.1.1.2 Büros

Abbildung 159 zeigt den monatlichen Verlauf des Heizenergieverbrauchs der untersuchten Büros beider Hochschulen (UCB in vollen Farben, HN schraffiert) in den erfassten Heizperioden 2014/2015 und 2015/2016 im Vergleich zu den monatlichen mittleren Außentemperaturen (dargestellt über Temperaturkurven). Auffällig ist der Mehrverbrauch des UCB in allen Monaten und Messperioden. Ebenfalls zu erkennen ist jedoch, dass die Temperaturen in Birkenfeld dagegen durchgehend niedriger waren als in Krefeld. Das könnte den Mehrverbrauch des UCB zumindest teilweise erklären (siehe auch Erläuterungen zum Vergleich der Gebäude weiter oben). Auch bei der Betrachtung der Büroräume ist besonders der Mehrverbrauch der betrachteten

Büroräume des UCB im April 2015 bei gleicher mittlerer Außentemperatur wie in Krefeld deutlich. Auffällig ist vor allem der deutlich höhere Verbrauch des UCB in beiden Messperioden im Januar sowie im März 2016.

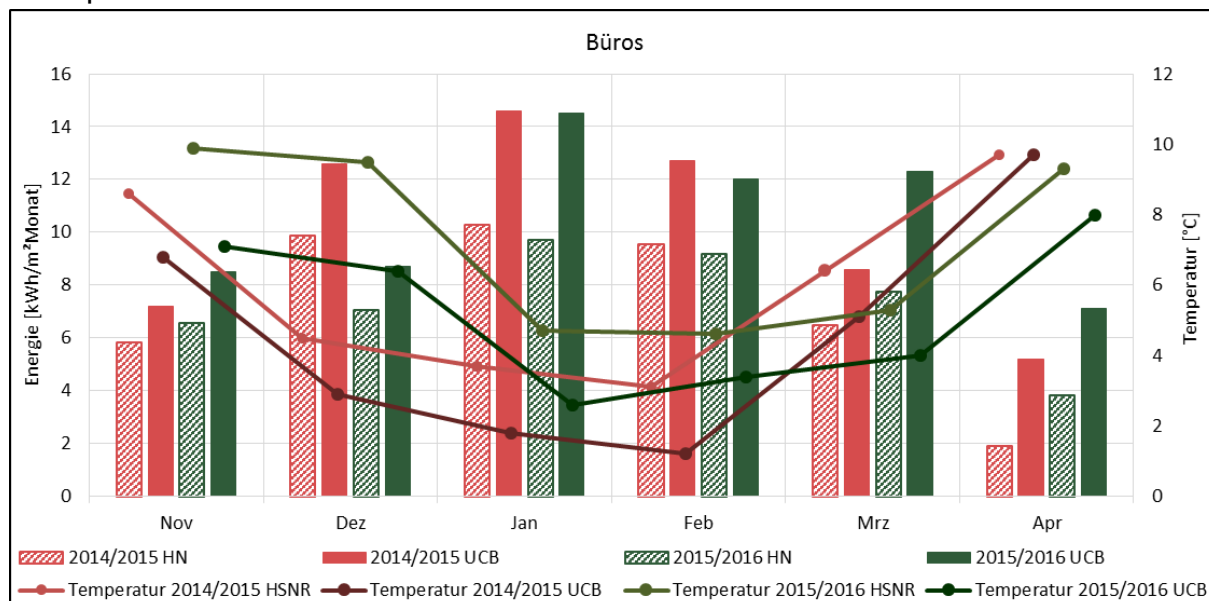


Abbildung 159: Vergleich der Heizenergieverbräuche der untersuchten Büros beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur

7.1.1.2.1 Diskussion

Zur genaueren Untersuchung werden in Tabelle 113 die Außentemperaturen der zu vergleichenden Zeiträume an beiden Hochschulen sowie die Relation des Mehrverbrauchs des UCB pro niedrigerem Grad in Birkenfeld aufgezeigt. Bezüglich der Erläuterung zu den Temperaturbereichen wird auf Tabelle 112 verwiesen.

Auffällig ist der relativ konstante Mehrverbrauch der Büros des UCB um die 20 %. Ebenfalls auffällig ist der Mehrverbrauch von 45 %/ °C im März 2016, von 66 %/ °C im April 2016 sowie der geringere Mehrverbrauch der Büros des UCB im Vergleich zum Energieverbrauch in Krefeld von 13 % im November 2014, von 10 % im November 2015 und von 8 % im Dezember 2015.

Tabelle 113: Vergleich der Heizenergieverbräuche der Büros beider Hochschulen mit den Verbrauchsdifferenzen vom UCB zur HN pro Temperaturunterschied

		Temperatur Krefeld [°C]	Temperatur Birkenfeld [°C]	Temperaturdifferenz Krefeld-Birkenfeld [°C]	Verbrauchsdifferenz Krefeld-Birkenfeld [%]	Verbrauchsdifferenz [%/ °C]
2014/2015	Nov 14	8,6	6,8	1,8	23 %	13 %
	Dez 14	4,5	2,9	1,6	28 %	17 %
	Jan 15	3,7	1,8	1,9	42 %	22 %
	Feb 15	3,1	1,2	1,9	33 %	18 %
	Mrz 15	6,4	5,1	1,3	33 %	25 %
	Apr 15	9,7	9,7	0	171 %	-

		Tempera- tur Krefeld [°C]	Tempera- tur Birkenfeld [°C]	Tempera- turdifferenz Krefeld- Birkenfeld [°C]	Ver- brauchs- differenz Krefeld- Birkenfeld [%]	Ver- brauchs- differenz [%/ °C]
2015/ 2016	Nov 15	9,9	7,1	2,8	29 %	10 %
	Dez 15	9,5	6,4	3,1	23 %	8 %
	Jan 16	4,7	2,6	2,1	49 %	23 %
	Feb 16	4,6	3,4	1,2	31 %	26 %
	Mrz 16	5,3	4	1,3	59 %	45 %
	Apr 16	9,3	8	1,3	86 %	66 %

Auch im Vergleich der Büros beider Hochschulen in Abbildung 159 fällt der Mehrverbrauch des UCB in beiden Messperioden auf. In Tabelle 113 direkt mit den Außentemperaturen verglichen, wird deutlich, dass der Mehrverbrauch relativ stetig ist und der Heizenergieverbrauch der Büros demnach ähnlich verläuft wie derjenige der Büros in Krefeld. Der Mehrverbrauch von rund 20 % ist demnach entweder auf höhere Innentemperaturen oder auf mangelnde Wärmedämmung am UCB zurückzuführen. Unterschiede ergeben sich jedoch in höheren Temperaturbereichen (in Tabelle 113 rot dargestellt). In diesem Temperaturintervall ist ein Mehrverbrauch des UCB in Relation zur niedrigeren Außentemperatur als in Krefeld von lediglich rund 10 % pro niedrigerem Grad in Birkenfeld festzustellen. Hier scheint der UCB deutlich effizienter zu heizen.

Dies bedeutet, dass durch bessere Heizungskontrolle die Verbräuche gerade in dem höheren Temperaturbereich enorm gesenkt werden können. Beispielsweise wird im Dezember 2015 nur ein Mehrverbrauch des UCB pro Gradunterschied innerhalb der Temperaturintervalle zur HN von 8 % festgestellt. Durch die höheren Außentemperaturen in Krefeld im November 2015 (9,9 °C) und Dezember 2015 (9,5 °C), ist durch die vorangegangene Analyse in Abschnitt 6.3.2 Arbeitspaket 5 nicht von einer Änderung der Heizungseinstellung auszugehen. Generell konnte in der zweiten Heizperiode in Krefeld ein Mehrverbrauch der Büros im Gegensatz zur ersten Messperiode festgestellt werden. Unter der Voraussetzung, dass der Einfluss der Nutzer und auch die Regelung der Heizung des untersuchten Gebäudes am UCB in der zweiten Messperiode gleichbleibend oder verbessert ist, wird der Unterschied des Heizenergieverbrauchs am Gebäude der HN im Vergleich zu dem Gebäude des UCB geringer, wodurch der Mehrverbrauch des UCB ebenfalls verringert wird.

Auffällig bleibt der Mehrverbrauch des UCB pro Grad Unterschied zur HN von 45 % im März 2016 und 66 % im April 2016. Die Verbrauchswerte in diesem Monat waren bereits bei der Betrachtung des Gesamtenergieverbrauchs des Referenzgebäudes auffällig und wären in Folge an dieses Projekt von beiden Hochschulen genauer zu analysieren, da keine Begründung aufgrund der Außentemperaturen gegeben ist.

Aufgrund der Einteilung in die drei Temperaturintervalle kann demnach ein Trend bezüglich des Mehrverbrauchs erkannt werden. Im gewählten Temperaturbereich

größer 7 °C liegt der Mehrverbrauch im Mittel bei rund 10 % (April 2016 wird in dieser Mittelung nicht beachtet), in den Temperaturbereichen zwischen 4 °C und 7 °C und kleiner 4 °C im Mittel bei rund 22 %.

Zur weiteren Analyse des Heizverhaltens der Hochschulen soll die Auftragung der über jeden Monat gemittelten täglichen Energieverbräuche über die monatlich gemittelten Außentemperaturen in Abbildung 160 Aufschluss geben. Diese Abbildung zeigt die mittleren Außentemperaturen der Standorte aufgetragen über den Energieverbrauch bei dieser Temperatur. Auffällig sind die leicht steileren und etwas höher liegenden Geraden am UCB (hier in blau und grün dargestellt). Ebenfalls auffällig ist die deutlich flachere Gerade der Büroräume an der HN in der zweiten Heizperiode (hier in violett dargestellt). Der aus dieser Analyse errechnete Monatsverbrauch bei 0 °C des UCB liegt bei etwa 16,1 kWh/m², der HN bei etwa 13,0 kWh/m², was erneut auf einen höheren Grundverbrauch der Büros des UCB hindeutet. Der aus dieser Analyse errechnete Mehrverbrauch des UCB von 24 % gegenüber der HN bei 0 °C bekräftigt die Annahme des Energiemehrverbrauchs des UCB durch höheren Transmissionswärmeverlust. Zwar wurde in den Temperaturbereichen zwischen 7 °C und 4 °C und unter 4 °C ein Mehrverbrauch des UCB von rund 21 % pro Gradunterschied zur HN festgestellt, jedoch kann auch hier der Einfluss des höheren Transmissionswärmeverlustes angenommen werden, welche einen höheren Energieverbrauch begründen.

Der Vergleich der Regressionsgeraden der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche für die beiden Heizperioden zeigt generell eine ähnliche Steigung, was auf ein ähnliches Heizverhalten hindeutet. Es zeigt sich jedoch, dass der Heizenergieverbrauch der HN bei niedrigeren Temperaturen zwar geringer, bei höheren Außentemperaturen jedoch höher ist als beim UCB. Dies wird veranschaulicht durch die geringere Steigung der Regressionsgeraden der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der Büros der HN in Abbildung 160.

Aufgrund des Nutzerverhaltens können sich hierbei zudem höhere Energieverbräuche einstellen. Das Nutzerverhalten wurde in Fragebögen an beiden Hochschulstandorten erhoben. Die Einflüsse der Nutzer und der Belegung konnten im REGENA-Projekt jedoch an beiden Standorten aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht in allen Details untersucht werden, weshalb eine abschließende Analyse dieser Effekte nicht unternommen wurde.

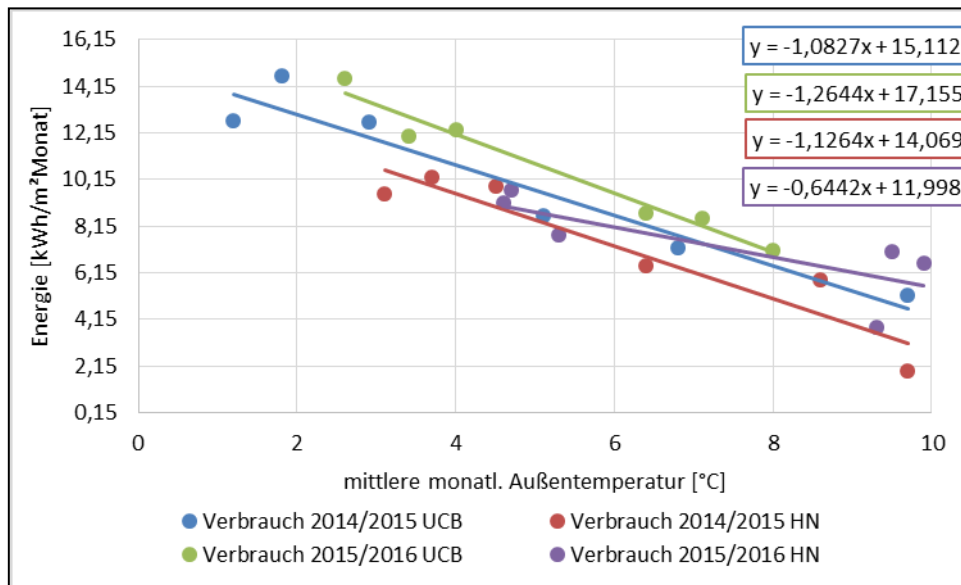


Abbildung 160: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Büros beider Hochschulen

7.1.1.3 Besprechungsräume

Abbildung 161 zeigt den monatlichen Verlauf des Heizenergieverbrauchs der untersuchten Besprechungsräume beider Hochschulen (UCB in vollen Farben, HN schraffiert) in den erfassten Heizperioden 2014/2015 und 2015/2016 im Vergleich zu den monatlichen mittleren Außentemperaturen (dargestellt über Temperaturkurven). Auffällig ist, dass kein klarer Mehrverbraucher unter den Hochschulen auszumachen ist. So ist die HN im November beider Messperioden und im Februar und März der ersten Messperiode deutlicher Mehrverbraucher, in den übrigen Monaten jedoch verbraucht der UCB spezifisch deutlich mehr Wärmeenergie in den Besprechungsräumen als die HN. Am deutlichsten ist dieser im Januar 2016 im Gegensatz zum Energieverbrauch der Besprechungsräume an der HN. Da im Dezember 2015 gar kein Heizenergieverbrauch der Besprechungsräume in Krefeld erfasst wurde, liegt allerdings die Vermutung nahe, dass hier Messfehler oder Montagefehler der HKV vorlagen, die zudem evtl. im Januar 2016 noch nicht vollständig behoben waren.

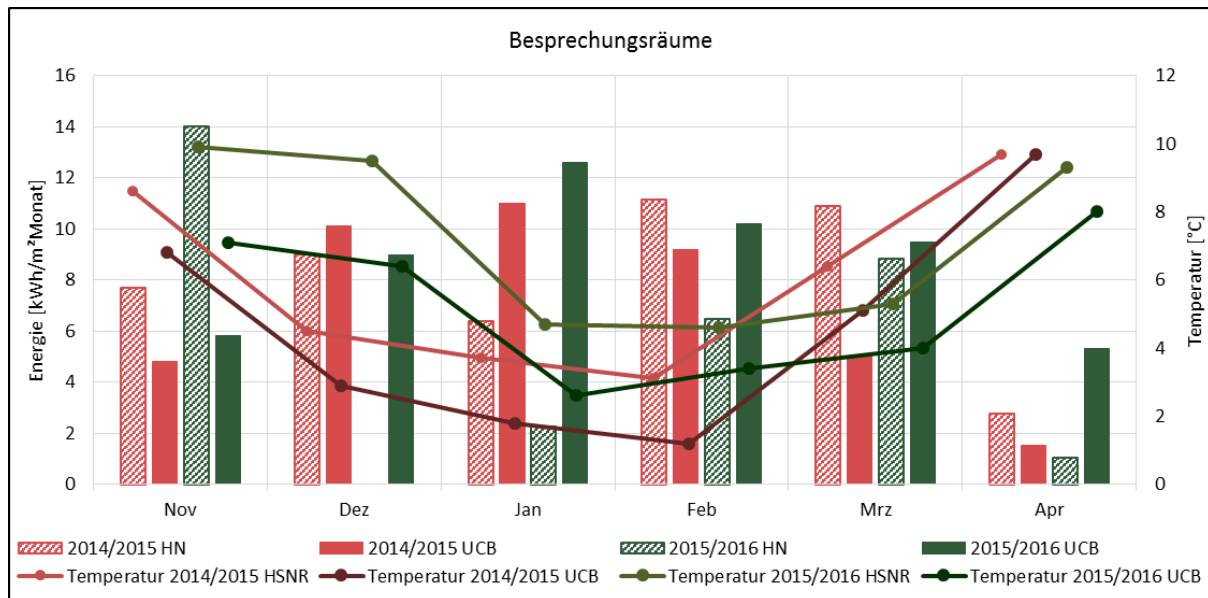


Abbildung 161: Vergleich der Heizenergieverbräuche der untersuchten Besprechungsräume beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur

7.1.1.3.1 Diskussion

Auffällig ist, dass die Energieverbräuche der Besprechungsräume am UCB in den Messperioden 2014/2015 und 2015/2016 zum Januar hin ansteigen und anschließend wieder abfallen. Ein solcher Trend ist bei den Energieverbräuchen der Besprechungsräume an der HN nicht zu erkennen.

Die Nutzung der Besprechungsräume ist verglichen mit der Nutzung der Büros deutlich unregelmäßiger. Daher ist deren Verbrauch auch nur unzureichend oder gar nicht vergleichbar. Hinzu kommt, dass in den verglichenen Messperioden eine erhebliche Nutzflächenänderung an der HN durch den Umbau des Besprechungsraums vermutlich nicht ohne Einfluss auf die Verbräuche ist. Abbildung 162 veranschaulicht die hohe Streuung des erfassten monatlichen Heizenergieverbrauchs über der mittleren monatlichen Außentemperatur. Die Bildung und Analyse von Regressionsgeraden ist aufgrund dieser Streuung nicht plausibel, und eine detailliertere Analyse bleibt daher aus.

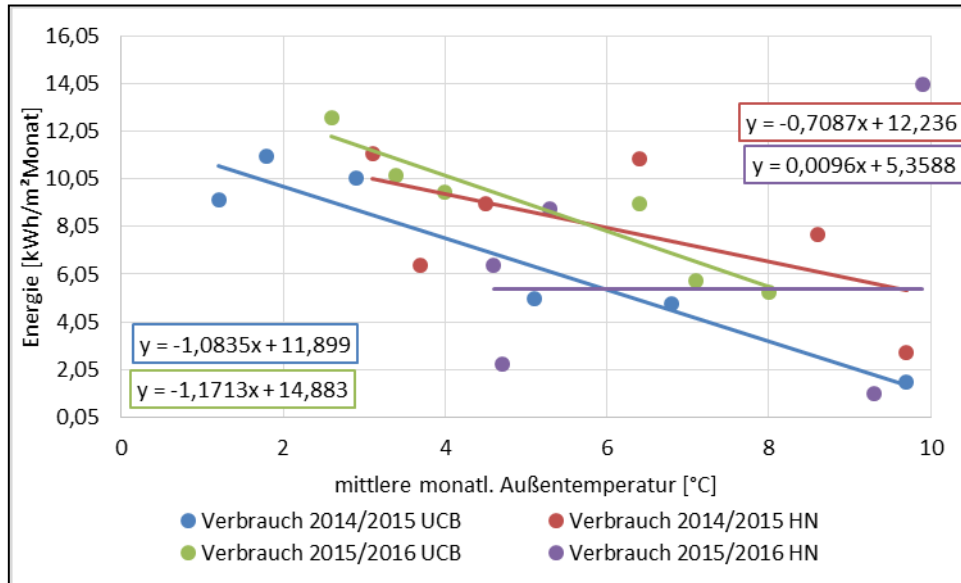


Abbildung 162: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Besprechungsräume beider Hochschulen

7.1.1.4 Flure

Abbildung 163 zeigt den monatlichen Verlauf des Heizenergieverbrauchs der untersuchten Flure beider Hochschulen (UCB in vollen Farben, HN schraffiert) in den erfassten Heizperioden 2014/2015 und 2015/2016 im Vergleich zu den monatlichen mittleren Außentemperaturen (dargestellt über Temperaturkurven). Auffällig ist der Mehrverbrauch des UCB in allen Monaten und Messperioden. Ebenfalls zu erkennen ist wie in den vorangegangenen Abbildungen, dass die Temperaturen in Birkenfeld dagegen durchgehend niedriger waren als in Krefeld. Das könnte den Mehrverbrauch des UCB zumindest teilweise erklären (siehe auch obige Erläuterungen zu Glasfasaden der Verbindungsflure bzw. Dämmung am UCB). Zu erkennen ist an beiden Hochschulen ein jahreszeitabhängiger Verlauf des Heizenergieverbrauchs der zu vergleichenden Heizperioden. Auffällig ist der deutlich verringerte Mehrverbrauch der Flure des untersuchten Gebäudes am UCB in Februar und März der zweiten Messperiode im Gegensatz zum höheren Mehrverbrauch zuvor und zum Heizenergieverbrauch der Flure des Referenzgebäudes der HN. Im April 2016 ist der Verbrauch an Wärmeenergie der untersuchten Flure am UCB sogar deutlich geringer als der in den untersuchten Fluren der HN. Dies könnte darauf zurück zu führen sein, dass im Februar 2016 verschiedene manuelle Heizkörperthermostate in den Fluren und im Treppenhaus am UCB durch programmierbare Heizkörperthermostate ersetzt wurden.

