



Kurzbericht

Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation

erstellt am 20. Februar 2017

Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences



A.U.G.E.

Institut für Arbeitssicherheit, Umweltschutz,
Gesundheitsförderung und Ethik

Institute of Industrial Safety, Environmental Protection,
Health Promotion and Ethics

In Zusammenarbeit mit:



HOCHSCHULE TRIER

Umwelt-Campus Birkenfeld



izes gGmbH
Institut für ZukunftsEnergieSysteme

Zuwendungsempfänger	Hochschule Niederrhein Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld
Ausführende Stellen	A.U.G.E. Institut der Hochschule Niederrhein Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld
Bewilligungszeitraum	01.06.2012 bis 31.05.2016

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

REGENA: Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch Nutzerintegration und Automation

1. Bezug zu den Förderzielen EnBop

EnBop hat das Forschungsziel, konventionelle und innovative Nicht-Wohngebäude im laufenden Betrieb zu überprüfen, um anschließend die Gebäudeperformance mit einfachen, geringst- oder gering-investiven Mitteln zu optimieren. Im Fokus steht neben technischer Optimierung auch der Nutzer mit seinen Möglichkeiten. So bestehen einerseits Möglichkeiten zur technischen Optimierung durch Vereinfachung und Automation vorhandener Prozesse, aber auch Möglichkeiten zur Optimierung des menschlichen Verhaltens in Gebäuden über Wissen, Motivation und Handeln. Besondere Bedeutung hat aber auch die Interaktion von Nutzer und Technik in einem soziotechnischen System. Wesentliche Forschungsfrage dieses Vorhabens war, wie sich diese beiden Steuerungsinstrumente Technik und Nutzer konzeptuell, evaluierbar und übertragungsfähig verknüpfen.

Methodik. 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 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. Die Themenstellung wird durch die beteiligten Projektpartner in einem interdisziplinären Team aus Ingenieurwesen, Gebäudeautomation und intelligente Energiesysteme, technische Informatik und Umweltinformatik sowie Arbeits- und Umweltpsychologie bearbeitet.

Betrachtet wurden Energieverbräuche an beiden Hochschulen in Referenzgebäuden und -räumen mit ähnlichen Nutzungsbedingungen: Bürogebäude, Seminarräume, Hörsäle und einzelne Technikräume. 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 gering- und geringstinvestiver Maßnahmen zur Energieeinsparung. Am Umwelt-Campus Birkenfeld wurden die Messdaten mittels M-Bus, Profibus und EIB/KNX-Bus an die Gebäudeleittechnik und die Energie-Monitoring-Software übergeben und aus einer neu aufgesetzten

Datenbank ausgewertet. An der HN erfolgte die Datenerfassung mittels eines bei der IZES gGmbH entwickelten Datenloggers, der INES-Box, welche die von den Strom- und Wärmemengenzählern gesendeten 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.

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. das Anpassen der Lüftung in den Hörsälen. Die geringinvestiven Maßnahmen wurden über psychologische Messungen und ein Energie-Monitoring 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 Projektes CHANGE weiterentwickelt. Um einen common method effect zu vermeiden, wurden die beiden Fragebogen versetzt eingesetzt.

2. Ergebnisse

Messinfrastruktur. Bei der