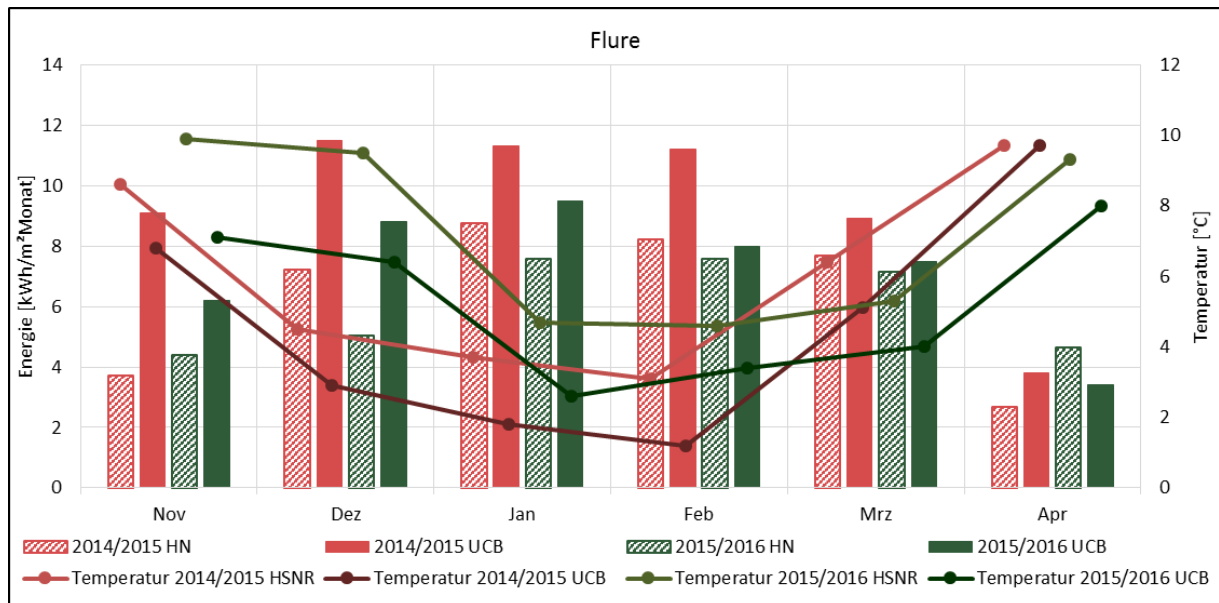


Abbildung 163: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Flure beider Hochschulen mit der mittleren Außentemperatur

7.1.1.4.1 Diskussion

Zur weiteren Analyse des Heizverhaltens der Hochschulen soll die Auftragung der über jeden Monat gemittelten täglichen Energieverbräuche über die monatlich gemittelten Außentemperaturen in Abbildung 164 Aufschluss geben. Diese Abbildung zeigt die mittleren Außentemperaturen der Standorte aufgetragen über den Energieverbrauch bei dieser Temperatur. Werden die Regressionsgeraden der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der erfassten Heizperioden betrachtet, fällt sehr deutlich auf, dass alle Heizgeraden eine ähnliche Steigung haben und erneut die Geraden des UCB höher liegen als die der HN.

Im Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der Flure ist ebenfalls ein ähnliches Heizverhalten zu erkennen, da die Steigungen der Kurven ähnlich sind. Auch auffällig ist, dass diese vergleichsweise flach sind, was auf ein längeres Heizen mit mehr Energieeinsatz hindeutet. Auch hier auffällig sind die unterschiedlichen mittleren monatlichen Verbräuche der Hochschulen bei 0 °C, welche beim UCB mit gemittelt 12,2 kWh/m² wenig höher sind als an der HN mit gemittelt 11,0 kWh/m². Trotz der Glasfassade im Verbindungsflur zum nächsten Gebäude am UCB scheint die Wärmedämmung bzw. der Grundverbrauch der untersuchten Flure beider Hochschulen durch einen Verbrauchsunterschied bei 0 °C am Achsenabschnitt von lediglich 11 % relativ ähnlich. Dies deutet auf Ähnlichkeiten in der generellen Nutzung und Heizungsführung der Flure sowie auf ähnliche Belüftung durch Nutzung der Außentüren oder der Führung der Treppenhäuser hin.

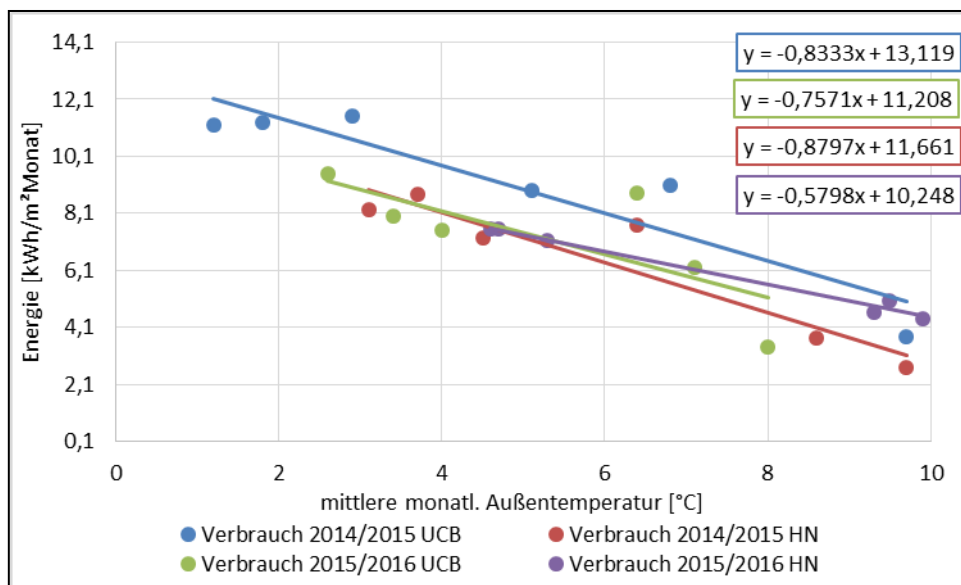


Abbildung 164: Vergleich der außentemperaturabhängigen Energieverbräuche der untersuchten Flure beider Hochschulen

7.1.2 Stromverbrauch

Wie im Vergleich zur Wärmeversorgung sind bei dem nachfolgenden Vergleich der Stromverbräuche an beiden Hochschulstandorten die Erhebungsmethoden den vorgefundenen technischen Gegebenheiten geschuldet.

So sind beispielsweise am UCB entsprechende elektrische Unterverteilungen nachträglich mit Zählern versehen worden. Diese Zählwerke erlauben eine genauere Bestimmung der Verwendung des elektrischen Stroms (EDV, Beleuchtung, Sonstiges). Im untersuchten Gebäude des UCB wurden für REGENA auf diese Weise die Büroräume (inkl. Besprechungsräume) und ein Seminarraum getrennt erfasst. Diese untersuchten Flächen entsprechen mit 637 m² ca. 47 % der Nettogesamtfläche, deren Strombedarf entspricht etwa 41 % des elektrischen Gesamtbedarfs des untersuchten Gebäudes am UCB (vgl. Tabelle 1).

In den untersuchten Hörsälen konnte lediglich die Summe des Verbrauchs der vorhandenen Steckdosen, Beleuchtung und Mediengeräten (Beamer, OH-Projektor und Videoanlage) je Raum gemessen werden.

Jedoch wurde zwecks Vergleichbarkeit für die folgende Auswertung der Verbrauch des kompletten untersuchten Referenzgebäudes abzüglich Heizungsverteilung herangezogen. Entsprechend wurde die zugrunde liegende Gesamtfläche angepasst. Eine Übersicht der Gesamtverbräuche ist im 4.1.1 zu finden.

An der HN war im Referenzgebäude lediglich die Untergliederung in einzelne Stromkreise (Haupt- und Netzersatzstromkreise) möglich, jedoch keine Untergliederung in Stromkreise mit definiertem Verwendungszweck. Die Hörsäle und der Vorlesungsraum verfügen jeweils über einen eigenen Stromkreis, welche ebenfalls der gesamten elektrischen Versorgung (Beleuchtung, Beamer, ...) zugeordnet werden können. Für nähere Informationen zu den Gegebenheiten der Stromverbrauchserfassung an der HN siehe Abschnitt 6.3.2.3 dieses Berichts.

7.1.2.1 Stromverbrauch des Referenzgebäudes

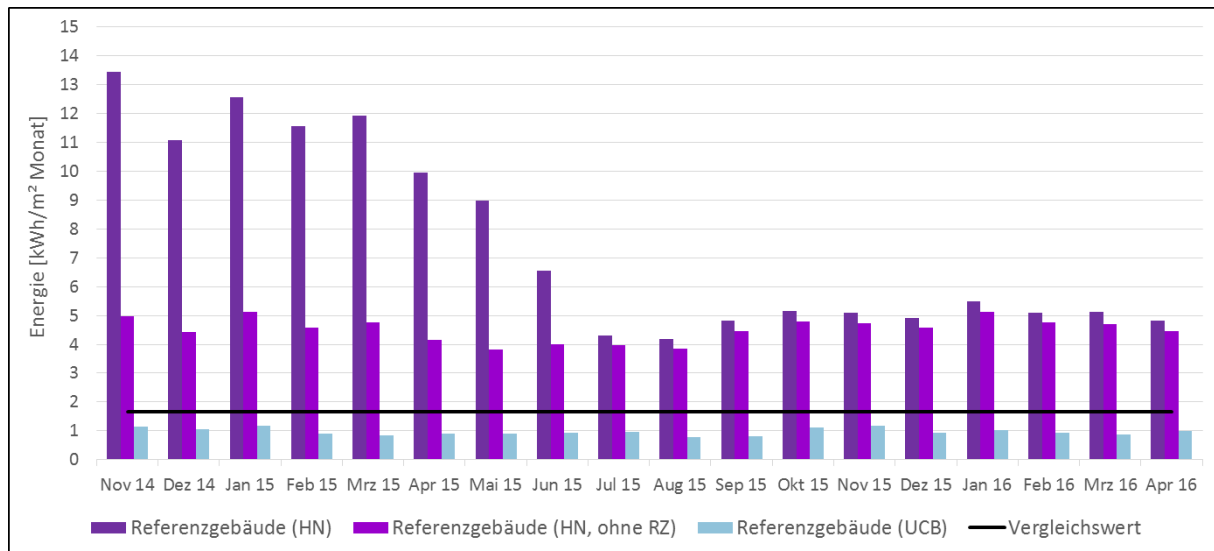


Abbildung 165: Vergleich der Stromverbräuche beider Hochschulen mit dem offiziellen Vergleichswert

Abbildung 165 zeigt den monatlichen flächenspezifischen Stromverbrauch beider Referenzgebäude und den *monatlichen* Vergleichswert (schwarz dargestellt) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 07. April 2015) welcher hier über 12 Monate gemittelt wurde ($20 \text{ kWh/m}^2\text{a} / 12 \text{ Monate/a} = 1,67 \text{ kWh/m}^2\text{Monat}$). Auffällig im Vergleich des Stromverbrauchs der Verwaltungsgebäude ist der deutliche Mehrverbrauch der HN. Der Verbrauch des Referenzgebäudes der HN mit Stromverbrauchserfassung des Rechenzentrums ist noch einmal deutlich höher, als der Verbrauch unter Ausschluss dieses Technikraumes.

7.1.2.1.1 Diskussion

Der analysierte Stromverbrauch am UCB sowie an der HN wird vor allem durch die genutzten EDV-Geräte der Mitarbeiter und die Beleuchtung verursacht. Der deutliche Mehrverbrauch der HN hängt vermutlich mit der höheren Mitarbeiterzahl im Verwaltungsgebäude zusammen und auch möglicherweise mit weiteren, nicht identifizierten und verwaltungsuntypischen elektrischen Verbrauchern an der HN zusammen.

Gemäß den Angaben beider Hochschulen waren innerhalb der beiden Messperioden im untersuchten Gebäude an der HN rund 70 Mitarbeiter, am UCB jedoch nur rund 30 Mitarbeiter beschäftigt. Der Stromverbrauch im Jahr 2015 ergibt im Mittel an der HN einen Verbrauch von $4,32 \text{ kWh/m}^2$ im Monat (unter Ausschluss des Rechenzentrums), woraus sich ein mittlerer monatlicher Stromverbrauch pro Person von rund $0,06 \text{ kWh/m}^2$ ergibt. Der Stromverbrauch im Jahr 2015 ergibt im Mittel für den UCB einen Wert von rund $0,95 \text{ kWh/m}^2$ im Monat. Damit kann der mittlere monatliche

Stromverbrauch pro Person am UCB zu rund 0,03 kWh/m² berechnet werden. Somit wird an der HN pro Kopf doppelt so viel Strom verbraucht wie am UCB. Das lässt auf Stromverbraucher an der HN schließen, die für ein Verwaltungsgebäude untypisch, jedoch noch nicht identifiziert sind. Der hohe Stromverbrauch im Gegensatz zum untersuchten Gebäude am UCB kann zumindest hinsichtlich der Beleuchtung gegebenenfalls auch durch die Lage des untersuchten Gebäudes A der HN begründet werden. Einige Räumlichkeiten des Bauwerks sind nach Nord-Ost ausgerichtet und erhalten somit nur am Morgen natürliche Beleuchtung. Die Räumlichkeiten, die nach Süd-Westen ausgerichtet sind, werden bei Lichteinfall aus Süden durch das angrenzende Gebäude B beschattet und können so ebenfalls kaum von der natürlichen Lichtquelle profitieren und benötigen daher in hohem Maße die künstliche Beleuchtung, welche den hohen Stromverbrauch begründen kann.

7.1.2.2 Stromverbrauch der Hörsäle

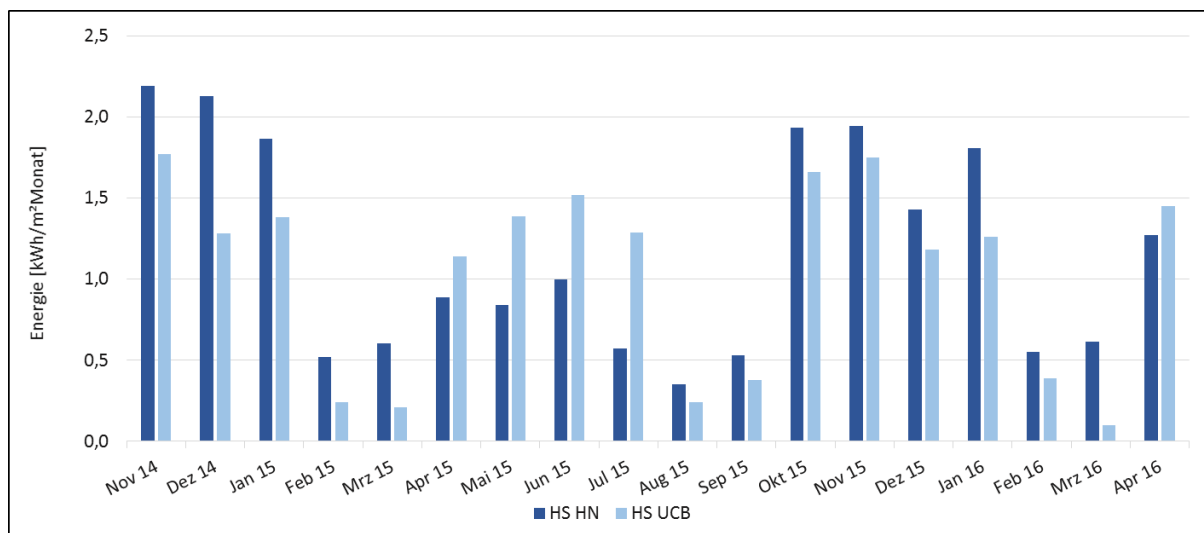


Abbildung 166: monatlicher Stromverbrauch der Hörsäle beider Hochschulen

Abbildung 166 zeigt den monatlichen flächenspezifisch gemittelten Stromverbrauch der Hörsäle beider Hochschulen. Auffällig sind der um rund 22 % niedrigere mittlere Monatsverbrauch der drei Hörsäle des UCB in den Wintersemestern (mittlerer Monatsverbrauch der Hörsäle an der HN von rund 1,45 kWh/m²Monat, am UCB von rund 1,13 kWh/m²Monat) und der um rund 46 % höhere Verbrauch in den Sommersemestern (mittlerer Monatsverbrauch der Hörsäle an der HN von 0,66 kWh/m²Monat und am UCB von rund 0,96 kWh/m²Monat). Dabei ist der mittlere Verbrauch der Hörsäle am UCB im Vergleich mit der HN zwischen April und Juli 2015 sogar deutlich erhöht. Werden die Wintermonate Dezember 2014/Januar 2015 und Dezember 2015/Januar 2016 miteinander verglichen, so ist der Verbrauch in Birkenfeld diesen Monaten sogar geringer als im Juni 2015. Insgesamt liegen die Verbräuche der Sommermonate in der Größenordnung der Monate Dezember 2014/Januar 2015 und Dezember 2015/Januar 2016. Die Verbräuche der betrachteten Hörsäle liegen im Jahresvergleich des Kalenderjahrs 2015 in der gleichen Größenordnung, siehe dazu

auch Abbildung 167. Der jährliche mittlere Stromverbrauch der drei Hörsäle der HN liegt demnach bei 12,48 kWh/m², der mittlere Verbrauch der drei Hörsäle am UCB bei 12,38 kWh/m².

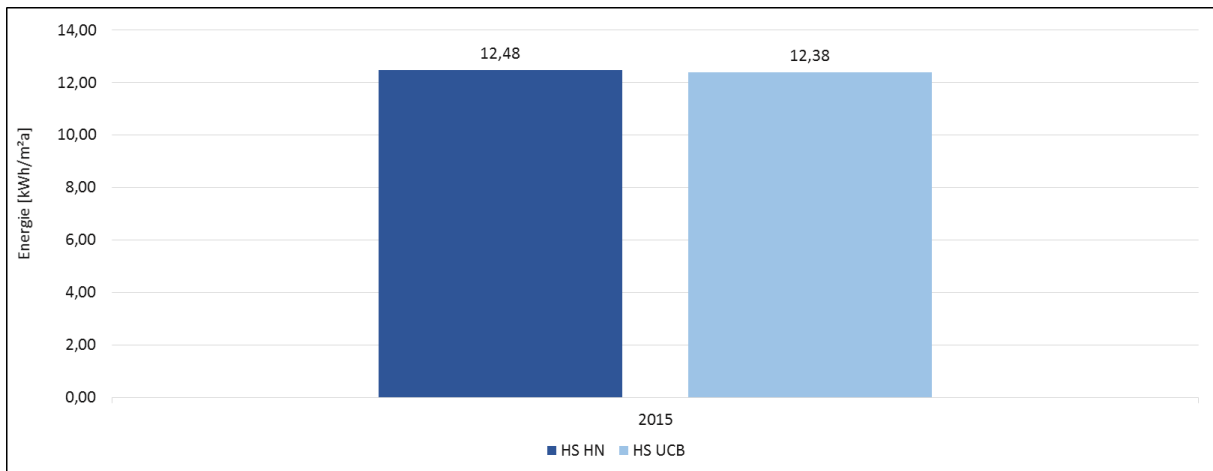


Abbildung 167: Jährlicher Stromverbrauch des Kalenderjahrs 2015 der Hörsäle der beiden Hochschulen

7.1.2.2.1 Diskussion

Der sehr niedrige mittlere Stromverbrauch der drei Hörsäle des UCB in den Monaten Februar/März sowie August/September entspricht den vorlesungsfreien Zeiten der Hochschule. In Krefeld lassen sich die vorlesungsfreien Zeiten nicht so deutlich erkennen. Dieses Ergebnis ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass sich die Nutzung der Räume, insbesondere außerhalb der Vorlesungszeit, im Vergleich der beiden Hochschulen unterscheiden bzw. die Belegung während der vorlesungsfreien Zeit unterschiedlich ist.

Für den höheren Verbrauch der Hörsäle des UCB in den Sommermonaten spricht die Beobachtung, dass die natürliche Ausleuchtung der Hörsäle auch im Sommer morgens nicht ausreicht und die Beleuchtung nach Verlassen der Räume verschiedentlich eingeschaltet bleibt. Die untersuchten Hörsäle der HN sind nach Nord-Osten sowie nach Süd-Westen ausgerichtet (Fenster an beiden Seiten der Hörsäle), wodurch die Beleuchtung durch künstliches Licht überflüssig wird. Dennoch ist die Nutzung der Tafelbeleuchtung möglich.

7.1.2.3 Stromverbrauch Seminarräume/Vorlesungsräume

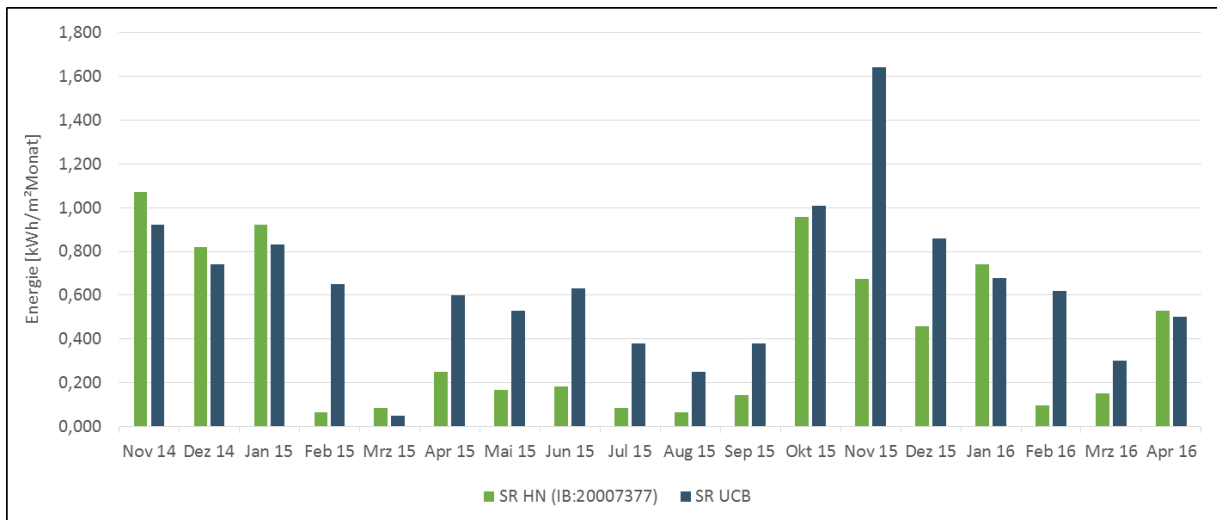


Abbildung 168: monatlicher Stromverbrauch der Vorlesungsräume/Seminarräume beider Hochschulen

Die Vorlesungsräume der Hochschulen haben gemäß Abbildung 168 ebenfalls unterschiedliche Stromverbräuche. Bis Januar 2015 war der Stromverbrauch der Seminarräume der HN etwas höher als am UCB. Ein ähnlicher Verbrauch der Seminarräume lässt sich im März 2015, Oktober 2015 und Januar 2016 feststellen. Deutlich ist der Mehrverbrauch des UCB im Sommersemester 2015 und im Wintersemester 2015/2016, besonders im November 2015.

In Abbildung 169 fällt bei jährlicher Betrachtung der Mehrverbrauch des Seminarraums am UCB erneut auf. 2015 verbrauchte dieser rund 92 % mehr Strom pro Quadratmeter, also fast doppelt so viel wie der Seminarraum/Vorlesungsraum der HN.

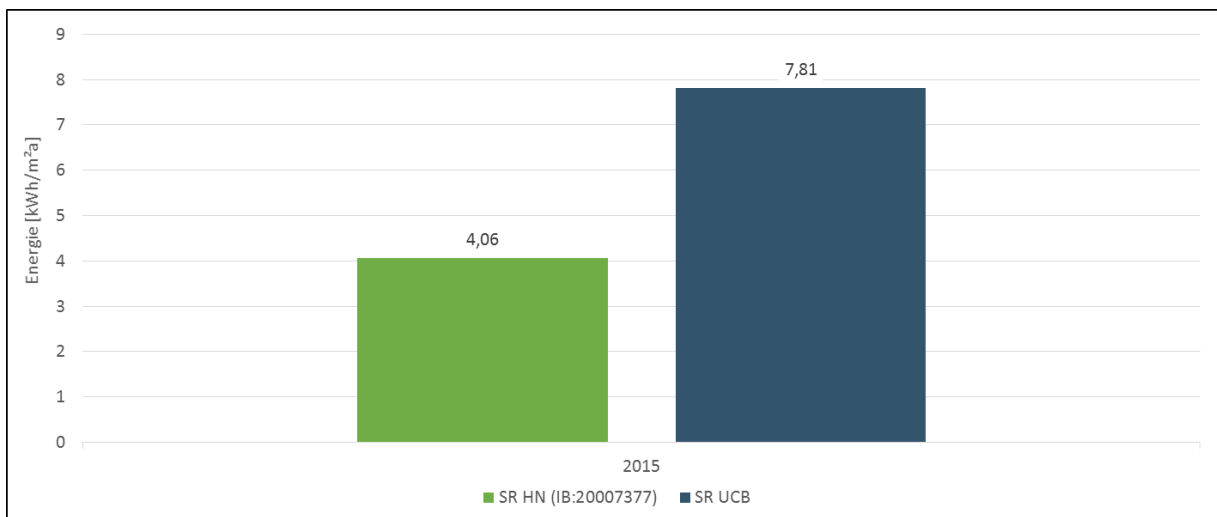


Abbildung 169: jährlicher, spezifischer Stromverbrauch der Vorlesungsräume/Seminarräume beider Hochschulen

7.1.2.3.1 Diskussion

Die Unterschiede im Verbrauch der Seminarräume könnten insbesondere durch unterschiedliche tatsächliche Belegungszeiten der Räume an beiden Hochschulen verursacht werden. Entsprechende Aufzeichnungen existieren jedoch nicht bzw. nur eingeschränkt. Weitere Gründe könnten beispielsweise durch Unterschiede in der technischen Ausrüstung bzw. deren Nutzung sein. Eine Kühlung oder Lüftung, durch welche der Mehrverbrauch des Vorlesungsraums/Seminarraums des UCB in den Sommermonaten erklärt werden könnte, ist dort nicht vorhanden. Demnach ist der Mehrverbrauch sehr wahrscheinlich größtenteils auf die Belegungszeiten zurückzuführen. Zudem ist der Seminarraum am UCB im Sommer morgens nur eingeschränkt mit natürlichem Licht versorgt. Hierfür sprechen die Auswertungen der getrennten Erfassung der Stromverbräuche. Hierbei sind die Beleuchtungsanteile im Sommer sowie im fast durchgehend der größte Anteil an den Gesamtverbräuchen (zumeist > 50 %). An der HN ist der Seminarraum/Vorlesungsraum nach Süd-Westen ausgerichtet, sodass dieser größtenteils durch die Sonne natürlich beleuchtet und somit oft auf künstliche Beleuchtung verzichtet werden kann.

8 Zusammenfassung

Der energiebedingte Treibhausgasausstoß fördert den anthropogen bedingten Klimawandel. Um die Folgen dieses Klimawandels möglichst gering zu halten, sollen die Energieeinsparziele der Bundesregierung eingehalten werden. Um bis zum Jahr 2020 40% des Treibhausgases CO₂ einzusparen, soll der Primärenergiebedarf des Gebäudesektors bis 2020 ebenfalls um 40% und bis 2050 sogar um 80% gesenkt werden. Eine Strategie zur Erreichung dieser Ziele ist die effizientere Nutzung bzw. Verwendung von Energie. Mit einem Anteil von rund 40% am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland trägt der Gebäudesektor erheblich zum Energieverbrauch und demzufolge zur Freisetzung von Treibhausgasen bei. 25% des gebäuderelevanten Energieverbrauchs ist dabei dem Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistung zuzuschreiben, welchem auch Hochschulen angehören. Die gewünschte Energieeinsparung soll hauptsächlich durch Energieeffizienzsteigerungen durch Sanierungen, Installation von Gebäudeautomationssystemen und Nutzerintegration erreicht werden. Dadurch werden nicht nur ökologische, sondern aufgrund der Energiepreisentwicklung der letzten Jahre auch finanzielle Vorteile geschaffen.

Im Rahmen des Forschungs-Verbundprojekts REGENA – Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation – des Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier (UCB), der Hochschule Niederrhein (HN) und der IZES gGmbH wurden die Energieperformance und Lösungsansätze zur Energieeinsparung einzelner Referenzgebäude und -räume des Umwelt-Campus Birkenfeld und der Hochschule Niederrhein am Campus Krefeld-Süd sowie die Evaluierung psychologischer Interventionen zur nutzerintegrativen Energieeinsparung thematisiert.

Betrachtet wurden hierzu Referenzgebäude und -räume mit ähnlichen Nutzungsbedingungen. So wurde an beiden Hochschulstandorten der Energieverbrauch der Bürogebäude, Seminarräume, Hörsäle und einzelner Technikräume betrachtet und analysiert. Die Verwaltungsgebäude wurden auf Strom- und Heizenergieverbrauch, die Hörsäle des UCB zusätzlich auf den Kälteenergieverbrauch hin überwacht. Für die Vorlesungsräume der HN konnte lediglich ein Monitoring des Stromverbrauchs, für die des UCB auch ein Monitoring des Heizenergieverbrauchs erfolgen. Zusätzlich konnte am UCB die Energieperformance eines Technikraums betrachtet werden. Analog sollte an der HN ebenfalls ein Technikraum betrachtet werden, welcher jedoch entgegen der ursprünglichen Annahmen kaum genutzt wurde und deshalb keine ausreichende Datengrundlage zur Beurteilung lieferte.

Ein umfangreiches Monitoring des Energieverbrauchs der ausgewählten Hochschulgebäude gab dabei Aufschluss über die Erfolge der durchgeführten gering- und geringstinvestiven Maßnahmen zur Energieeinsparung. Am Umwelt-Campus Birkenfeld wurden die Messdaten mittels M-Bus, Profibus und EIB/KNX-Bus an die Gebäudeleittechnik- und die Energiemonitoringsoftware übergeben und aus einer neu aufgesetzten Datenbank ausgewertet, an der HN erfolgte die Datenerfassung mittels des bei der IZES gGmbH entwickelten Datenloggers – INES-Box –, welcher von Strom-

und Wärmemengenzählern gesendete Impulse in Echtzeit erfassen, speichern und weiterleiten kann.

Weiterhin wurden an beiden Hochschulen Heizkostenverteiler (HKV) zur Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs einzelner Raumnutzungskategorien bzw. daraus resultierend einzelner Nutzergruppen verwendet. Bei der Auswertung der HKV-Daten sind jedoch aufgrund ihres eigentlichen Nutzungszwecks, nämlich lediglich der möglichst gerechten Verteilung von Heizkosten in Mehrfamilienhäusern bzw. Gebäuden mit mehreren Nutzern, an beiden Hochschulen systembedingte Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Impulswertigkeiten aufgetreten. Zudem ist die Batterielaufzeit der HKV auf 10 Jahre ausgelegt, vorausgesetzt es findet jährlich nur eine Auslesung statt. Für ein umfangreiches Energiemonitoring mit mehreren Auslesungen am Tag oder auch bei auftretenden Störsignalen wie an der HN haben sich die HKV für diese Aufgabenstellung als nur eingeschränkt geeignet erwiesen.

An der HN sind vor allem Probleme im Aufbau der Messinfrastruktur aufgetreten, da diese größtenteils neu errichtet und installiert werden musste. Zu vermuten ist aufgrund der dort vorgefundenen Gegebenheiten, dass auch in anderen Hochschulen unzureichende Zählerstrukturen mit teilweise nicht bekannten bzw. identifizierbaren Verbrauchern vorzufinden sind und der technische Bestand ebenfalls nur anteilig oder gar nicht dokumentiert ist. Dies ist vor allem dann zu befürchten, wenn Eigentümer und Betreiber verschiedene Organisationen sind, wie es an Hochschulen üblich ist. Als Fazit wurde eine Checkliste entwickelt, die helfen soll, übliche Probleme bei den Infrastrukturen schnell zu identifizieren.

Die Analyse des Energieverbrauchs über den erfassten Zeitraum ab April 2013 (an der HN ab November 2014) und der Vergleich des Verbrauchs dreier (an der HN zweier) Messperioden innerhalb des Zeitraums zwischen April 2013 und April 2016 gaben Informationen zum Erfolg durchgeführter Energieeinsparmaßnahmen. Zwischen Messperiode 1 und 2 wurden geringstinvestive Maßnahmen und zwischen Messperiode 2 und 3 geringinvestive Maßnahmen durchgeführt.

Zu den geringst- und geringinvestiven Maßnahmen zählten einerseits psychologische Interventionen durch Schulungen und Informationsmaterialien sowie geringfügige technische Veränderungen, z.B. Anpassen der Lüftungen in Hörsälen. Die geringinvestiven Maßnahmen wurden über psychologische Messungen und ein Energiemonitoring begleitet.

Für die psychologischen Messungen wurde theoriebasiert ein Fragebogen zu Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE) neu entwickelt, der reliabel Einstellungsänderungen und Verhaltensintentionen misst. Ein weiterer Fragebogen, der Umgebungsbedingungen und Verhalten erfasst (UVE) wurde teilweise aus den Items des Projekts CHANGE weiterentwickelt. Um einen common method effect zu vermeiden, wurden die beiden Fragebogen zeitlich versetzt eingesetzt.

Die Ergebnisse zeigen folgendes: Die ausschließlich auf Wissensvermittlung und eigene Initiative setzenden Maßnahmen scheinen kaum dazu geeignet Veränderungen in Einstellungen und Verhaltensintentionen sowie auch im Verhalten

selbst hervorzurufen. Von den Beschäftigten beider Hochschulen nahm kaum jemand an den Schulungen teil. Zudem gaben viele Beschäftigte an, auch die zugesandten Unterlagen nicht angesehen zu haben. Dagegen wurden Plakate und Türhänger teilweise durchaus positiv wahrgenommen, führten aber dennoch nicht zu messbaren Veränderungen. Es veränderten sich – gemessen mit dem Fragebogen EVE – insgesamt über die Zeit nur am UCB das Wissen in positive Richtung, alle anderen Befragungsergebnisse zeigten keinen Aufwärtstrend. An der HN gab es hingegen nicht einmal in der Skala „Wissen“ (EVE) einen positiven Effekt, obwohl dort intensiv informiert und mit psychologischen Maßnahmen interveniert wurde (Türhänger und Energiesparpakete). Auch auf Verhaltensebene zeigten sich keine Veränderungen (UVE).

Die Studierenden konnten größtenteils über die Vorlesungen erreicht werden. Bei fünf von acht (später neun) Skalen des EVE ließen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Hochschulen erkennen. Studierende des UCB zeigten durch die intensivere Auseinandersetzung mit den Themen der nachhaltigen Entwicklung im Studium insgesamt eine höhere positive Einstellung gegenüber des Energiesparens als die Studierenden der HN, an welcher diese Themen im Studium eher weniger intensiv behandelt werden.

Die durchgeführten Schulungen führen bei den Studierenden beider Hochschulen in der Folge zu (geringfügigen aber signifikanten positiven) Veränderungen in Wissen und Verhaltensintentionen, die wahrscheinlich durch Dissemination zu erklären sind. Denn es haben viele Personen an Befragungen teilgenommen, die nicht durch Schulungen erreicht wurden. Auf die Disseminationseffekte verweisen auch insbesondere die Effekte in dem interdisziplinären Projekt im Gebäude H der HN. Hier wurde in einem Seminar intensiv geschult und anschließend CO₂-Monitore in den Hörsälen verbaut. Hier sind ein kontinuierlicher Anstieg der Bereitschaft für energiesparendes Verhalten und der Einfluss der relevanten Anderen über drei Messungen/Messzeiträume beobachtbar. Auf der Verhaltensebene selbst jedoch können auftretende Unterschiede, z.B. Im Lüftungsverhalten nur auf die Außentemperatur attribuiert werden.

Es wird deutlich, dass für eine Energieeinsparung durch reine Änderung des Nutzungsverhaltens über psychologische Maßnahmen weitere und andere Anreize geschaffen werden müssen, da an der HN über das durchgeführte Energiemonitoring keine konkreten Rückschlüsse auf Erfolge der durchgeführten Maßnahmen abgeleitet werden konnten. Einzig in den Sanitärräumen des Verwaltungsgebäudes wurde eine (Wärme-)Energieverbrauchsreduzierung von rund 40% festgestellt, die wahrscheinlich auf die Verteilung von Informationspostern und somit der Umsetzung der Informationen in diesen Räumlichkeiten zurückzuführen ist.

In der Analyse des Wärmeenergieverbrauchs an der HN konnte, insbesondere durch die Einbeziehung der in den Messzeiträumen herrschenden Außentemperaturen, kein Erfolg der durchgeführten Maßnahmen für den geringeren Energieverbrauch festgestellt werden. Die Analyse des Heizenergieverbrauchs einzelner Nutzungskategorien zeigte dennoch Energieeinsparungen, die beispielsweise auf die Ver-

kleinerung des Besprechungsraumes zurückzuführen sind. Es konnte gefolgert werden, dass die aus dem Umbau resultierende Zentralisierung der Heizungsbedienung eine Energieersparnis von rund 30% pro Flächeneinheit erzielte.

Durch das Monitoring an der HN konnten weitere Potenziale zur Energieeinsparung identifiziert werden. Beispielsweise wurde festgestellt, dass die Heizgrenztemperatur mit 19°C deutlich höher liegt als gewöhnlich mit 15°C. Diese Einstellung in der Gebäudetechnik soll daher künftig zu Gunsten der Energieeinsparung geändert werden.

Analog zu der These des besseren Energiecontrollings über zentrale Ansteuerung oder Regelung, könnten Energieeinsparungen auch durch zentrale Bedienungsstellen der Stromverbraucher erfolgen.

In der Analyse des Stromverbrauchs stellte sich ebenfalls heraus, dass eine genauere Analyse der Energieverbraucher nötig ist, um Ursachen für einen Mehrverbrauch und einzelne Mehrverbraucher identifizieren und optimieren zu können. Die Befragungen zu den Umgebungsbedingungen der Beschäftigten zeigten, dass an den Arbeitsplätzen vielfach dezentrale Drucker und Multifunktionsgeräte genutzt werden. Im Laufe des Projekts wurden zusätzlich an der HN immer neue Produkte in den Gebäuden installiert, wie Monitore usw., wobei hier im Beschaffungsvorgang und im Betrieb dann aber keine Anbindung an das Projekt REGENA erfolgte. So treten gerade im Bereich des Energiesparens durch kostengünstige Technik in den öffentlichen Gebäuden jede Menge Rebound-Effekte auf, die schwer nachvollziehbar sind. Eine detailliertere Analyse mit Hinblick auf Personenbelegung und Stromverbrauchern war an beiden Hochschulen aus verwaltungstechnischen und Datenschutzgründen nicht möglich. Ein konstruktives Feedback an einzelne Nutzer konnte ebenfalls aus Gründen des Datenschutzes nicht gegeben werden, wobei am UCB zumindest eine aggregierte Darstellung die Möglichkeit bot, auf Anfrage detailliertere Verbrauchswerte zu bekommen. In weiteren Projekten sollte dieser Aspekt nicht außer Acht gelassen werden. Eine Möglichkeit in diesem Bereich stellt ein „Gamifying“ für ein kooperatives und kompetitives Energiesparen dar, wodurch ein direktes und automatisiertes Feedback über beispielsweise mobile Geräte wie Smartphones etc. gegeben werden kann; hierbei können über technisch-organisatorische Bedingungen auch die Herausforderungen des Datenschutzes gemeistert werden. Diesbezügliche Untersuchungen konnten jedoch im Rahmen von REGENA nicht durchgeführt werden bzw. waren nicht Bestandteil des Vorhabens.

Auch in den Hörsälen konnte das Stromverbrauchsmonitoring an der HN zwar keine Erfolge der Interventionen nachweisen, jedoch Einsparpotenziale identifizieren. Beispielsweise könnten durch automatische Ausschaltung der Klimatisierung 1.200 kWh/a und somit rund 13% der Energie gespart werden. Generell sind die Einflussmöglichkeiten der Studierenden bzgl. Wärme, Kälte und Strom als sehr gering einzustufen, wodurch die Möglichkeiten der Gebäudeautomation vor allem in Gebäuden mit heterogenen Raumnutzungen und Nutzungswechseln mehr ausgeschöpft werden sollten. Schwierig bleibt die Anpassung der Einstellungen der Gebäudeleittechnik an die sich häufig ändernden Randbedingungen und wechselnden Ansprüche der Nutzer.

Am Umwelt-Campus Birkenfeld konnten im Gegensatz zu den Ergebnissen der HN mehrere einzelne Maßnahmen als Teil einer größeren Maßnahmenliste unmittelbar Einsparungen zugeordnet werden. So wurde durch das Monitoring beispielsweise beobachtet, dass die Lüftungsanlage der Hörsäle ohne erkennbaren Grund auch nachts in Betrieb war. Eine Abschaltung dieser Nutzungszeiten, verbunden mit weiteren Maßnahmen wie der getrennten Belüftung, könnte beispielsweise Einsparungen von rund 30.000 kWh/a erzielen.

Um eine nutzungsunabhängige Energieeinsparung zu fördern, wurden Neuerungen im Gebäudemanagement und der Gebäudeleittechnik des UCB umgesetzt und könnten an der HN ebenso umgesetzt werden. Beispielhaft seien hier die diskutierte Änderung des außentemperaturgesteuerten Heizens zu einer Innentemperatursteuerung oder Herabsetzung der Heizgrenztemperatur um zwei bis vier Grad, die Steuerung der Beheizung einzelner Raumnutzungskategorien über Thermostate, die Steuerung des gesamten Heizungssystems über bestimmte Ein- und Ausschaltperioden, das Ausschalten von Geräten über Zeitschaltuhren genannt.

Am Umwelt-Campus Birkenfeld wurde die Aufteilung in drei Messperioden mit zwei dazwischen liegenden Maßnahmen- und Schulungszeiträumen konsequent durchgeführt. Die Erfahrungen zeigen, dass eine detaillierte Kenntnis der Energieversorgungsinfrastruktur eine Voraussetzung für belastbare Auswertungen ist. Die zu messenden Verbraucher im technischen Bestand müssen eindeutig den Versorgungssträngen zugeordnet werden können. Zudem müssen die Messdaten in einem offenen System zur Verfügung stehen, das möglichst ohne externe Akteure parametrierbar und erweiterbar sein muss, da sonst in erheblichem Maß zusätzliche Kosten und häufig gravierende zeitliche Verzögerungen entstehen.

Auf der Nutzerseite haben Usability-Untersuchungen gezeigt, dass trotz Eingriffsmöglichkeiten in die zu bedienende Technik häufig Kenntnisse darüber fehlen. Zudem fehlt der Anreiz, sich mit der Technik auseinander zu setzen. Hier müssen in Zukunft geeignete Anreizsysteme entwickelt und zur Verfügung gestellt werden. An der HN konnten durch die Usability-Untersuchung sehr hohe Einsparpotenziale identifiziert werden. Durch fehlende Zugänglichkeit und falsche Nutzung traten Mehrverbräuche auf. Das den Nutzern anzulasten, wäre aber eine falsche Interpretation. Durch die Usability-Untersuchung wurde deutlich, dass programmierbare Thermostate oft nicht einmal den einfachsten Ansprüchen der Nutzerfreundlichkeit genügen (z. B. Feedback). Das ist ein Bereich, der gerade für Neuentwicklung von Technik zur Energieeinsparung zukünftig von besonderer Bedeutung ist, da sonst Effekte des Backfire zu erwarten sind.

Die genaue Analyse der Messinfrastruktur erforderte zu Beginn des Projekts einen erheblichen Unterstützungsaufwand der technischen Abteilungen. Diese muss von den Zielen des Projekts überzeugt werden und teilweise bei der Umsetzung der Maßnahmen unterstützen, wobei für diese der Mehraufwand in Rahmen ihrer normalen Arbeit zu leisten ist. Diese Unterstützung konnte aufgrund der vielfältigen Umbautätigkeiten an der HN nicht immer in dem Maße zur Verfügung gestellt werden, wie diese zur vollständigen Erreichung der Ziele erforderlich gewesen wäre. Am UCB

war die Infrastruktur durch vorangehende Forschungen transparenter und erforderte damit weniger an Aufwand. Insgesamt zeigte sich aber im Kontakt mit dem technischen Personal an den Hochschulen, dass sie gerne an den Themen arbeiten und es wertvoll ist, deren Wissen und Erfahrungen stärker einzubinden.

Die gemessenen Daten sind für jede Hochschule eine wichtige Grundlage. Sie können jedoch selten mit anderen Hochschulen verglichen werden, da die Gebäudestruktur und deren Nutzung im Bestand sehr unterschiedlich ist. Auch über einen längeren Zeitraum ermittelte Daten können nur miteinander verglichen werden, wenn die Nutzung der Gebäude im Messzeitraum von Art und Intensität gleich bleibt. Am Umwelt-Campus Birkenfeld wurden gezielt Raumnutzungsarten und Gebäude ausgewählt, bei denen dies im Projektzeitraum der Fall war. So konnten die gemessenen Daten tatsächlich auch durchgeführten Maßnahmen zugeschrieben werden.

Insgesamt konnte am Umwelt-Campus Birkenfeld der Energieverbrauch im untersuchten Bereich durch die gering- und geringstinvestiven Energiesparmaßnahmen um insgesamt 27% gesenkt werden (ohne Berücksichtigung von Witterungseinflüssen). Die Einsparungen betragen dabei im Bereich der Wärme 16%, im Bereich Strom 54% und im Bereich Kälte 75%. In absoluten Zahlen konnte der Wärmebedarf in den drei Messperioden in den gemessenen Bereichen von 183.030 kWh auf 158.810 kWh gesenkt werden. Der Strombedarf sank von 63.690 kWh auf 29.320 kWh, und der Kältebedarf von 6.680 kWh auf 1.640 kWh.

Die Erfahrungen und Ergebnisse des Projekts wurden neben den konkreten Maßnahmen und Verbrauchsreduzierungen in ein REGENA-Modell integriert, welches generell eine umfassende Maßnahmenliste für den Hochschulschulbereich und Nicht-Wohngebäude umfasst, solche Gebäude und ihre Nutzungen strukturell beschreibt und auch ein Vorgehen skizziert, um geringst- und geringinvestive Maßnahmen umzusetzen.

In weiteren Analysen sollte der Einfluss der Mitarbeiteranzahl stärker mit in die Betrachtung einbezogen werden, da der Strom- und Wärmeenergieverbrauch zumindest in den untersuchten Verwaltungsgebäuden wesentlich durch diese beeinflusst wird.

9 Literaturverzeichnis

(kein Datum). Von <https://plattform.netzwerk-n.org/>. abgerufen

A.U.G.E. (2016). *Institut für Arbeitssicherheit, Umweltschutz, Gesundheitsförderung und Ethik (A.U.G.E.)*. Abgerufen am 06.. 07. 2016 von <https://www.hs-niederrhein.de/forschung/auge/projekte/>

Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., & Rothengatter, T. (September 2005). A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology, Volume 25, Issue 3*, S. 273-291.

Airflow Lufttechnik GmbH. (o. D.). www.airflow.de. Abgerufen am 06.. 07. 2016 von <https://www.airflow.de/de/Produkte/Messgeraete-1/Mobile-Messgeraete-fuer-den-HLK-Bereich/Innenraumluftqualitaet/detail/CO2-Monitor-XL.html>

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50*, 179-211.

Ajzen, I. (o. D.). *Homepage Icek Ajzen*. Abgerufen am 19.. 11. 2013 von <http://people.umass.edu/aizen/>

Ajzen, I., & Fishbein, M. (1980). Understanding attitudes and predicting social behavior. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Ajzen, I., & Madden, T. (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions and perceived behavioral control. *Journal of Experimental Social Psychology, 22*, 453-474.

al., C. S. (2013). *Heizung/Lüftung/Elektrizität - Energie-technik im Gebäude - Bau und Energie*. ETH Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

ANU/DGU/GBU. (1998). *Bildungsprogramm für nachhaltige Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland*.

ASHRAE, Inc. (2008). *2008 ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment*. ASHRAE.

Aydemir, D., Baumgart, R., Franz, C., Görgen, M., Heußen, N., Kaatz, C., . . . Venedey, U. (2015-2016). *Interdisziplinäres Projekt Energieleitfaden*. Krefeld: Hochschule Niederrhein.

Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen. (2008). *Website BLB NRW*. Abgerufen am 25.. 02. 2013 von https://www.blb.nrw.de/BLB_Hauptauftritt/index.php

Becker, B., & Poganiuch, T. M. (Wintersemester 2014/2015). Projekt "Fensterkontakte mit FHEM".

Bertsch, H.-J. (2009). Neutralisation und Normaktivierung. Dissertation. Heidelberg: Universität Heidelberg.

- BINE Informationsdienst. (2009). *Projektinfo 11/09: Betriebsdiagnose von Gebäuden*.
- Blomeyer-Nienstedt, A.-K. (November 2004). Energieeinsparung an Hochschulen am Beispiel der Universität Bremen. *Energieeinsparung in Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen*, S. 18-21.
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation* (4. Auflage Ausg.). Heidelberg: Springer Verlag.
- Boukhaoua, S. (2013). Offene Fragen im Smart Metering – Datenmenge und Datenschutz als Herausforderung. *Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrossuisse und VSE. Bulletin* (5), S. 49-52.
- BPB-Bundeszentrale für politische Bildung. (2007). Befragung und Evaluation mit Grafstat, Projekt Klimaschutz. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung.
- Bruni, C., Schultz, P., & Saunders, C. (o. D.). *CONPSYCH Measures Measurement Tools for Environmental Practioners*. Abgerufen am 10.. 09. 2013 von <http://www.conpsychmeasures.com/CONPSYCHMeasures/index.html>
- Bühner, M. (2006). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (2. Ausg.). München: Pearson Studium.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz; juris GmbH. (2015). *Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung - BildscharbV)*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von Gesetze im Internet: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bildscharbv/gesamt.pdf>
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz; juris GmbH. (o. D.). *Gesetze im Internet. Betriebsverfassungsgesetz*. Abgerufen am 03.. 05. 2016 von <http://www.gesetze-im-internet.de/betrvg/>
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (11.. März 2013). *bmvi.de*. Abgerufen am 16.. April 2016 von http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/energie-und-klimaschutzkonzept-monitor-2012-bestandsaufnahme.pdf?__blob=publicationFile
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (08.. Juli 2014). *bmwi-energiewende.de*. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) Abgerufen am 2016. Januar 26. von <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2014/22/Meldung/hoher-energieverbrauch-des-gebaudesektor.html>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorrecht. (07. April 2015). *Regeln für Energieverbrauchskennwerte und Vergleichswerte im Nichtwohngäudebestand*. Bundesanzeiger.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (07. April 2015). *Regeln für*

Energieverbrauchskennwerte und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Bundesanzeiger.

- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (07. April 2015). *Regeln für Energieverbrauchskennwerte und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand.* Bundesanzeiger.
- Carsten Dreyer, S. D. (21.. Januar 2015). Digitwertigkeit der HKV.
- Casties, M. (1997). *Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Nutzerverhalten und Heizenergieverbrauch/-bedarf von Wohngebäuden.* Berlin: VWF.
- Deci, E. L., Connell, J. B., & Ryan, R. M. (1989). Self determination in a work organization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74 (4), S. 580-590.
- Deutsche Gesellschaft für Anlagensicherheit. (o. D.). *Infoblatt - Energiesparen im Büro.* Abgerufen am 19.. 11. 2013 von http://www.zukunft-einkaufen.de/fileadmin/ZE%20II/ZE%20Alt/Stromspartipps_fuer_das_Buero.pdf
- Dickerson, K. (1990). The Existence of Publication Bias and Risk Factors for its Occurrence. *The Journal of American Medical Association*, 263 (19), S. 1385-1389.
- Dieckmann, A., & Schreiber, J. (2006). Die Rolle der Nichtregierungsorganisationen bei der Umsetzung der UN-Dekade. *UNESCO Heute, UN-Dekade für nachhaltige Bildung*, 1, S. 35-38.
- Diekmann, A., & Franzen, A. (1995). *Kooperatives Umwelthandeln* (1. Auflage Ausg.). Chur/Zürich: Rüegger AG.
- Diekmann, A., & Preisendörfer, P. (1992). Persönliches Umweltverhalten: Diskrepanzen zwischen Anspruch und Wirklichkeit. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 2(44), 226-251.
- DIN EN ISO 9241. (1998). DIN EN ISO 9241. Teil 11 - Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze. Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. In Normenausschuss Ergonomie (NAErg) (Hrsg.). Beuth Verlag GmbH.
- Döring, K. W. (2008). *Handbuch Lehren und Trainieren in der Weiterbildung.* Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Dunlap, R., Van Liere, K., Merting, A., & Jones, R. (2000). Measuring Endorsement of the New Ecological Paradigm: A revised NEP Scale. *Journal of Social Issues*, 56(3), 425-442.
- Dwyer, W. O., Leeming, F. C., Cobern, M. K., & Porter, B. E. (1993). Critical review of behavioral interventions to preserve the environment: Research since 1980. *Environment & Behavior*, 25, S. 275-321.

- Eigenstetter, M. (2009). Verantwortungsvolles Entscheiden und Handeln als Eignungskriterium in der Personaldiagnostik. *Wirtschaftspsychologie, Themenheft Soziale Verantwortung*, S. 16-27.
- Elke, G. (1999). Organisationsentwicklung als Anpassungs- und Entwicklungsstrategie. In C. G. Hoyos, & D. Frey (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie. Ein Lehrbuch* (S. 449-467). Weinheim: Beltz Psychologie Verlagsunion.
- EnergieAgentur. NRW GmbH. (o. D.). *EnergieAgentur. NRW*. Abgerufen am 10.. 11. 2013 von <http://www.nrw-spart-energie.de/nrw-spart-energie/kommunen-und-verwaltung-6067.asp>
- EnOB. (o. D.). *Forschung für Energieoptimiertes Bauen: EnBop*. Abgerufen am 17.. 09. 2013 von <http://www.enob.info/de/forschungsfelder/>
- Ernst, A., & Spada, H. (1993). Bis zum bitteren Ende. In J. Schahn, & T. Giesinger (Hrsg.), *Psychologie für den Umweltschutz* (S. 17-27). Weinheim: Beltz, Psychologie-Verlag-Union.
- Europäischer Fachverband für Blendschutz am Bildschirmarbeitsplatz e.V. (2016). *EFFB-Richtlinien & Verordnungen zum Download*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von EU Richtlinie 90/270 EWG: <http://www.effb.org/pdf/eu-richtlinie-90-270.pdf>
- Fachhochschule Erfurt u. a. (2007). *Interdisziplinäre nutzerorientierte nachhaltige Optimierung von Stoff- und Energieströmen in Gebäude (INNOSEG), Schlussbericht Gesamtprojekt*. Erfurt.
- Factor4. (21. Mai 2014). <http://www.re-co.eu/node/161>. Abgerufen am 23. Mai 2016 von <http://www.re-co.eu/>: http://www.re-co.eu/sites/default/files/files/Guidebook_re-commissioning%281%29.pdf
- Felfe, J., Schmock, R., Six, B., & Wieland, R. (2005). Commitment gegenüber Verleiher und Entleiher bei Zeitarbeitern: Bedingungen und Konsequenzen. *Zeitschrift für Personalpsychologie*, 4, S. 101-115.
- Fiedler, K., & Schmid, J. (1996). Heuristics. In A. Manstead, & M. Hewstone (Hrsg.), *The Blackwell Encyclopedia of Social Psychology* (S. 296-300). Oxford: Blackwell.
- Fietkau, H.-J., & Kessel, H. (1981). *Umweltlernen. Veränderungsmöglichkeiten des Umweltbewusstseins: Modelle, Erfahrungen*. Königstein/Taunus: Hain.
- Fisch, N. (2008). Effizient planen, bauen und betreiben - Bürogebäude auf dem Prüfstand.
- Fischer, C. (2008). Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency* (1), S. 79-104.
- Fischer, C. (2008). Feedback on Household Electricity Consumption: A Tool for Saving Energy? *Energy Efficiency*, 1, S. 79-104.

- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behaviour. An introduction to theory and research*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Forschungsgruppe Umweltpsychologie. (kein Datum). *fg-umwelt.de*. Von <http://fg-umwelt.de/index.php?id=185> abgerufen
- French, W. L., & Bell, C. H. (1990). *Organisationsentwicklung*. Bern: Haupt UTB.
- Fretwurst, B., & Friemel, T. N. (2016). Social Marketing. In G. Siegert, W. Wirth, P. Weber, & J. A. Lischka (Hrsg.), *Handbuch Werbeforschung* (S. 669-688). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Gabler Wirtschaftslexikon. (2013). *Springer Gabler Verlag*. Abgerufen am 29.. 03. 2016 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1524/intervention-v14.html>
- Gollwitzer, M., & Jäger, R. S. (2007). *Evaluation*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Gölz, S., & Biehler, M. (2008). Von der Energiesparforschung zur Energiepsychologie – Mögliche psychologische Perspektiven zur Gestaltung des künftigen Energiesystems am Beispiel „Smart Metering“. *Umweltpsychologie* (12) 1, S. 66-79.
- Gossauer, E. (24. Januar 2008). "Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden; Eine Feldstudie: Analyse von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Komfortparametern am Arbeitsplatz". *Dissertation*. Universität Karlsruhe (TH).
- Gräf, L. (1999). Optimierung von WWW-Umfragen: Das Online Pretest- Studio. In B. Batinic, A. Werner, L. Gräf, & W. Bandilla (Hrsg.), *Online research: Methoden, Anwendungen und Ergebnisse* (S. 159-178). Göttingen u.a.: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Groß, B., & Eigenstetter, M. (2014). *Projektskizze: Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMEL, Förderschwerpunkt „Feste Bioenergieträger“ – Verbraucherakzeptanz und Bedienerfreundlichkeit von Staubabscheidern und Anlagenkonzepten mit sekundären Emissionsminderungsmaßnahmen*. Saarbrücken, Krefeld.
- Haas, H. (2009). Probleme empirischer Kulturforschung. *Tagungsband der Forschungsstelle Grundlagen Kulturwissenschaft*, 8(10), 18 ff.
- Hacker, W. (1999). Regulation und Struktur von Arbeitstätigkeiten. In C. von Hoyos, & D. Frey (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie: Ein Lehrbuch* (S. 385-397). Weinheim: Psychologie Verlagsunion.
- Hager, W., & Hasselhorn, M. (2000). Psychologische Interventionsmaßnahmen: Was sollen sie bewirken können? In W. Hager, J.-L. Patry, & H. Berzing, *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen. Standards und Kriterien: ein Handbuch* (S. 41-85). Bern: Verlag Hans Huber.
- Hart, S., & Staveland, L. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. Hancock, & N. Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (S. 139-183). Amsterdam: North Holland.

- Heckhausen, J., & Heckhausen, H. (2006). *Motivation und Handeln* (3. Ausg.). Heidelberg: Springer Verlag.
- Herder, A. (2015). Masterarbeit: Usability-Untersuchung von programmierbaren Heizkörperthermostaten an der Hochschule Niederrhein. Krefeld: Hochschule Niederrhein.
- Hillesheim, F., & Schüler, T. (Wintersemester 2014/2015). Fachprojekt "Effizienter Gebäudebetrieb"; Usability-Test des Einzelraumreglers der Firma neuberger.
- Hoch, S. (2012). *Kostenentstehung durch das batteriebetriebene Heizungsregelventil "Honeywell HR-40" im H-Gebäude der Hochschule Niederrhein*. Krefeld: Hochschule Niederrhein.
- Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences. (2015). *Hochschule Niederrhein. Zahlen und Fakten. (Stand November 2015)*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von <https://www.hs-niederrhein.de/hochschule/zahlen-und-fakten/>
- Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences. (o. D.). *Hochschule Niederrhein. Unser Leitbild – Grenzen überwinden*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von <https://www.hs-niederrhein.de/hochschule/ueber-uns/leitbild/>
- Hochschule Niederrhein. (kein Datum). *Zahlen und Fakten: Hochschule Niederrhein*. Abgerufen am 22.. Dezember 2015 von Hochschule Niederrhein: <https://www.hs-niederrhein.de/hochschule/zahlen-und-fakten/>
- Hochschule Trier. (o. D.). *Umweltcampus Birkenfeld. Startseite*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von <https://www.umwelt-campus.de/ucb/index.php?id=10278>
- Hoff, E.-H. (1990). Kontrolle und Moral. Problematische Arbeitsprodukte im Urteil von Arbeitern. In F. Frei, & I. Udris (Hrsg.), *Das Bild der Arbeit* (S. 91-106). Bern: Huber.
- Hoff, E.-H. (1995). Berufliche Verantwortung. In E.-H. Hoff, & L. Lappe (Hrsg.), *Verantwortung im Arbeitsleben* (S. 46-63). Heidelberg: Asanger.
- Hoff, E.-H. (1998). Verantwortungsbewußtsein und Industriearbeit im Zeichen der Umweltkrise. In G. Blickle (Hrsg.), *Ethik in Organisationen: Konzepte, Befunde, Praxisbeispiele* (S. 71-94). Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie.
- Hoff, E.-H., Lempert, W., & Lappe, L. (1991). *Persönlichkeitsentwicklung in Facharbeiterbiographien*. Stuttgart: Hans Huber.
- Homburg, A. (2004). Umweltschonendes Handeln in Unternehmen - Eine Übersicht zu Einflussfaktoren und Gestaltungsansätzen aus sozial- und umweltsychologischer Perspektive. *Umweltpsychologie*, S. 56-78.
- Homburg, A., & Matthies, E. (1998). *Umweltkrise, Gesellschaft und Individuum. Umweltpsychologie*.
- Homburg, A., & Matthies, E. (1998). *Umweltpsychologie. Umweltkrise, Gesellschaft und Individuum*. Weinheim, München: Juventa Verlag.

<http://www.klimagerechte-hochschule.de/KMK>. (kein Datum). Abgerufen am 24. 02 2010 von 17:30 Uhr

- Hübner, G. (2010). Soziales Marketing pro Umwelt. In V. Linneweber, E.-D. Lantermann, & E. Kals (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Spezifische Umwelten und umweltbezogenes Handeln. Umweltpsychologie 2* (S. 829-854). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Hunecke, M. (2000). *Ökologische Verantwortung, Lebensstile und Umweltverhalten*. Heidelberg: Asanger Verlag.
- Hunecke, M., Matthies, E., Blöbaum, A., & Höger, R. (1999). Die Umsetzung einer persönlichen Norm in umweltverantwortliches Handeln. *Umweltpsychologie*, 2, 10-22.
- Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. (2004). *Auswertung der Budget- und Anreizsysteme zur Energieeinsparung an hessischen Schulen*. Heidelberg: Ifeu.
- Ihle, C., Bader, R., & Golla, M. (2011). *Tabellenbuch: Sanitär, Heizung, Klima/Lüftung* (8. Auflage Ausg.). Köln: Bildungsverlag EINS.
- IKZ praxis. (22.. Januar 2016). *ikz.de*. Von ikz.de: <http://www.ikz.de/ikz-praxis-archiv/p0205/020503.php> abgerufen
- Jähn, V., Eigenstetter, M., Christian, A., Ebner, I., Gollmer, K., Tsafack, W., . . . Groß, B. (2013). REGENA „Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation Teilprojekt: Verhaltensbasierte Interventionen und Monitoring“. Stralsund: FH Stralsund, 20. Symposium Nutzung Regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik.
- Jank, W., & Meyer, H. (1991). *Didaktische Modelle*. Berlin: Cornelsen Verlag scriptor GmbH & co. KG.
- Joachim Liers, R.-D. P. (November 2012). *Energiemanagement in Hochschulen - Handbuch zur Unterstützung bei der Einführung eines Energiemanagements in Hochschulen*. Hannover: HIS Hochschul-Informationen-System GmbH.
- Jones, T. M. (1991). Ethical decision making by individuals in organisations. An issue-contingent model. *Academy of Management Review*, 16, S. 366-395.
- Kaiser, F., & Frick, J. (4 2002). Entwicklung eines Messinstrumentes zur Erfassung von Umweltwissen auf der Basis des MRCML-Modells. *Diagnostica*(48), 181–189.
- Kaiser, F., & Shimoda, T. (1999). Responsibility as a predictor of ecological behavior. *Journal of Environmental Psychology*. 19, S. 243-253.
- Karlin, B., Zinger, J. F., & Ford, R. (2015). The Effects of Feedback on Energy Conservation: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin* (141) 6, S. 1205-1227.
- Kaufmann-Hayoz, R., Bamberg, S., Defila, R., Dehmel, C., Di Guilio, A., Jaeger-Erben, M., . . . Zundel, S. (2011). Theoretische Perspektiven auf

- Konsumhandeln - Versuch einer Theorieordnung. In R. Defila, A. Di Guilio, & R. Kaufmann-Hayoz (Hrsg.), *Wesen und Wege nachhaltigen Konsums* (S. 89-123). München: Ökonom.
- Klesse, A., Müller, J., & Person, R.-D. (2011). Einsparpotenziale durch Verhaltensänderungen im Umgang mit Energie - Herausforderungen der Messbarkeit im realen Gebäudebetrieb am Beispiel Hochschulen. In R. Defila, A. Di Guilio, & R. Kaufmann-Hayoz (Hrsg.), *Wesen und Wege nachhaltigen Konsums* (S. 415 - 430). München: oekom verlag.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The Effects of Feedback Interventions on Performance: A Historical Review, a Meta-Analysis, and a Preliminary Feedback Intervention Theory. *Psychological Bulletin* (119) 2, S. 254-284.
- Knoll, J. (1997). *Kleingruppenmethoden. Effektive Gruppenarbeit in Kursen, Trainings und Tagungen*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Kohlberg, L. (1976). Moral stages and moralization: The cognitive developmental approach. In T. Lickona (Hrsg.), *Moral development and behavior. Theory, research and social issues* (S. 31-53). New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Kohlberg, L., & Candee, D. (1984). The relationship of moral judgement to moral action. In L. E. Kohlberg (Hrsg.), *Essays on moral development. Voll II. The psychology of moral development. The nature and validity of moral stages* (S. 481-498). New York: Harper and Row.
- KONE GmbH. (kein Datum). www.kone.com.
- Koschnick, W. J. (1983). *Standard Dictionary of Advertising Mass Media and Marketing. English-German*. Berlin, New York: de Gruyter.
- Kotler, P., & Zaltman, G. (July 1971). Social marketing: An approach to planned social change. *The Journal of Marketing*, 35 (3), S. 3–12. Von <http://www.healthedpartners.org/ceu/hm/d04socialmarketingplannedsocialchange.pdf> abgerufen
- Krömker, D. (2004). *Naturbilder, Klimaschutz und Kultur*. Weinheim: Beltz PVU.
- Krug, S. (2009). *Rocket Surgery Made Easy*. New Riders.
- Langer, T. (2011). *Universität Rostock, Zentrum für Qualitätssicherung in Studium und Weiterbildung*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von http://www.weiterbildung.uni-rostock.de/uploads/media/Leseprobe_BNE.pdf
- Lee, N. R., & Kotler, P. (2016). *Social Marketing. Changing Behaviors for Good* (5 Edition Ausg.). Singapore: SAGE Publications, Inc.
- Lehner, M. (2009). *Allgemeine Didaktik. Eine Einführung* (1. Auflage Ausg.). Stuttgart: UTB basic.
- Lienert, G., & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Auflage Ausg.). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

- Liers u. Person, J. u.-D. (2012). *Energiemanagement in Hochschulen - Handbuch zur Unterstützung bei der Einführung eines Energiemanagements in Hochschulen*. Hannover: HIS Hochschul-Informationen-System GmbH.
- Lind, G. (2000). *Ist Moral lehrbar? Ergebnisse der modernen moralpsychologischen Forschung*. Berlin : Logos.
- Locke, E., & Latham, G. (1990). *A Theory of Goal-Setting and Task Performance*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Lück, H., Bungard, W., & Miller, R. (2005). *Forschungsartefakte und nicht-reaktive Messverfahren*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Mack, B. (2007). *Energiesparen fördern durch psychologische Interventionen. Entwicklung und Evaluation einer Stromsparkampagne in einer Energiesparhaussiedlung*. Münster: Waxmann Verlag GmbH.
- Mack, B., & Tampe-Mai, K. (2013). Handlungsunterstützendes Informationskonzept für Smart Meter-Feedbacksysteme aus VerbraucherInnenansicht – eine explorative Fokusgruppenstudie. *Umweltpsychologie* (17) 2, S. 27-53.
- Maloney, M., & Ward, M. (28. Juli 1973). Ecology: Let's hear from the people: An objective scale for the measurement of ecological attitudes and knowledge. *7*(28), 583-586.
- Mankiw, N., & Taylor, M. (2008). *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre* (4. Auflage Ausg.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Maroschek, N. (2006). Diplomarbeit: Untersuchung potentieller Effekte von Emissionsausgleichszahlungen auf das Flugverhalten klimaschutzorientierter Menschen. Lüneburg.
- Matthies, E. (2000). Partizipative Interventionsplanung-Überlegungen zu einer Weiterentwicklung der Psychologie im Umweltschutz. *Umweltpsychologie, Jg. 4, Heft 2*, S. 84-99.
- Matthies, E. (2005). Wie können PsychologInnen ihr Wissen besser an die PraktikerInnen bringen? Vorschlag eines neuen integrativen Einflusschemas umweltgerechten Alltagshandelns. *Umweltpsychologie, 9*(1), S. 62-81.
- Matthies, E. (2008). Fragebogen zur Energienutzung (im Projekt Change). Bochum: Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Psychologie.
- Matthies, E., & Hansmeier, N. (2010). Optimierung des Energienutzungsverhaltens in Organisationen - das Beispiel der Ruhr-Universität Bochum. *Umweltpsychologie*, S. 76-97.
- Matthies, E., & Wagner, H.-J. (2009). *Change - Veränderung nachhaltigkeitsrelevanter Routinen Teilvorhaben 1: Entwicklung eines Interventionsinstrumentes zur Förderung*. Bonn: DLR-Projektträger des BMBF; anlässlich des Vernetzungsseminars „Nachhaltiger Konsum“.

- Matthies, E., & Wagner, H.-J. (2011). *Change-Veränderung nachhaltigkeitsrelevanter Routinen in Organisationen*. Münster: LIT Verlag.
- Matthies, E., Klesse, A., Kastner, I., & Wagner, H.-J. (2011). Darstellung des Projekts Change. In E. Matthies, H.-J. Wagner, E. Matthies, & H.-J. Wagner (Hrsg.), *Change - Veränderung nachhaltigkeitsrelevanter Routinen in Organisationen* (S. 25-182). Münster: LIT Verlag.
- Matthies, E., Selge, S., & Klöckner, C. (2010). Verantwortung für die Gesundheit von anderen? Eine Anwendung des Normaktivationsmodells auf nichtraucherschützendes Verhalten im universitären Kontext. *Zeitschrift für Gesundheitspsychologie*(18 (3)), 130-134.
- Meffert, H. (2005). *Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. Konzepte-Instrumente-Praxisbeispiele. 9., überarbeitete und erweiterte Auflage*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr.Th.Gabler/GWV Fachverlage GmbH.
- Meffert, H., Burmann, C., & Kirchgeorg, M. (2008). *Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. Konzepte-Instrumente-Praxisbeispiele. 10., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr.Th.Gabler/GWV Fachverlage GmbH.
- Ministerium für Inneres und Kommunales Nordrhein-Westfalen. (2010). *Datenschutzgesetz Nordrhein-Westfalen - DSGVO NRW - Bekanntmachung der Neufassung*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=3520071121100436275
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. (2013). *Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*. Abgerufen am 10.. 11. 2013 von <http://www.umwelt.nrw.de/klima/index.php>
- Moser, K. (2007). *Wirtschaftspsychologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Mosler, H.-J., & Gutscher, H. (1998). Umweltpsychologische Interventionen für die Praxis. *Umweltpsychologie*, 2(2), S. 64-79.
- Müller. (2002). Fragebögen Hausumfeldstudien Teil 1 und 2. Aachen: Building Research Establishment.
- Müller, D. (2002). Hausumfeldstudien RWTH Aachen. Aachen: Building Research Establishment.
- Müller, J. (o.J.). Beratung für Umweltmanagementsysteme. In Deutsche UNESCO-Kommission e.V. *Deutsche UNESCO-Kommission e.V.. Hochschulen für eine nachhaltige Entwicklung. Bundesministerium für Bildung und Forschung*.
- Müller, J., & Person, R. (2011). Spezifische Potenziale & Perspektiven an Hochschulen. In E. Matthies, & H.-J. Wagner (Hrsg.), *Change - Veränderung*

- nachhaltigkeitsrelevanter Routinen in Organisationen* (S. 183-218). Münster: LIT Verlag.
- NASA Task Load Index (TLX). (2003). *NASA Task Load Index (TLX): Computerized Version (Version 2.0) [Computer Software]*. Moffett Field, CA: NASA-Ames Research Center, Aerospace Human Factors Research Division. Abgerufen am 08.. 01. 2014 von <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/>
- Naumann, S., Groß, B., & Eigenstetter, M. (2011). *Vorhabenbeschreibung "Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation"*. Birkenfeld: Institut für Softwaresysteme.
- Neenan, B. (2009). *Residential Electricity Use Feedback: A Research Synthesis and Economic Framework*. Von http://opower.com/uploads/library/file/4/residential_electricity_use_feedback.pdf abgerufen
- Nerdinger, F. W. (2011). Organisationsentwicklung. In F. W. Nerdinger, G. Blickle, & N. Schaper (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie* (S. 149-157). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Neugebauer, B. (2004). Die Erfassung von Umweltbewusstsein. Mannheim: ZUMA.
- Nolte, M. (November 2004). Motivation zur Beteiligung an Energiesparprojekten. *Energieeinsparung in Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen*, S. 25-31.
- Palm u. Stegen u. Brüggem, W.-U. u.-C. (November 2004). Energiemanagement an der Universität Lüneburg. *Energieeinsparung in Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen*, S. 16-17.
- Perry, D., Aragon, C., Meier, C., Peffer, A., & Pritoni, M. (2011). Making Energy Savings Easier: Usability Metrics for Thermostats. *Journal of Usability Studies* 6 (4), S. 226-244.
- Person, R.-D. (November 1999). *Rationelle Energieverwendung in Hochschulen*. Hannover: HIS Hochschul-Informationen-System.
- Pesch, S., Küpper, C., Herder, A., & Kursten, S. (2013). Projektbericht Organisationsentwicklung - REGENA (Vorarbeiten zur Fragebogenentwicklung im Forschungsprojekt REGENA im Masterstudiengang Human Engineering). Krefeld.
- Pfeffer, J. (1981). Management as symbolic action: the creation and maintenance of organizational paradigms. *Cummings TG, Staw BM (eds) Research in organizational behaviour*. JAI-Press, Greenwich, CT, S. 1-52.
- Piskernik, L. (2007). *Energieeffizienz*. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller.
- Projekt REGENA. (kein Datum). *Projekt: Projekt Regena*. Abgerufen am 2015. Dezember 2015 von Projekt Regena: <http://www.projekt-regena.de/projekt/>

- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. (1978). Umweltgutachten 1978. Bonn: Deutscher Bundestag/Drucksache 8 / 1938.
- Rest, J. (1999). Die Rolle des moralischen Urteils im Handeln. In D. Garz, F. Oser, & W. Althof (Hrsg.), *Moralisches Urteil und Handeln* (S. 82-116). Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Rögele, S., Schweizer-Ries, P., & Antoni, C. H. (2013). Untersuchung eines internetbasierten Feedbackinstruments zum Stromverbrauch in einem exemplarischen organisationalen Kontext. *Umweltpsychologie* (17) 2, S. 82-108.
- Rohracher, H., & Ornetzeder, M. (2003). *Partizipative Technikgestaltung und nachhaltige Entwicklung. Projektbericht für Projekt im Auftrag des Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank (Projekt Nr. 8975)*. Graz: Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur der Universität Klagenfurt.
- Santarius, T. (2012). Der Rebound-Effekt. Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz. *Wuppertal Impulse zur Wachstums Wende Nr. 5*.
- Schahn, J. (2004). Pilotprojekt Energiemanagement am Psychologischen Institut der Universität Heidelberg: Energiesparen in Universitätsgebäuden. *Umweltpsychologie*, S. 204-208.
- Schahn, J. (2006). Information zum Instrument "Konkretes Wissen". Skalensystem zur Erfassung des Umweltbewusstseins, 3. Version (SEU3). In A. Glöckner-Rist (Hrsg.), *ZUMA-Informationssystem. Elektronisches Handbuch sozialwissenschaftlicher Erhebungsinstrumente*. Mannheim: Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen.
- Schahn, J. (2007). Projekt Energiemanagement am Psychologischen Institut der Universität Heidelberg: "Ein erfolgreicher Fehlschlag". *Umweltpsychologie*, 11(2), S. 138-163.
- Schahn, J. (2007). Projekt Energiemangement am Psychologischen Institut der Universität Heidelberg: ein erfolgreicher Fehlschlag. *Umweltpsychologie*, S. 138-163.
- Schahn, J. (2010). 19. Kapitel Abfall. In V. Linneweber, E. Lantermann, E. Kals, N. Birbaumer, D. Frey, J. Kuhl, . . . R. Schwarzer (Hrsg.), *Spezifische Umwelten und umweltbezogenes Handeln* (S. 531). Göttingen: Hogrefe.
- Schahn, J., Damian, M., Schurig, U., & Fücksle, C. (2000). Konstruktion und Evaluation der dritten Version des Skalensystems zur Erfassung des Umweltbewußtseins (SEU-3). *Diagnostica*, 46(2), 84-92.
- Schein, E. (2004). *Organizational Culture and Leadership* (3. Edition Ausg.). San Francisco: Jossey-Bass.

- Scheuthle, H., & Kaiser, F. G. (2008). Person oder Situation? Umweltpsychologische Interventionen zur Änderung individuellen Verhaltens. *Wissenschaft & Umwelt. Interdisziplinär*. 11/2008, S. 204-213.
- Schlaffer, A., Hunecke, M., Dittrich-Wesbuer, A., & Freudenau, H. (2002). *Bedeutung psychologischer und sozialer Einflussfaktoren für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung*. Berlin: Umweltbundesamt.
- Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (1993). *Arbeitswissenschaft* (2010 Ausg.). Heidelberg: Springer Verlag.
- Schmid, C. e. (2013). *Heizung/Lüftung/Elektrizität - Energieechnik im Gebäude - Bau und Energie*. ETH Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- Schreier, M. (2010). Qualitative Erhebungsmethoden. In W. Hussy, M. Schreier, & G. Echterhoff (Hrsg.), *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften - für Bachelor* (S. 222-224). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag GmbH.
- Schwartz, H. (1977). *Normative Influences on Altruism*. (Vol.10 Ausg.). New York: Academic Press.
- Schwartz, H., & Howard, J. (1981). A normative decision-making model of altruism. In J. Rushton (Hrsg.), *Altruism and helping behavior: Social, personality, and developmental perspectives* (S. 189-211). Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Sexton, R. J., Brown Johnson, N., & Konakayama, A. (1987). Consumer Response to Continuous-Display Electricity-Use Monitors in a Time-of-Use Pricing Experiment. *Journal of Consumer Research* (14), S. 55-62.
- Siemens Schweiz AG. (2009). *Gebäudeautomation - Einfluss auf die Energieeffizienz*.
- Sill, Y., Yavuz, A., Böer, D., Friesen, D., Krönauer, B., Sönmez, H., . . . Avsar, M. A. (2014-2015). *Interdisziplinäre Projektarbeit: Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation I (REGENA I)*. Krefeld, Hochschule Niederrhein.
- Sonntag, K., Frieling, E., & Stegmaier, R. (2012). *Lehrbuch Arbeitspsychologie* (3. vollständig überarbeitete Auflage Ausg.). Bern: Hans Huber, Hogrefe AG.
- Sontex AG. (Februar 2012). *sontex.ch*. Von Sontex AG: http://www.sontex.ch/data/555_556%20d%2012_Web.pdf abgerufen
- Sontex AG. (Februar 2012). *sontex.ch*. (Sontex AG) Abgerufen am 21.. März 2016 von http://www.sontex.ch/data/555_556%20d%2012_Web.pdf
- Sontex SA. (08.. September 2008). *krahnefeld.de*. Abgerufen am 08.. Januar 2016 von <http://www.krahnefeld.de/assets/File/EHKV%20555-556%20Handbuch.pdf>
- Stadler, I. (2001). Dialogfähige Energiemanagementsysteme im Kontext von Energieverbrauch und Nutzerverhalten. Berlin: dissertation.de.

- Stadt Zürich, Amt für Hochbauten. (2011). *Schlussbericht Nutzerverhalten beim Wohnen*. Abgerufen am 19.. 11. 2013 von http://www.mehralswohnen.ch/fileadmin/download/1107_Bericht_Nutzerverhalten.pdf
- Stiftung Warentest. (2008). *Heizkörperthermostate: Auf Sparen programmiert*. Abgerufen am 21.. 01. 2015 von <https://www.test.de/Heizkoerperthermostate-Auf-Sparen-programmiert-1672635-0/>
- Stufflebeam, D. L. (2002). *Checkliste für das CIPP-Evaluationsmodell. 2006 übersetzt von W. Beywl*. Abgerufen am 28.. 05. 2016 von <http://www.univation.org/download/CIPP%20model-de.pdf>
- Tanner, C., & Foppa, K. (1996). Umweltwahrnehmung, Umweltbewußtsein und Umweltverhalten. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, S. 245-271.
- Telit Communications S.p.A. (kein Datum). *telit.com*. Von http://www.telit.com/fileadmin/user_upload/products/Downloads/2G/Telit_GE_GC864-QUAD_V2_and_GE864-GPS_Hardware_User_Guide_r12.pdf abgerufen
- Thaler, J. (2012). *Verhaltensbeeinflussung durch Sozialmarketing: eine Analyse der Gestaltungsmöglichkeiten*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- The UK Energy Research Centre (UKERC). (2007). *www.ukerc.ac.uk*. Abgerufen am 08.. 03. 2016 von <http://www.ukerc.ac.uk/publications/ukerc-review-of-evidence-for-the-rebound-effect-supplementary-note-graphical-illustrations-of-rebound-effects.html>
- Tobias, R., & Mosler, H.-J. (2010). Sozialfokussierte Interventionen und kollektive Aktionen. In V. Linneweber, E.-D. Lantermann, & E. Kals (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Spezifische Umwelten und umweltbezogenes Handeln. Umweltpsychologie 2* (S. 669-696). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Tolls, B., Meyer, F., Hunsänger, C., Iwanow, A., Funke, T., Weiss, T., . . . Damdin-Jenn, T.-U. (2014). *Forschungsprojekt REGENA 2. Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation. Baseline-Erhebung: Komfortempfinden, Einstellungen und Nutzerverhalten*. Krefeld, Hochschule Niederrhein.
- Trimpop, R., & Eigenstetter, M. (2009). Qualitäts-, Sicherheits- und Gesundheitszirkel als Partizipationsmöglichkeit. *Wirtschaftspsychologie, 11, Themenheft Industrielle und Organisationale Demokratie*, S. 109-118.
- Trimpop, R., & Eigenstetter, M. (2009). Qualitäts-, Sicherheits- und Gesundheitszirkel als Partizipationsmöglichkeit. *Wirtschaftspsychologie, 11, Themenheft Industrielle und Organisationale Demokratie*, S. 109-118.

- Trist, E., & Bamforth, K. ((4) 1951). Some social and psychological consequences of the long wall method of coal getting. *Human Relations*, S. 3-38.
- UfU - Unabhängiges Institut für Umweltfragen. (2003). Bundesweite Studie zum Thema "Einsparprojekte an Schulen". Beteiligung, Ergebnisse, Projekte, Erfahrungen, Aussichten. Berlin: UfU.
- Ulich, E. (2011). *Arbeitspsychologie* (7. Auflage Ausg.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Viebahn, P., & Matthies, M. (2000). *Ökobilanzierung und Umweltmanagement an Hochschulen. Konzept und Umsetzung an der Universität Osnabrück*. Bochum: Projekt Verlag.
- Wagner, H.-J., & Matthies, E. (2011). Hintergrundinformationen und Einführung zum Projekt Change. In E. Matthies, & H.-J. Wagner (Hrsg.), *Change - Veränderung nachhaltigkeitsrelevanter Routinen in Organisationen* (S. 3-24). Münster: LIT Verlag.
- Wastian, M., Braumandl, I., & von Rosenstiel (Hrsg.), L. (2009). *Angewandte Psychologie für Projektmanager. Ein Praxisbuch für die erfolgreiche Projektleitung*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Weninger, G., & Eigenstetter, M. (2010). *Inhalte anschaulich machen. Leitfaden für das Präsentieren und Moderieren*. Kröning: Asanger Verlag GmbH.
- Wider, M. (2013). *Gebäudeautomation - Der Schlüssel zu Nachhaltigkeit*. Zürich: FDM Verlag.
- Wortmann, K. (2004). Energie als Thema der Umweltpsychologie. *Umweltpsychologie*, 8(1), S. 2-11.
- Wortmann, K. (2010). Energie. In V. Linneweber, E.-D. Lantermann, & E. Kals (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Spezifische Umwelten und umweltbezogenes Handeln. Umweltpsychologie 2* (S. 409-436). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle.
- Wottawa, & Gluminski. (1995). *Psychologische Theorien für Unternehmen*. Göttingen : Verlag für Angewandte Psychologie.
- Wottawa, H., & Thierau, H. (1990). *Lehrbuch Evaluation*. Bern; Stuttgart; Toronto: Verlag Hans Huber.

10 Anhang

10.1 Berichtsteil des Verbundpartners Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld, Institut für Softwaresysteme

Dieser Anhangteil umfasst die Maßnahmentabelle, die an der Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld – mit Unterstützung durch die Verbundpartner IZES gGmbH und die HS Niederrhein, Standort Krefeld-Süd – aufgestellt wurde. Die Tabelle enthält geringst- und geringinvestive Maßnahmen, die am Umwelt-Campus Birkenfeld eruiert und größtenteils auch umgesetzt wurden. Sie lässt sich gleichzeitig als Blaupause für vergleichbare Maßnahmen an anderen Hochschulen und generell Nicht-Wohngebäuden einsetzen.

Die Tabelle enthält folgende Spalten

Nr.: Durchnummerierung der Maßnahmen. Je nach möglicher Maßnahmenanzahl pro Problematik wird diese wieder unterteilt (a, b,...)

Stichwort: Hinweis, mit welchem Thema/Bereich sich die Problematik bzw. die Maßnahme beschäftigt.

Ausgangssituation/Problematik: Hier wird die Problematik, die den erhöhten Energieverbrauch verursacht, beschrieben.

Mögliche Maßnahmen: Maßnahmen, die die vorhandene Problematik beheben und den diesbezüglichen Energiebedarf senken.

Art der Maßnahme: Hier geht es darum, ob technische oder umweltpsychologische Maßnahmen (Nutzer betreffend) zur Maßnahmenumsetzung angewandt werden.

Benötigte (Mess-)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle): Unter dieser Spalte werden die Quellen beschrieben, die benötigt werden, um (a) die Problematik zu identifizieren und (b) die Erfolgskontrolle der durchgeführten Maßnahmen durchzuführen.

Energieart: Definition der zugehörigen Energieart (Wärme, Kälte, Strom, Wasser).

Konkretes Einsparpotenzial: Unter dieser Spalte werden die Einsparpotenziale, die aufgrund der Maßnahmen erreicht wurden, wenn möglich, quantifiziert.

Akteure/Ansprechpartner: Hier werden die Stellen genannt, die für die Umsetzung der Maßnahmen anzusprechen sind.

Betroffene Nutzergruppen: Dabei handelt es sich um die Nutzer, die von der Maßnahme betroffen sind.

Raumtyp: Raumtypen, in denen die genannte Problematik auftreten kann.

Geschätzter Kostenbereich: Unterteilung der Kosten je Maßnahme in geringstintensiv, geringintensiv und hoch. Manche Maßnahmen sind keiner Kategorie eindeutig zu zuordnen, deshalb existieren auch Zwischenbereiche.

Konkrete Kosten: Dort, wo es möglich war, wurden die Kosten der Maßnahme beziffert.

Fazit: Bei Planung zu beachten: Ideen, was bei der Planung von energieeffizienten Gebäuden beachtet werden sollte

10.1.1 Liste gering- und geringstinvestiver Maßnahmen am Beispiel des Hochschulstandorts Umwelt-Campus Birkenfeld

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
1	Heizung	Heizkörper heizen evtl. auch nachts (z. B. Flure, Technikum)	Überprüfung der Vorlauf-temperatur / Nachtab-senkung und der Ventile	Technik	Daten Heizkosten-verteiler oder GLT-Daten	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		regelmäßige Überprüfung der Ventile und der GLT-Daten
2a	Heizung	Bürobeheizung von verschiedenen Räumen auch im Sommer	Überprüfung der GLT wegen TemperaturSollwert oberhalb der Raumtemperatur + Prüfung der Ventile	Technik	Gegenüberstellung betreffender HKV- und GLT-Daten und vor-Ort-Begehung	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Büro	geringst-gering	nicht definierbar; Ventilant-trieb: 40,- €/Stück (brutto)	regelmäßige Überprüfung der Ventile
2b	Heizung		Information der Raumnutzer auf beste-hende Behei-zungssituati-on; "Bedien-hinweise Einzelraumregler" in jedes Büro	Nutzer	GLT-Daten und vor-Ort-Begehung	Wärme		Betriebstechnik / Nutzer			geringst	Kopierkos-ten (Cent-Bereich)	Anbringen von Bedien-hinweisen für Technik

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
2c	Heizung		Überprüfung der Einzelraumregler wegen erhöhten Heizkörpertemperaturen	Technik	GLT-Daten und vor-Ort-Begehung	Wärme		Betriebstechnik			geringst		regelmäßige Überprüfung der Einzelraumregler (an aktuelle Gegebenheiten anpassen)
3	Heizung	Zeitschaltpläne Heizung: Nacht- und Wochenendabsenkung?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich Zeitschaltpläne (Nacht- u. Wochenendabsenkung)	Technik		Wärme		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		regelmäßige Überprüfung der Zeitschaltpläne (Anpassung an aktuelle Gegebenheiten)
4	Heizung	Heizkurven richtig eingestellt? / Vorlauftemperatur? / Hydraulischer Abgleich?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich der Heizkurven / Vorlauftemperaturen / hydraulischer Abgleich sinnvoll?	Technik		Wärme		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		regelmäßige Überprüfung der Heizkurven und Vorlauftemperaturen (Anpassung an aktuelle Gegebenheiten)
5	Heizung	Abschaltung der Heizung im Sommer?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich ggf. vollst. Abschaltung im	Technik		Wärme		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
			Sommer										
6	Heizung	Heizung an konkreten Bedarf angepasst?	Untersuchung der Heizungsanlagen hinsichtlich Optimierung des konkreten Bedarfs.	Technik		Wärme		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		regelmäßige Überprüfung der Heizungseinstellungen, wie z. B. der Heizzeiten (Anpassung an aktuelle Gegebenheiten)
7a	Heizung/ Lüftung	Hörsäle und Seminarräume werden ganztags beheizt (und z. T. belüftet) auch wenn keine Vorlesung bzw. Seminar darin stattfindet	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung der Heiz- und Lüftungszeiten an den Belegungsplan Engere Abstimmung zwischen Raumbelegung und GLT 	Technik	<ul style="list-style-type: none"> Daten Heizkostenverteiler (UCB) und Daten Regena-Pilot (am UCB) oder GLT-Daten 	Wärme; Kälte		Betriebstechnik; UCB-Contact	Alle	Hörsaal, Seminarraum	geringst		Lüftung über Bewegungsensor oder CO ₂ -Sensor regeln
7b	Heizung/ Lüftung	Heizung/ Lüftung	Erstellen eines Rankings der Hörsäle und Seminarräume bezüglich ihrer Energieeffizienz; Belegung vorrangig von	Nutzer		Wärme; Kälte		Betriebstechnik; Contact			geringst		Bei Raumbelegungsplänen, die Raumgröße beachten (z. B. keine Kleingruppen in

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
			effizienten Räumen (Meidung von ineffizienten großen Räumen wie z.B. der Aula bei kleineren Gruppen)										große Räume)
8	Heizung/Kühlung	Eventuell gleichzeitige Beheizung (Heizung) und Kühlung (Lüftung) der Hörsäle	Überprüfung der Einstellungen und der Ventile	Technik	•Daten Heizkostenverteiler (UCB) und •Daten Regena-Pilot (UCB) oder •GLT-Daten	Wärme; Kälte		Betriebstechnik	Alle	Hörsaal	geringst		regelmäßige Überprüfung der Ventile
9a	Lüftung	Drei Hörsäle: konstanter Volumenstrom für alle 3 Hörsäle (nicht getrennt und keine CO ₂ -Regelung).	Einbau notwendiger Sensoren, Maßnahmen bzgl. Regelung Lüftung							Hörsaal	gering-hoch		
9b	Lüftung	Problem: wird eine Bewegung über den Be-	Installation CO ₂ -Sensor und CO ₂ -geführte Lüftung							Hörsaal	hoch		

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
9c	Lüftung	wegungsmelder in einem der Hörsäle registriert, beginnt die Lüftung in allen drei zu laufen.	Überarbeitung der Lüftungsanlage, damit die 3 Hörsäle getrennt belüftet werden können	Technik	Bestandsaufnahme Sensoren (CO ₂ , Wärme, Lüftung), Bestandsaufnahme Lüftungssteuerung. Dezember 2014: Installation Zähler, der den Stromverbrauch der Lüftungsanlage erfasst.	Wärme, Kälte, Strom	Stromverbrauch der Lüftungsanlage auf ca. 1/3 des ursprünglichen Verbrauchs gesunken (von 155 kWh/Tag auf 52 kWh/Tag). Dazu kommt noch die Ersparnis von Heizern und Lüften (Wärme und Kälte).	Betriebstechnik	Alle	Hörsaal	gering		Einrichten eines Grenzwertes (kWh/Tag) für den Stromverbrauch + Meldung bei Überschreitung Auf getrennte CO ₂ -geregelte Belüftung der Hörsäle achten (ggf. Unterdruckproblematik berücksichtigen)

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
							Ergebnis Messung während 3 Vorlesungswochen: Der Stromverbrauch ist auf 29% gesunken, nämlich von 2.347 kWh im Januar 2015 auf 686 kWh im April/Mai 2015. Pro Vorlesungswoche werden ca. 550 kWh Strom eingespart!						

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
10	Lüftung	In den Hörsälen läuft nachts etwa zwei Stunden die Lüftung	Überprüfung der Steuerung der Lüftung	Technik	Daten der RLT-GLT	Wärme, Kälte, Strom	Ersparnis bei Abstellen der Lüftung in den drei Hörsälen nachts (läuft 2 Stunden nachts): Strom: 30 kWh/Tag => 11.000 kWh/Jahr Wärme: ca. 45 kWh/2Std. (zw. 40 u. 50 kWh/2Std.)	Betriebstechnik	Alle	Hörsaal	geringst		regelmäßige Kontrolle der Daten; Einrichten eines Grenzwertes (kWh/Tag) für den Stromverbrauch + Meldung bei Überschreitung

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
11	Lüftung	Allgemein: Lüftungsanlage richtig eingestellt?	Überprüfung der Lüftungsanlagen unter Berücksichtigung von Sollwerten der Luftqualität, Temperatur, Betriebszeiten, Volumenstrom, Druckverlust etc. und ggf. Neueinstellung.	Technik		Wärme, Kälte, Strom	Stromeinsparung durch getrennte Belüftung der 3 Hörsäle und Deaktivierung der nächtlichen Lüftung: ca. 30.000 kWh/Jahr	Betriebstechnik	Alle	Hörsaal	geringst		•Verbrauchsdaten regelmäßig kontrollieren; •Betriebszeiten, Sollwerte Luftqualität und Temperatur sowie Volumenluftstrom regelmäßig kontrollieren (Anpassung an aktuelle Gegebenheiten)
12	Kühlung	Kälteanlage optimal eingestellt (Nutzung freier Kühlung und notwendige Systemtemperaturen korrekt)?	Überprüfung der Kälteanlagen u. ggf. Neueinstellung der Anlage (Augenmerk auf Nutzung der freien Kühlung u. notwendige Systemtemperaturen).	Technik		Kälte		Betriebstechnik	Alle	Hörsaal	gering-hoch	Service-techniker ca. 1.000€ + Modul	

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
13	Kühlung	Können Kühllasten reduziert werden?	Kälteanlagen: Reduzierung der Kühllasten, insbes. durch Nutzung von Verschattungen im Sommer.	Technik		Kälte		Betriebstechnik	Alle	Hörsaal	geringst		
14	Pumpensysteme	Pumpensysteme an konkreten Bedarf angepasst?	Überprüfung der Pumpensysteme u. Anpassung an den tats. Bedarf.	Technik		Wärme; Strom		Betriebstechnik		Alle	geringst		regelmäßige Überprüfung der Pumpensysteme
15	Heizung	Heizkörper allgemein, vornehmlich im Aufenthaltsbereich, sind stark verschmutzt/verstaubt	Reinigen der Heizkörper	Technik		Wärme		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		
16a	Heizung / Regelung	Unterschiedliche Regelung der Heizkörper in einem Raum (z. B. Einzelraumregler -	Nebenraum: Abregelung des Heizkörpers mit Heizkörperthermostat	Technik		Wärme		Betriebstechnik		Nebenraum	geringst		einheitliche Regelung der Heizkörper im gleichen Raum; Lage

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
16 b	Heizung / Regelung	Heizkörperthermostat) z. B. Archiv, Büro Evtl. Heizkörperthermostat hochgedreht ohne Nutzung Raum.	Büro: Heizkörper mit manuellem Heizkörperthermostat auf Bus auflegen, sodass dieser auch über den Einzelraumregler zu steuern ist.	Technik		Wärme		Betriebstechnik		Büro	gering		der Räume beachten (z.B. Lager neben Serverraum, um Abwärme zu nutzen)
17	Heizung / Einzelraumregler	Kein Abgleich der Einzelraumregler, die in einem Raum angebracht sind (hier: Seminarraum).Unterschiedliche Sollwerte einstellbar.	Schaltung der Einzelraumregler (Raumthermostate) durch Betriebstechnik überprüfen lassen	Technik	•Daten Heizkostenverteiler (UCB) oder •GLT-Daten (Rückschluss über Verbrauch)	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Seminarraum	gering		Keine Abhängigkeiten von Fremdfirmen, z. B. in Bezug auf Einstellungsänderungen (Programmierung) Einzelraumregler
18 a	Heizung / Einzelraumregler	Raumthermostate nicht genutzter Räume stehen evtl. nicht auf 16°C	Kontrolle eingestellte Temperatur Raumthermostate für nicht genutzte Räume (16°C?)	Technik		Wärme		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
18 b	Heizung / Einzelraumregler		Mehrere Rücksetzpunkte der Temperatur setzen (Einzelraumregler)								gering-hoch		Einzelraumregler: Mehrere Rücksetzpunkte der Soll-Temperatur setzen
18 c	Heizung / Einzelraumregler		Heizdauer nach Drücken der Präsenztaste begrenzen								gering-hoch		Einzelraumregler: Begrenzung der Heizdauer nach Drücken der Präsenztaste in nicht durchgängig am Tag genutzten Räumen
19	Heizung	<u>Nebenträume:</u> Thermostat der Heizkörper, die nicht über Raumthermostat geregelt werden, stehen evtl. auf "5"	Thermostatventile auf bestimmter Stufe arretieren	Technik	Kontrolle vor Ort	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Nebenraum (Archive, WCs, Flure)	geringst-gering		Arretierung der Heizkörperthermostate in Nebenräumen
20 a	Heizung	<u>Flure, Treppenhäuser:</u> Heizkörper in den Fluren werden oft	Anbringen von programmierbaren Heizkörperthermostaten	Technik	Daten Heizkostenverteiler (UCB) oder GLT-Daten	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Flure, Treppenhäuser	geringst-gering	rund 10 Euro pro Heizkörperthermostat	

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
20 b	Heizung	hoch- aber dann nicht mehr runtergedreht (z. B. auch Treppenhäuser)	Eingriffsschutz an den betreffenden Heizkörpern anbringen	Technik		Wärme		Betriebstechnik			gering		
20 c	Heizung		Thermostatventile auf bestimmter Stufe arretieren	Technik		Wärme		Betriebstechnik		geringstgering	Arretierstifte aus Bestand; Thermostate mit verdeckter Arretierung: 12,-€/Stück	•Einsatz von Heizkörperthermostaten mit verdeckter Arretierung oder •programmierbare Heizkörperthermostate	
21 a	Heizung / Fenster	<u>WCs / Duschen:</u> Dauerkippstellung der Fenster in den WCs und die Heizkörper sind aufgedreht	Hinweisschilder an den Fenstern anbringen (Sensibilisierung von Studierenden und Mitarbeitern)	Nutzer	•Reed-Kontakte an die Fenster (Erkennen der Fensteröffnung) •Daten Heizkostenverteiler (UCB) oder •GLT-Daten (Rückschluss über Verbrauch).	Wärme		Betriebstechnik / Contact	Alle	Nebenraum (WCs, Duschen)	geringst		Erinnernde Hinweise anbringen
21 b	Heizung / Fenster		Eingriffsschutz an den betreffenden Heizkörpern anbringen	Technik		Wärme		Betriebstechnik			gering		

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
21c	Heizung / Fenster		Thermostatventile auf bestimmter Stufe arretieren	Technik		Wärme		Betriebstechnik			geringstgering	Thermostate mit verdeckter Arretierung: 12,-€/Stück	Einsatz von Heizkörperthermostaten mit verdeckter Arretierung
21d	Heizung / Fenster		Einbau einer autarken Heizungsregelung je nach Fensterstellung	Technik		Wärme		Betriebstechnik		gering	Funk-Heizkörperthermostate ca. 35,-€/Stück + Fensterkontakte ca. 15,-€/Stück	Montage selbstregulierender Heizkörperthermostate je nach Fensterstellung Achtung: Batteriewechsel erforderlich!	
21e	Heizung / Fenster		Einbau eines bedarfsgerechten Lüfters	Technik		Wärme		Betriebstechnik		geringhoch			
22	Heizung / Fenster	<u>PC-Pools, Seminarräume:</u> abends sind oft die Fenster gekippt (und die Heizung läuft)	Hinweisschild an die Tür als Erinnerung, die Fenster zu schließen	Nutzer	Sichtprüfung	Wärme		Betriebstechnik	Alle	PC-Pool, Seminarraum	geringst		

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
23 a	Lüftung mittels Fenster	Falsche Lüftung und deswegen höhere Heizkosten	CO ₂ -Ampel, die zeigt, wann (und wie) gelüftet werden sollte.	Technik/Nutzer	<ul style="list-style-type: none"> •Reed-Kontakte zur Feststellung wann die Fenster gekippt bzw. wann komplett geöffnet wurden (z. B. in zu untersuchendem Seminarraum) •Daten Heizkostenverteiler (UCB) oder •GLT-Daten (Rückschluss über Verbrauch) 	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Seminarraum	gering		- Reed-Kontakte an die Fenster - CO ₂ -Ampel mit Überwachung des CO ₂ -Gehaltes der Luft
23 b	Lüftung mittels Fenster		Sensibilisierung der Nutzer (z.B. Informationsveranstaltungen, Hinweisschilder)	Nutzer	Befragungen (Fragebögen)	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Büro, Hörsaal, Seminarraum, stud. Arbeitsraum	geringst	Kopierkosten (Cent-Bereich)	Hinweisschilder

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
24 a	Türen	Türen sind nicht geschlossen, z. B. Türen Seminarraum nach den Veranstaltungen	Hinweisschilder an den Innenseiten der Türen anbringen, dass bei Verlassen des Raumes die Türen geschlossen werden sollen.	Nutzer	•Reed-Kontakte an die Türen (Erkennen der Türöffnung) •Daten Heizkostenverteiler (UCB) oder •GLT-Daten (Rückschluss über Verbrauch).	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Seminarraum	geringst	Kopierkosten (Cent-Bereich)	Erinnernde Hinweise anbringen
24 b	Türen	gen bzw. in der vorlesungsfreien Zeit (hoher Wärmeverlust)	Alternativ: Obentürschließer	Technik	•Daten Heizkostenverteiler (UCB) oder •GLT-Daten (Rückschluss über Verbrauch)	Wärme		Betriebstechnik			gering	OTS aus Bestand genommen (Internet: ca. 125,- bis 155,-€ pro Komplettsset)	Wo möglich, Obentürschließer an Türen, die nicht offen stehen sollten (Achtung: Barrierefreiheit beachten!)
25	Türen	Arretierung der Zwischentüren → keine selbstständige Türschließung mehr möglich (hoher Wärmeverlust)	Anbringen eines Hinweisschildes, dass die Zwischentür bei Öffnung nicht arretiert werden soll	Nutzer		Wärme		Betriebstechnik	Alle	Flure	geringst	Cent-Bereich	erinnernde Hinweise anbringen
26	Türen	Keine dichte Schließung von Außentüren	Türschließer/-band überprüfen	Technik	Sichtprüfung	Wärme		Betriebstechnik	Alle	Flure	geringst		regelmäßige Überprüfung der Türen

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
27	Sensoren	Allgemein: Sind Sensoren richtig eingestellt?	Testen von bereits vorh. Sensoren (Präsenzmelder, Taster, Temperaturfühler, etc.) u. Verbesserung ihrer Wirksamkeit bzgl. Energieeinsparpotenzial, z.B. durch Anpassung der Schaltzeiten.	Technik	•Kontrolle durch Betriebstechnik •Rückmeldung Nutzer	Wärme; Strom		Betriebstechnik, Nutzer	Alle	Alle	geringst		•regelmäßige Nachfrage an Nutzer, wegen Funktionsfähigkeit der Sensoren bzw. •regelmäßige Überprüfung
28	Sensoren	Sensoren Windmesser der Jalousien nicht korrekt gesetzt?	Überprüfung und evtl. Umsetzen der Sensoren	Technik	Kontrolle vor Ort	Kälte		Betriebstechnik	Alle	Alle	gering		

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
29	Sensoren	In einigen Fluren ist tagsüber - unmittelbar in Fensternähe - die Beleuchtung unnötigerweise eingeschaltet; die dazugehörigen Bewegungsmelder reagieren nicht immer oder sind falsch eingestellt (oder defekt?)	Überprüfung der entsprechenden Bewegungsmelder	Technik		Strom		Betriebstechnik	Alle	Flure	geringst		regelmäßige Überprüfung der Sensoren
30a	Beleuchtung	Beleuchtung in den Hörsälen und Seminarräumen sowie in den WCs (und Duschen) ist nicht durch Bewegungs- oder Tageslichtsensoren geregelt. Sie ist oft eingeschaltet, obwohl sie nicht benötigt wird	Anbringen von entsprechenden Hinweisschildern, damit das Licht bei Verlassen des Raumes ausgeschaltet wird	Nutzer		Strom		Betriebstechnik / Contact	Alle	Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	geringst	Kopierkosten (Cent-Bereich)	Erinnernde Hinweise anbringen
30b	Beleuchtung	Beleuchtung in den Hörsälen und Seminarräumen sowie in den WCs (und Duschen) ist nicht durch Bewegungs- oder Tageslichtsensoren geregelt. Sie ist oft eingeschaltet, obwohl sie nicht benötigt wird	Sensibilisierung der Nutzer in den Schulungen	Nutzer		Strom		Betriebstechnik		Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	geringst		regelmäßige psychologische Interventionen (Informationsveranstaltungen)

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
30c	Beleuchtung		Zentralbefehl zum Ausschalten der Beleuchtung von 22 auf 20 Uhr	Technik		Strom		Betriebstechnik		Nebenraum (WCs)	geringst		Einrichten eines zeitlich sinnvollen Zentralbefehls für die Abschaltung der Beleuchtung
30d	Beleuchtung		Zusätzliche frühere automatisierte Abschaltung der Beleuchtung	Technik		Strom		Betriebstechnik		Seminarraum	geringst		Einrichten eines zeitlich sinnvollen Zentralbefehls für die Abschaltung der Beleuchtung
30e	Beleuchtung		Installation einer entsprechenden Sensorik	Technik		Strom		Betriebstechnik		Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	hoch		Bewegungs- und Tageslichtsensoren an geeignete Stellen montieren
30f	Beleuchtung		vorh. Leuchtmittel gegen LEDs austauschen	Technik		Strom		Betriebstechnik		Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	gering-hoch	25,- Euro/LED	Austausch veralteter Beleuchtungsmittel durch LEDs

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
31 a	Beleuchtung	Technikum: Hoher Stromverbrauch der Beleuchtung; Veraltete Beleuchtungstechnik mit hoher Leistungsaufnahme, komplette Beleuchtung oft eingeschaltet, obwohl niemand in der Halle ist; Arbeitsplatzleuchten sind alle eingeschaltet	Einsatz von effizienterer Beleuchtungstechnik	Technik	genaue Bestandsaufnahme der Beleuchtung; Kosten-Nutzen-Analyse (Amortisationsrechnung)	Strom	vorher: 30 Stück à 58W neu: 30 Stück à 25W → Einsparung: 0,99 kW an 220 Tagen (8 Std. pro Tag): 1.742,4k Wh/Jahr Stromkosten (0,18€/kWh): 313,63 €/Jahr	Betriebstechnik	Alle	Technikum	gering	Materialkosten: 30 Stück x 33,32 € (brutto) = 999,60 € (brutto) Arbeitsaufwand: nicht eindeutig definierbar	Austausch veralteter Beleuchtungsmittel durch LEDs
31 b	Beleuchtung	zusammengeschaltet	Trennung der Arbeitsplatzleuchten (nach verschiedenen Arbeitsbereichen)	Technik	Bestandsaufnahme der Arbeitsplatzbeleuchtung (wie geschaltet); Prüfung, ob Trennung möglich (Arbeitsplatzrichtlinien, Technik)	Strom		Betriebstechnik			gering		Getrennte Schaltung der Beleuchtung von unterschiedlichen Bereichen

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
31 c	Beleuchtung		Sensibilisierung der Mitarbeiter das Licht auszuschalten, wenn niemand mehr in der Halle ist; Hinweisschilder	Nutzer		Strom		Betriebstechnik / Contact			geringst		regelmäßige psychologische Interventionen (Informationsveranstaltungen); erinnernde Hinweise anbringen
32 a	Beleuchtung/ Lichtschalter	Alte Lichtschalter funktionieren nicht richtig (Beleuchtung wird deshalb nicht immer ausgeschaltet)	Einbau neuer Schalter	Technik	Kontrolle vor Ort	Strom		Betriebstechnik	Alle	Alle	gering		
32 b	Beleuchtung/ Lichtschalter	Funktionsbelegung Taster unterschiedlich	Beschriftung der Schalter	Nutzer	Kontrolle vor Ort	Strom		Betriebstechnik			geringst	Kopierkosten (Cent-Bereich)	

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
33 a	Beamer	<ul style="list-style-type: none"> In verschiedenen Seminarräumen sind die Lautsprecher immer an; die Beamer ständig im Stand-by KommG: Mikrophon & Beamer (immer) an 	Steckerleiste an den Dozententisch verlegen	Technik		Strom		Betriebstechnik	Alle	Hörsaal, Seminarraum	gering		erinnernde Hinweise anbringen (nach letzter Vorlesung am Tag ausschalten); Wenn technisch möglich, Zentralbefehl zur Komplettaus-schaltung
33 b	Beamer		Zeitschaltung (Zeitschaltuhr)	Technik		Strom		Betriebstechnik	Alle	Kommunikationsgebäude	gering		
34 a	Computer	Nicht alle PCs schalten sich in den Energiesparmodus bei längerer Nichtnutzung + es dauert sehr lange bis die PCs in den Energiesparmodus wechseln (z.B. erst nach 30 Minu-	Überprüfung und Anpassung der Energieoptionen aller Mitarbeiter-PCs durch das Rechenzentrum	Technik	Energieeffizienzplan der Büro PCs, falls vorhanden (Rechenzentrum)	Strom		Rechenzentrum	Mitarbeiter	Büro	geringst		<ul style="list-style-type: none"> regelmäßige Überprüfung der Energiespareinstellungen und entsprechende Anpassung; Energiesparaufkleber auf elektrische Geräte

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
34	Computer	ten im Energiemodus "Ausbalanciert" in Windows7)	Schulung der Mitarbeiter zur eigenständigen Anpassung der Energieoptionen	Nutzer		Strom		Betriebstechnik			geringst		regelmäßige psychologische Interventionen (Informationsveranstaltungen)
35	Computer	Bibliothek: Die Computer der Bibliothek lassen sich nicht ausschalten; dies geschieht erst nach Feierabend (22 Uhr) per Zentralschalter. Nutzer können sich lediglich abmelden und den Bildschirm ausschalten.	Modifizierung der Betriebssysteme um PCs eigenständig ausschalten zu können	Technik		Strom		Rechenzentrum			geringst		Modifizierung der Betriebssysteme und der Energiepareinstellungen
35	Computer	nach Feierabend (22 Uhr) per Zentralschalter. Nutzer können sich lediglich abmelden und den Bildschirm ausschalten.	<ul style="list-style-type: none"> • Erinnerungszettel an Nutzer den Bildschirm auszustellen • Hinweisschilder bzw. Aufkleber 	Nutzer		Strom		Bibliothekspersonal	Alle	Bibliothek / Nebenraum	geringst	Kopierkosten (Cent-Bereich)	<ul style="list-style-type: none"> •Energiesparaufkleber anbringen •erinnernde Hinweise anbringen
36	Kopierer	Einige Kopierer sind spät abends noch eingeschaltet	Energiepareinstellungen der Geräte überprüfen Prüfen: Können Zeitschaltpläne hinterlegt	Technik		Strom		Rechenzentrum/Betreiberfirma der Kopierer	Alle	Nebenraum	geringst		Hinterlegung von Zeitschaltplänen; Anbringen von Energiesparaufklebern

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
			werden?										
37	Kopierer	<u>Bibliothek:</u> Die Geräte im Kopierraum der Bibliothek sind dauerhaft eingeschaltet	Stand-by-Betrieb manuell aktivieren und Abwärme der Geräte für die Bibliothek nutzen, indem die Tür aufgelassen wird	Nutzer		Strom, Wärme		Bibliothekspersonal	Alle	Bibliothek / Nebenraum	geringst		
38	Druckluftanlage	Druckluftanlage ist vorhanden	Prüfung, ob diese Undichtigkeiten aufweist	Technik	Auskunft der Betriebstechnik, ob bzw. wann diese schon durchgeführt wurde	Strom		Betriebstechnik	Alle	Technikum			regelmäßige Wartung

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
39	Stromverbraucher / Betriebszeiten	Anormale Betriebszeiten von Stromverbrauchern (Stromverbraucher verbrauchen auch zu Zeiten Strom, zu denen sie normalerweise nicht/kaum in Betrieb sein dürften)	Einrichtung von Grenzwerten für Stromverbräuche elektrischer Verbraucher (Grenzwerte für nachts und sonntags). Meldung bei Überschreitung des Grenzwertes	Technik	GLT-Daten	Strom		Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		durch Einrichten von Grenzwerten gegeben
40	Funkrouter	Funkrouter für Schließsystem werden ständig mit Strom versorgt, auch dann, wenn sie nicht benötigt werden	Steuerung der Funkrouter durch das Rechenzentrum (Stromversorgung über Ethernet POE), Ausschaltung der entsprechenden Ports, wenn Router nicht benötigt werden	Technik		Strom	Energieeinsparung in 12 Jahren von 8.760 kWh. Dies entspricht ca. 1.500€ (Strompreis am Standort aus dem Jahr 2015) abzüglich den Kosten für ca. 2.000 zusätzlich	Rechenzentrum		Flure	geringst	In 12 Jahren: Kosten für ca. 2.000 zusätzlich benötigter Batterien + Montageaufwand	

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
							benötigter Batterien + Montageaufwand						
41	Aufzüge	Die 3 Aufzüge sind ständig in Betriebsbereitschaft	Abschaltung der Aufzüge nachts sowie an Tagen, an denen der Campus geschlossen ist	Technik		Strom		Betriebstechnik	Alle	Flure, Treppenhaus	geringst		Individuelle Schaltung der Aufzüge

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
42 a	Beleuchtung/ Aufzüge	Die Kabinenbeleuchtung der 3 Aufzüge (jeweils 8 Halogenstrahler) ist ständig eingeschaltet	Intelligente Steuerung der Kabinenbeleuchtung (das Kabinenlicht wird nur bei Anforderung des Aufzugs eingeschaltet und bei Nichtgebrauch des Fahrstuhls wieder deaktiviert)	Technik		Strom		Betriebstechnik	Alle	Flure, Treppenhaus	geringst		Intelligente Steuerung der Kabinenbeleuchtung (das Kabinenlicht wird nur bei Anforderung des Aufzugs eingeschaltet und bei Nichtgebrauch des Fahrstuhls wieder deaktiviert)
42 b	Beleuchtung/ Aufzüge		Austausch der Halogenstrahler durch LED-Spots	Technik		Strom	ca. 4.000 kWh/a (bei Austausch von 24 Halogenstrahlern à 20W gegen LEDs à 1W)	Betriebstechnik			gering		Austausch veralteter Beleuchtungsmittel durch LEDs

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
43	Automaten	Heiß- und Kaltgetränkeautomaten sind ständig in Betrieb	Einsatz von Zeitschaltuhren: Abschaltung der Automaten nachts sowie an Tagen, an denen der Campus geschlossen ist (auch mit Hersteller sprechen)	Technik		Strom		Betriebstechnik, Hersteller	Alle	Flure, Aufenthaltsbereiche	gering	ca. 20,- € / Stück	Installation von Zeitschaltuhren Kaltgetränkeautomaten an kühle Standorte stellen; Vorab benötigte Laufzeiten klären und entsprechend einstellen
44	Untertischgeräte	Unnötiger Stromverbrauch durch Untertischgeräte	Zeitschaltuhr	Technik	Strommessgerät	Strom		Betriebstechnik	Technik-Nutzer	Technikum, Sozialraum	gering		
45	Waschmaschinen/ Trockner	<u>Wohnheime:</u> Die Waschmaschinen & Trockner in den Wohnheimen sind durchgehend bzw. sehr häufig an	Informationszettel an Studierende mit der Bitte, die Geräte ggf. nach Gebrauch auszuschalten, Hinweisschild bzw. Aufkleber	Nutzer		Strom		Campus-Company / SchneiderBau GmbH	Alle Wohnheim-Bewohner	Nebenraum	geringst	Kopierkosten (Cent-Bereich)	

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
46	Waschbecken / Duschen	Waschbecken und Duschen in den Gebäuden: Wasserverbrauch?	Falls nicht schon vorhanden, Durchflussbegrenzer bzw. Sparduschköpfe einbauen	Technik		Wasser		Betriebstechnik	Alle	Hörsaal, Seminarraum, Nebenraum	gering		
47	Wasserhähne	Wasserhähne in den WCs sind mit Selbstschlussventilen ausgestattet: Nachlaufzeit?	Nachlaufzeit kontrollieren und ggf. ändern	Technik		Wasser		Betriebstechnik	Alle	Nebenraum (WCs)	geringst		
48	Toiletenspülkästen	Toiletenspülkästen mit Spartasten: Zuordnung Sparfunktion zu der entsprechenden Taste nicht eindeutig erkennbar.	Hinweisschild bzw. Aufkleber mit Anleitung für richtigen Gebrauch anbringen	Nutzer		Wasser		Betriebstechnik	Alle	Nebenraum (WCs)	geringst		
49 a	Allgemein Energiesparen	Evtl. Unwissenheit, wie Energie eingespart werden kann	Informationsblatt für alle neuen Mitarbeiter ("Verknüpfung "Umwelt"-Campus)	Nutzer		Wärme, Kälte, Strom		Betriebstechnik / Personalabteilung	Alle	Alle	geringst	Kopierkosten (Cent-Bereich)	
49 b	Allgemein Ener-		• Schulungen • Workshops	Nutzer		Wärme, Kälte,		Betriebstechnik / Personalabteilung		Alle	geringst		

Nr.	Stichwort	Ausgangssituation /Problematik	Mögliche Maßnahmen	Art der Maßnahme (Technik oder Nutzer)	Benötigte (Mess)Daten (Problemidentifikation/Erfolgskontrolle)	Energieart	Konkretes Einsparpotenzial in [kWh/a]; bei Wasser [l/a]	Akteure / Ansprechpartner	Betroffene Nutzergruppe	Raumtyp	Geschätzter Kostenbereich [geringst, gering, hoch]	Konkrete Kosten in [€]	Bei Planungen zu beachten
	gie-spa-ren					Strom							
50	Allgemein Energie-spa-ren	Fehlende Abstimmung zwischen den verschiedenen Stellen der Hochschule	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der internen Kommunikation • Schulungen • Workshops 	Nutzer		Wärme, Kälte, Strom		Personalabteilung / Rechenzentrum / Betriebstechnik	Alle	Alle	geringst		

10.2 Berichtsteil des Verbundpartners Hochschule Niederrhein, Standort Krefeld-Süd: Befragungs- und Beobachtungsinstrumente

10.2.1 Fragebogen Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE) Mitarbeitende

Liebe Mitarbeiter, liebe Kollegen,

mit dem folgenden Bogen möchten wir im Rahmen des Forschungsprojektes REGENA zur Energieoptimierung die Einstellungen von Hochschulmitgliedern erheben.

Bitte nehmen Sie sich etwa 20 Minuten Zeit, um uns die folgenden Fragen zu beantworten.

Die Teilnahme an der Befragung ist selbstverständlich freiwillig, die erfassten Daten werden anonymisiert erhoben und aggregiert weiterverarbeitet, sodass keine Rückführung auf individuelle Daten möglich ist. Es wird auf dem Fragebogen um einen Codename gebeten, den nur Sie sich selbst zuordnen können. Der Sinn des Codes ist es, bei mehrfacher Befragung aus Forschungsgründen trotz Anonymisierung eine Zuordnung der Bögen zu ermöglichen.

Bitte stören Sie sich nicht daran, wenn vermeintlich Fragen doppelt gestellt werden. Forschungsfragebögen sind umfangreicher und genauer, als Sie es sonst kennen. Bitte gehen Sie zügig vor und überlegen Sie nicht lange. Bitte seien Sie ehrlich bei der Beantwortung, sonst können keine richtigen Schlüsse aus der Befragung getroffen werden.

Codename (notwendig für wiederholte Befragungen)

	zweiter Buchstabe Vorname Mutter
	dritter Buchstabe Vorname Mutter
	zweiter Buchstabe Geburtsort
	dritter Buchstabe Geburtsort

Datum der Erhebung: Alter:.....

Geschlecht: Männlich Weiblich

Hier einige Hinweise zum Ausfüllen des Bogens:

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
--	---------------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------	-------------------------------

Beispiel: Ich empfinde es als eine unzumutbare Belastung, energieeffizient handeln zu müssen.

Bitte wählen Sie die für Sie am meisten zutreffende Antwortalternative aus. Wenn Sie der Aussage nicht zustimmen, so kreuzen Sie bitte ganz links „Stimme gar nicht zu“ an; wenn Sie Ihre volle Zu-

stimmung ausdrücken möchten, so kreuzen Sie bitte ganz rechts „Stimme voll und ganz zu“ an. Mit den Antwortalternativen dazwischen können Sie Ihre Zustimmung abstimmen. Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile eine der möglichen Antwortalternativen an.

Als erstes möchten wir wissen, wie gut Sie über energiesparendes Verhalten Bescheid wissen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
1. Mir ist bewusst, dass Geräte auch im Standby einen großen Energieverbrauch verursachen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Der effektivste Weg für den Austausch verbrauchter Luft ist es, das Fenster weit zu öffnen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Ich weiß über den Energieverbrauch an meinem Büro- bzw. Vorlesungsraum Bescheid.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Wenn man das Fenster nur kurz weit öffnet, geht sehr viel Energie verloren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Die günstige Form zu Lüften ist es, das Fenster auf Kippstellung zu halten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Die energiesparendste Form zu Lüften ist es, die Kippstellung des Fensters zu nutzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Das Lüftungsverhalten hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Ich weiß, wie ich den Energieverbrauch im Büro- bzw. Vorlesungsraum beeinflussen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Die Temperatur des Büro- bzw. Vorlesungsraums hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Es stellt sich die Frage, ob und wie Maßnahmen zum energiesparenden Verhalten von der Hochschule vorgegeben werden sollen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
10. Die Hochschule sollte, wenn es um Energiesparen geht, in die Entscheidungsfreiheit des Einzelnen eingreifen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Die Hochschule sollte es jedem selbst überlassen, wie mit den zu Verfügung stehenden Ressourcen sparsam umgegangen wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Energiebewusstes Verhalten sollte von der Hochschulleitung her vorgegeben werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Die Hochschule sollte ihren Strom- oder Gasverbrauch regelmäßig kontrollieren, um Energie zu sparen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Es ist Aufgabe der Hochschule dafür zu sorgen, dass hier alles energieeffizient gestaltet wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie stehen Sie selbst dem Energiesparen an der Hochschule gegenüber?

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
15. Energiesparen an der Hochschule stehe ich positiv gegenüber.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Ich finde es wichtig, dass alle Energiesparmöglichkeiten genutzt werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Die sogenannte ökologische Krise, die uns Menschen bevorsteht, wird total übertrieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Ich bin überzeugt, dass wir in Deutschland die Probleme, die aus dem Klimawandel resultieren, bald technisch bewältigen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Ich mache mir ernsthaft Sorgen, wenn ich an die Erwärmung der Erdatmosphäre denke.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Ich fühle mich verpflichtet, meinen Teil zum Energiesparen beizutragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. Energiesparen an der Hochschule stehe ich negativ gegenüber.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Es ist nicht meine Aufgabe, mich darum zu kümmern, dass hier energieeffizient gehandelt wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23. Wissenschaft und Technik werden zukünftig viele Energieprobleme lösen, ohne dass wir unsere Lebensweise ändern müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Das Umweltproblem bereitet mir keine ernsthaften Sorgen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25. Ich begrüße es, sich darum zu bemühen, Energie einzusparen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26. Neben den vielen anderen Aufgaben bleibt mir für Aktivitäten des Energiesparens keine Zeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
27. Meiner Meinung nach nehmen die Umweltbelastungen in ihrer Gesamtheit immer weiter zu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
28. Ich finde es sinnvoll, den Energieverbrauch zu reduzieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
29. Im Vergleich zur Industrie kann ich als Mitarbeiter der Hochschule nur wenig zur Energieeinsparung beitragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
30. Nach meiner Einschätzung wird das Energieproblem in seiner Bedeutung von vielen Umweltschützern stark übertrieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
31. Als Mitarbeiter an der Hochschule kann ich durch mein Verhalten sowieso nichts zum Energiesparen beitragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
32. Ich halte es für wichtig, dass Energiesparen auch am Arbeitsplatz Thema wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Im Folgenden würden wir gerne wissen, wie Sie und Ihre Kollegen mit Energie umgehen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
33. Ich habe mit Kollegen darüber gesprochen, ob wir die Temperatur im Zimmer absenken können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
34. Kollegen machen mich darauf aufmerksam, wenn es in meinem Raum sehr warm ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
35. Ich werde von anderen hingewiesen, wenn ich das Licht brennen lasse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
36. Beim Einkauf von neuen Elektrogeräten achte ich auf einen niedrigen Stromverbrauch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
37. Kollegen ermahnen mich, darauf zu achten bei laufender Heizung Türen und Fenster zu schließen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
38. Um Strom zu sparen, werde ich künftig beim Einkauf auf verbrauchsarme Geräte achten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
39. Ich werde von anderen darauf hingewiesen, wenn ich die Rechner über Nacht anlasse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
40. Ich habe mit Kollegen schon darüber gesprochen, ob bzw. wie man den Energieverbrauch am Fachbereich senken könnte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
41. Ich werde von anderen darauf hingewiesen, wenn ich das Fenster offen lasse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
42. Bei der Anschaffung neuer Geräte werde ich zukünftig auf Energieeffizienz achten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Die folgenden Fragen beziehen sich auf eine Einflussnahme der Hochschule auf energieeffizientes Verhalten bei ihren Mitgliedern/Angehörigen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
43. Energieeffizienz ist ein regelmäßiges Thema in unserer Hochschule.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
44. Man wird von der Hochschule regelmäßig über energieeffizientes Verhalten informiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
45. In den täglichen Routinen zeigt sich nicht, dass Energieeffizienz ein bedeutender Wert in der Hochschule ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
46. In unserer Hochschule wird Verschwendung von Energie stillschweigend akzeptiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
47. Wenn Probleme bei Energieeffizienz erkannt werden, dann wird sofort darauf reagiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
48. Die Hochschule ist ernsthaft an Energieeffizienz interessiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
49. Statistiken zu Energieeffizienz werden in unserer Hochschule selten diskutiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Herzlichen Dank für Ihre Antworten.

10.2.2 Fragebogen Einstellungen und Verhaltensintentionen (EVE) Studierende

Liebe Studierende,

mit dem folgenden Bogen möchten wir im Rahmen des Forschungsprojektes REGENA zur Energieoptimierung die Einstellungen von Hochschulmitgliedern erheben.

Bitte nehmen Sie sich etwa 20 Minuten Zeit, um uns die folgenden Fragen zu beantworten.

Die Teilnahme an der Befragung ist selbstverständlich freiwillig, die erfassten Daten werden anonymisiert erhoben und aggregiert weiterverarbeitet, sodass keine Rückführung auf individuelle Daten möglich ist. Es wird auf dem Fragebogen um einen Codename gebeten, den nur Sie sich selbst zuordnen können. Der Sinn des Codes ist es, bei mehrfacher Befragung aus Forschungsgründen trotz Anonymisierung eine Zuordnung der Bögen zu ermöglichen.

Bitte stören Sie sich nicht daran, wenn vermeintlich Fragen doppelt gestellt werden. Forschungsfragebögen sind umfangreicher und genauer, als Sie es sonst kennen. Bitte gehen Sie zügig vor und überlegen Sie nicht lange. Bitte seien Sie ehrlich bei der Beantwortung, sonst können keine richtigen Schlüsse aus der Befragung getroffen werden.

Codename (notwendig für wiederholte Befragungen)

	zweiter Buchstabe Vorname Mutter
	dritter Buchstabe Vorname Mutter
	zweiter Buchstabe Geburtsort
	dritter Buchstabe Geburtsort

Datum der Erhebung: Alter:.....

Geschlecht: Männlich Weiblich

Hier einige Hinweise zum Ausfüllen des Bogens:

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
Beispiel: Ich empfinde es als eine unzumutbare Belastung, energieeffizient handeln zu müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Bitte wählen Sie die für Sie am meisten zutreffende Antwortalternative aus. Wenn Sie der Aussage nicht zustimmen, so kreuzen Sie bitte ganz links „Stimme gar nicht zu“ an; wenn Sie Ihre volle Zustimmung ausdrücken möchten, so kreuzen Sie bitte ganz rechts „Stimme voll und ganz zu“ an. Mit den Antwortalternativen dazwischen können Sie Ihre Zustimmung abstimmen. Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile eine der möglichen Antwortalternativen an.

Als erstes möchten wir wissen, wie gut Sie über energiesparendes Verhalten Bescheid wissen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
1. Mir ist bewusst, dass Geräte auch im Standby einen großen Energieverbrauch verursachen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Der effektivste Weg für den Austausch verbrauchter Luft ist es, das Fenster weit zu öffnen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Ich weiß über den Energieverbrauch an meinem Seminar- bzw. Vorlesungsraum Bescheid.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Wenn man das Fenster nur kurz weit öffnet, geht sehr viel Energie verloren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Die günstige Form zu Lüften ist es, das Fenster auf Kippstellung zu halten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Die energiesparendste Form zu Lüften ist es, die Kippstellung des Fensters zu nutzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Das Lüftungsverhalten hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Ich weiß, wie ich den Energieverbrauch im Seminar- bzw. Vorlesungsraum beeinflussen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Die Temperatur des Seminar- bzw. Vorlesungsraum hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Es stellt sich die Frage, ob und wie Maßnahmen zum energiesparenden Verhalten von der Hochschule vorgegeben werden sollen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
10. Die Hochschule sollte, wenn es um Energiesparen geht, in die Entscheidungsfreiheit des Einzelnen eingreifen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Die Hochschule sollte es jedem selbst überlassen, wie mit den zu Verfügung stehenden Ressourcen sparsam umgegangen wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Energiebewusstes Verhalten sollte von der Hochschulleitung her vorgegeben werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Die Hochschule sollte ihren Strom- oder Gasverbrauch regelmäßig kontrollieren, um Energie zu sparen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Es ist Aufgabe der Hochschule dafür zu sorgen, dass hier alles energieeffizient gestaltet wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie stehen Sie selbst dem Energiesparen an der Hochschule gegenüber?

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
15. Energiesparen an der Hochschule stehe ich positiv gegenüber	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Ich finde es wichtig, dass alle Energiesparmöglichkeiten genutzt werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Die sogenannte ökologische Krise, die uns Menschen bevorsteht, wird total übertrieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Ich bin überzeugt, dass wir in Deutschland die Probleme, die aus dem Klimawandel resultieren, bald technisch bewältigen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Ich mache mir ernsthaft Sorgen, wenn ich an die Erwärmung der Erdatmosphäre denke.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Ich fühle mich verpflichtet, meinen Teil zum Energiesparen beizutragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
15. Energiesparen an der Hochschule stehe ich positiv gegenüber	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. Energiesparen an der Hochschule stehe ich negativ gegenüber.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Es ist nicht meine Aufgabe, mich darum zu kümmern, dass hier energieeffizient gehandelt wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23. Wissenschaft und Technik werden zukünftig viele Energieprobleme lösen, ohne dass wir unsere Lebensweise ändern müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Das Umweltproblem bereitet mir keine ernsthaften Sorgen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25. Ich begrüße es, sich darum zu bemühen, Energie einzusparen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26. Neben den vielen anderen Aufgaben bleibt mir für Aktivitäten des Energiesparens keine Zeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
27. Meiner Meinung nach nehmen die Umweltbelastungen in ihrer Gesamtheit immer weiter zu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
28. Ich finde es sinnvoll, den Energieverbrauch zu reduzieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
29. Im Vergleich zur Industrie kann ich als Student der Hochschule nur wenig zur Energieeinsparung beitragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
30. Nach meiner Einschätzung wird das Energieproblem in seiner Bedeutung von vielen Umweltschützern stark übertrieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
31. Als Student an der Hochschule kann ich durch mein Verhalten sowieso nichts zum Energiesparen beitragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
32. Ich halte es für wichtig, dass Energiesparen auch am Studienplatz Thema wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Im Folgenden würden wir gerne wissen, wie Sie und Ihre Kommilitonen mit Energie umgehen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
33. Ich habe mit Kommilitonen darüber gesprochen, ob wir die Temperatur im Zimmer absenken können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
34. Kommilitonen machen mich darauf aufmerksam, wenn es in meinem Raum sehr warm ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
35. Ich werde von anderen hingewiesen, wenn ich das Licht brennen lasse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
36. Beim Einkauf von neuen Elektrogeräten achte ich auf einen niedrigen Stromverbrauch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
37. Kommilitonen ermahnen mich, darauf zu achten bei laufender Heizung Türen und Fenster zu schließen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
38. Um Strom zu sparen, werde ich künftig beim Einkauf auf verbrauchsarme Geräte achten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
39. Ich werde von anderen darauf hingewiesen, wenn ich die Rechner über Nacht anlasse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
40. Ich habe mit Kommilitonen schon darüber gesprochen, ob bzw. wie man den Energieverbrauch am Fachbereich senken könnte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
41. Ich werde von anderen darauf hingewiesen, wenn ich das Fenster offen lasse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
42. Bei der Anschaffung neuer Geräte werde ich zukünftig auf Energieeffizienz achten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Die folgenden Fragen beziehen sich auf eine Einflussnahme der Hochschule auf energieeffizientes Verhalten bei ihren Mitgliedern/Angehörigen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
43. Energieeffizienz ist ein regelmäßiges Thema in unserer Hochschule.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
44. Man wird von der Hochschule regelmäßig über energieeffizientes Verhalten informiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
45. In den täglichen Routinen zeigt sich nicht, dass Energieeffizienz ein bedeutender Wert in der Hochschule ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
46. In unserer Hochschule wird Verschwendung von Energie stillschweigend akzeptiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
47. Wenn Probleme bei Energieeffizienz erkannt werden, dann wird sofort darauf reagiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
48. Die Hochschule ist ernsthaft an Energieeffizienz interessiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
49. Statistiken zu Energieeffizienz werden in unserer Hochschule selten diskutiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Herzlichen Dank für Ihre Antworten. Wenn Sie Interesse haben, stellen wir Ihnen auf der Website von Monika Eigenstetter die Auswertungen des Fragebogens zur Verfügung.

10.2.3 A.3 Komfortempfinden Studierende

Liebe Studierende,

mit dem folgenden Bogen möchten wir im Rahmen des Forschungsprojektes REGENA zur Energieoptimierung das Komfortempfinden von Hochschulmitgliedern erheben.

Der vorliegende Fragebogen dient der Erfassung von Ihrem Komfort- und Wohlbefinden an Ihrem Studienplatz. Bitte nehmen Sie sich etwa 10 Minuten Zeit, um uns die folgenden Fragen zu beantworten.

Die Teilnahme an der Befragung ist selbstverständlich freiwillig, die erfassten Daten werden anonymisiert erhoben und aggregiert weiterverarbeitet, sodass keine Rückführung auf individuelle Daten möglich ist.

Bitte antworten Sie unbedingt so ehrlich und so vollständig wie möglich, da nur so Rückschlüsse auf tatsächliches energetisches Verhalten in Vorlesungsräumen möglich sind. Das Ziel der Erhebung ist es, Optimierungen im energetischen Handeln so vorzuschlagen, dass eine Integration in alltägliches Handeln möglich ist.

Bitte unbedingt angeben

Raum

Datum der Erhebung:.....

Uhrzeit:.....

Freiwillige Angabe:

Haben Sie an der Informationsveranstaltung bezüglich „Wärme“ teilgenommen bzw. haben Sie die diesbezüglichen aktuellen Informationen gelesen? Ja Nein

Sind Ihnen die REGENA-Hinweise im Gebäude aufgefallen (z. B. Türen schließen,...)?

Ja

Nein

Wie bewerten Sie die klimatische Situation in Ihrem Arbeitsraum?

1) Temperatur im Raum

	1	2	3	4	5	
behaglich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	nicht behaglich
zu heiß	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	zu kalt
stabil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	variiert über den Tag

2) Luftbewegungen im Raum

	1	2	3	4	5	
keine Luftbewegung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	zu zugig

3) Luftqualität im Raum

	1	2	3	4	5	
trocken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	feucht
frisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stickig
geruchslos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stinkend
angenehm	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	nicht angenehm

4) Abstrahlung

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Teils/teils	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
Von den Böden geht eine starke Abstrahlungskälte aus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Von den Fenstern geht eine hohe Abstrahlungskälte aus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es gibt eine starke Abstrahlungskälte von den Wandflächen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5) Wie bewerten Sie den Gesamteindruck in Ihrem Arbeitsraum?

	1	2	3	4	5	
behaglich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	unbehaglich

6) Haben Sie oder Ihre Kommilitonen Anfragen gestellt zur Verbesserung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimasituation im Gebäude?

Ja Nein

7) Gibt es weiteres, was Sie an den klimatischen Bedingungen stört?

.....

10.2.4 Fragebogen Umgebungsbedingungen und Verhalten (zu räumlichen und technischen Gegebenheiten der Arbeits- und Vorlesungsräume) (UVE) und Komfortempfinden Mitarbeitende

Sehr geehrte Damen und Herren,

mit dem folgenden Fragebogen erheben wir im REGENA-Projekt erneut – wie im Vorjahr - das Komfortempfinden an Ihrem Arbeitsplatz. Bitte nehmen Sie sich etwa 20 Minuten Zeit, um uns die folgenden Fragen zu beantworten.

Die Teilnahme an der Befragung ist selbstverständlich freiwillig, die erfassten Daten werden anonymisiert erhoben und aggregiert weiterverarbeitet, sodass keine Rückführung auf individuelle Daten möglich ist. Im Folgenden wird auf dem Fragebogen ein Codename erstellt, den nur Sie sich selbst zuordnen können. Der Sinn des Codes ist es, bei mehrfacher Befragung aus Forschungsgründen eine Zuordnung der Bögen untereinander vornehmen zu können.

Bitte antworten Sie unbedingt so ehrlich und so vollständig wie möglich, da nur so Rückschlüsse auf tatsächliches energetisches Verhalten in Büroräumen möglich sind. Das Ziel der Erhebung ist es, Optimierungen im energetischen Handeln so vorzuschlagen, dass eine Integration in alltägliches Handeln möglich ist.

Bitte geben Sie die ausgefüllten Fragebögen im beigefügten verschlossenen Umschlag per Hauspost zurück an das A.U.G.E. Institut.

Datum der Erhebung:.....

Codename (notwendig für wiederholte Befragungen)

<input type="text"/>	zweiter Buchstabe Vorname Mutter
<input type="text"/>	dritter Buchstabe Vorname Mutter
<input type="text"/>	zweiter Buchstabe Geburtsort
<input type="text"/>	dritter Buchstabe Geburtsort

Freiwillige Angaben:

Haben Sie an der Informationsveranstaltung bezüglich „Strom“ teilgenommen bzw. haben Sie die diesbezüglichen Informationen gelesen (Mai 2015)? Ja Nein

Haben Sie die von uns verteilten Informationen bezüglich „Wärme“ gelesen?

Ja Nein

Sind Ihnen die REGENA-Hinweise im Gebäude aufgefallen (z.B. Türen schließen,...)?

Ja Nein

A. Wir bitten Sie, die Rahmenbedingungen, Ihren Raum sowie Ihre Ausstattung zu beschreiben.

1)	Wie lange arbeiten Sie schon in diesem Gebäude?JahreMonate
2)	Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie durchschnittlich in diesem Gebäude?Stunden	
3)	Wie weit ist Ihr Arbeitsplatz vom nächsten Fenster entfernt?m	
4)	Wie weit ist Ihr Arbeitsplatz von der Tür entfernt?m	
5)	In welcher Art von Raum arbeiten Sie hauptsächlich? (Mehrfachantwort möglich)	Büro <input type="radio"/>	Seminarraum <input type="radio"/>
			Labor <input type="radio"/>
6)	In welcher Etage befindet sich Ihr Arbeitsraum?	EG <input type="radio"/>	1. OG <input type="radio"/>
			2. OG <input type="radio"/>
7)	In welche Himmelsrichtung zeigen Ihre Fenster?	Ost <input type="radio"/>	Süd <input type="radio"/>
			West <input type="radio"/>
8)	Lassen sich die Fenster in Ihrem Büro öffnen?	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
9)	Welche Möglichkeiten zum Luftaustausch haben Sie in Ihrem Raum?	<input type="radio"/> Fenster lässt sich vollständig öffnen und kippen	<input type="radio"/> Fenster lässt sich kippen aber nicht vollständig öffnen
10)	Von wie vielen Personen wird der Raum, in dem Sie arbeiten, in der Regel genutzt?	Anzahl:	
11)	Sind an Ihrem Arbeitsplatz Heizkörper vorhanden?	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
12)	Wie würden Sie insgesamt die Wirkung der Heizung in Ihrem Büro beschreiben?		
		1	2
		3	4
		5	
	zufriedenstellend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nicht zufriedenstellend		
13)	Welche Raumtemperatur haben Sie gerne idealerweise im Büro?°C	
14)	Können Sie im Zimmer die Temperatur eigenständig regeln?	<input type="radio"/> Nein	<input type="radio"/> Ja, über einfache Thermostate
			<input type="radio"/> Ja, über programmierbare Thermostate
15)	Haben Sie für eine komfortable Beheizung Ihres Zimmers schon einmal mit dem Thermostat Ihre gewünschte Temperatur nachreguliert?	<input type="radio"/> Nein	<input type="radio"/> Ja, einmal
			<input type="radio"/> Ja, mehrfach
			<input type="radio"/> Ja, häufig
16)	Ist der Thermostat leicht zugänglich?	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein

17) Auf welcher Stufe steht Ihr Thermostat aktuell?

- Er steht auf StufeSeine Skala reicht vonbis
- Ich habe einen Regler ohne Skala. Er ist folgendermaßen eingestellt:

18) Welcher Thermostattyp ist bei Ihnen angebracht? manuell programmierbar

19) Achten Sie beim Verlassen des Raumes darauf, dass der Thermostat auf die kleinste Stufe heruntergedreht ist? Ja Nein

20) Achten Sie beim Öffnen des Fensters darauf, dass der Thermostat zuge-dreht wird? Ja Nein

B. Bitte füllen Sie die folgenden Fragen nur aus, sofern Sie programmierbare Thermostate haben. Sonst gehen Sie bitte weiter zu Abschnitt C.

21) Es ist einfach, die richtige Temperatur an der Heizung einzustellen.

- Ja Nein

22) Ist Ihnen bekannt, welche Funktionen die programmierbaren Thermostate haben?

- Nein Ja

Wenn ja, welche sind das?

23) Haben Sie den Thermostat auf Ihre Anwesenheitszeiten programmiert?

- Ja, einmal Ja, mehrfach Ja, häufig Nein

Wenn nein: warum nicht?

.....

24) Haben Sie schon einmal einen Batteriewechsel an einem programmierbaren Thermostat veranlasst?

- Ja Nein

Wenn nein: warum nicht?

.....

25) Was bedeutet die folgende Anzeige?



Es bedeutet

-
- keine Angabe

C. Wie bewerten Sie die klimatische Situation in Ihrem Arbeitsraum?

26) Temperatur im Winter

	1	2	3	4	5	
behaglich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	nicht behaglich
zu heiß	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	zu kalt
stabil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	variiert über den Tag

27) Luftbewegungen im Winter

	1	2	3	4	5	
keine Luftbewegung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	zu zugig

28) Luftqualität im Winter

	1	2	3	4	5	
trocken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	feucht
frisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stickig
geruchslos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stinkend
angenehm	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	nicht angenehm

29) Abstrahlung

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Teils/teils	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
Von den Böden geht eine starke Abstrahlungskälte aus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Von den Fenstern geht eine hohe Abstrahlungskälte aus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es gibt eine starke Abstrahlungskälte von den Wandflächen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

30) Wie bewerten Sie den Gesamteindruck in Ihrem Arbeitsraum?

	1	2	3	4	5	
behaglich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	unbehaglich

31) Haben Sie oder Ihre Zimmerkollegen Anfragen gestellt zur Verbesserung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimasituation in Ihrem Gebäude?

Ja Nein

D. Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Umgebungsbedingungen

32) Wie viele Möglichkeiten zur Einflussnahme haben Sie über die folgenden Systeme an Ihrem Arbeitsplatz?

	volle Kontrolle		mittlere Kontrollmöglichkeit		keine Kontrolle
Temperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lüftung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sonnenschutz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beleuchtung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lärm	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

E. Wir interessieren uns für die Geräte an Ihrem Arbeitsplatz

33) Ist an Ihrem Arbeitsplatz eine abschaltbare Steckerleiste vorhanden? Ja Nein

34) Welche Geräte sind an Ihrem Arbeitsplatz vorhanden und ggf. an die abschaltbare Steckerleiste angeschlossen?	Gerät vorhanden und an eine <u>abschaltbare</u> Steckerleiste angeschlossen	Gerät vorhanden, aber <u>nicht</u> angeschlossen	Gerät nicht vorhanden
Notebook	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Monitor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PC	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Drucker	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kombigerät (Kopieren, Drucken, Scannen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schreibtischlampe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kaffeemaschine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ladegerät für Smartphone/Handy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sonstige Geräte, und zwar:			
.....	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
.....	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

35) Bei der Anschaffung von neuen elektrischen Geräten für meinen Arbeitsplatz kann ich Einfluss darauf nehmen, dass diese energiesparend sind. Ja Nein

36) Sehen Sie sich in der Lage, die Energiesparoptionen an Ihrem PC selbst zu aktivieren bzw. die Einstellungen selbst zu verändern?

- keine Möglichkeit, Energie-sparoptionen zu aktivieren Ja Nein

F. Dieser letzte Abschnitt fragt nach Verhaltensweisen.

Die folgenden Aussagen erscheinen Ihnen möglicherweise sehr ähnlich. Bitte entscheiden Sie dennoch für jede Zeile, inwieweit Sie den folgenden Aussagen zustimmen, da es sich um wissenschaftliche Skalen handelt.

Wie sieht Ihr Lüftungsverhalten am Arbeitsplatz aus?

- 37) Wie lüften Sie vorzugsweise Ihr Büro?(bitte nur Einfachennung) Fenster ständig ganz geöffnet
- Ständige Kippstellung der Fenster
- Zeitweise Kippstellung der Fenster
- Stoßlüftung (kurzes Öffnen des gesamten Fensters) einmal täglich
- Stoßlüftung (kurzes Öffnen des gesamten Fensters) mehrmals täglich
- Anders als beschrieben
- Ich lüfte meinen Arbeitsraum nicht

38) Falls Sie Stoßlüftung durchführen: wie lange lüften Sie im Durchschnitt?Minuten

39) Achten Sie beim Verlassen des Raumes darauf, dass die Fenster geschlossen sind? Ja Nein

40) Achten Sie beim Verlassen des Raumes darauf, dass die nicht benötigten Endverbraucher ausgeschaltet sind? Ja Nein

41) Mein(en) PC/Laptop/Notebook zum Feierabend/zum Wochenende auszuschalten ist etwas...

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Teils/teils	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
...was ich routinemäßig mache, bevor ich abends den Arbeitsplatz verlasse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

42) Meinen PC zu Zeiten längerer, vorhersehbarer Abwesenheit (ab ca. 10 Minuten) auszuschalten ist etwas...

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Teils/teils	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
...was ich routinemäßig mache, bevor ich den Arbeitsplatz verlasse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

43) In der dunklen Jahreszeit, immer wenn Sie als Letzte(r) den Raum verlassen: die Deckenbeleuchtung an Ihrem Arbeitsplatz zu Zeiten längerer, vorhersehbarer Abwesenheit auszuschalten ist etwas...

	nie	selten	gelegentlich	oft	immer
...was ich nicht mache	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...was ich routinemäßig mache, bevor ich den Arbeitsplatz verlasse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ich nutze keine Deckenbeleuchtung

44) In welchen Situationen haben Sie - in der dunklen Jahreszeit - an Ihrem Arbeitsplatz die Deckenbeleuchtung ausgeschaltet?

	nie	selten	gelegentlich	oft	immer
zum Feierabend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
bei kürzerer Abwesenheit (Kaffee holen, Post holen, Toilette)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
bei längerer vorhersehbarer Abwesenheit (Pause, Seminar, Besprechung) > 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
wenn das Tageslicht ausreicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ich nutze die Deckenbeleuchtung nicht

45) In welchen Situationen haben Sie - in Ihrer aktuellen Arbeitswoche - Ihren PC/Laptop/Notebook manuell heruntergefahren

	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Teils/teils	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
bei längerer vorhersehbarer Abwesenheit (> 1h)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
zum Feierabend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

46) In welchen Situationen haben Sie – in Ihrer aktuellen Arbeitswoche – Ihren PC/Laptop/Notebook manuell in den Standby oder in den Ruhezustand versetzt?

	nie	selten	gelegentlich	oft	immer
bei längerer absehbarer Abwesenheit > 1h	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/> keine Möglichkeit (die manuelle Aktivierung ist an meinem PC nicht eingerichtet oder nicht möglich)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

47) In welchen Situationen haben Sie – in Ihrer aktuellen Arbeitswoche – Ihre Geräte über die abschaltbare Steckerleiste vom Stromnetz getrennt?

- | | nie | selten | gelegentlich | oft | immer |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| bei längerer absehbarer Abwesenheit > 1h | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="checkbox"/> keine abschaltbare Steckerleiste vorhanden | | | | | |

48) Wie oft haben Sie während des Stoßlüftens die Heizungen abgedreht?

- | | nie | selten | gelegentlich | oft | immer |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="checkbox"/> Heizung lässt sich nicht ausschalten | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Heizung wird derzeit nicht genutzt | | | | | |

Wir danken Ihnen vielmals für das Ausfüllen!

10.2.5 Beobachtungsbogen Hörsaal

Beobachtungsbogen

Hörsaal

Seminarraum

Etage:.....

Raumnummer:.....

Datum:.....

Uhrzeit zu Beginn der Beobachtung:

Uhrzeit am Ende der Beobachtung:

Anzahl der anwesenden Personen zu Beginn der Veranstaltung:

Anzahl der anwesenden Personen zum Ende der Veranstaltung:

Anzahl Fenster:	Anzahl Türen:
Sind alle Fenster zu öffnen? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	
Sind die Fensterbänke freigeräumt, sodass Fenster weit geöffnet werden können? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	

Bitte protokollieren Sie in der folgenden Tabelle mit Uhrzeiten, wann welche Fenster geöffnet und geschlossen wurden.

	Fenster 1	Fenster 2	Fenster 3	Fenster 4	Fenster 5	Fenster 6	Fenster 7	Fenster 8	Fenster 9	Fenster 10	Fenster 11	Fenster 12	Fenster 13
öffnen													
schließen													
öffnen													
schließen													
öffnen													
schließen													
öffnen													
schließen													

Bitte protokollieren Sie in der folgenden Tabelle mit Uhrzeiten, wann welche Türen länger geöffnet und geschlossen wurden, ob Türen dauerhaft offen stehen; kurze Öffnungen zum verspäteten Hineingehen, kurzzeitigem Verlassen oder vorzeitigem Verlassen des Raumes bitte nur mit Strichliste festhalten.

	Tür 1	Tür 2	Tür
Kurze Öffnung zum Hinein-/Hinausgehen mit sofortigem Schließen			
öffnen			
schließen			
öffnen			
schließen			
öffnen			
schließen			
öffnen			
schließen			

- Werden Laptops über die Stromversorgung an Steckdosen benutzt? nein ja falls ja: wie viele?.....
- Werden Handys über die Steckdosen im Raum geladen? nein ja falls ja: wie viele?.....
- Sind ein Beamer/mehrere Beamer im Raum vorhanden? nein ja falls ja: wie viele sind in Betrieb?
- Ist ein OHP im Raum vorhanden? nein ja falls ja: ist dieser in Betrieb?

Wird der Raum über die Heizkörper beheizt? ja nein

Auf welche Temperatur sind die Heizkörper eingestellt? ____°C nicht zu erkennen
Batterie leer

Befindet sich im Raum ein Wasseranschluss? ja nein

Befindet sich im Raum ein Warmwasseranschluss? ja nein

Befindet sich im Raum am Waschbecken ein Gerät zur Warmwassererzeugung? ja nein

Messbedingungen Außenklima:

<u>Beginn:</u>		<u>Ende:</u>
Temperatur:.....°C		Temperatur:.....°C
Luftfeuchte:.....% r. F.		Luftfeuchte:.....% r. F.

Messbedingungen Innenklima:

<u>Beginn:</u>		<u>Ende:</u>
Temperatur:.....°C		Temperatur:.....°C
Luftfeuchte:.....% r. F.		Luftfeuchte:.....% r. F.

CO₂-Gehalt der Luft:

Vorlesungsbeginn:		Wert nach 60 min Vorlesung:
Wert nach 15 min Vorlesung:		Wert nach 75 min Vorlesung:
Wert nach 30 min Vorlesung:		Wert nach 90 min Vorlesung:
Wert nach 45 min Vorlesung:		Vorlesungsende:

Anmerkungen des Beobachters (Auffälligkeiten):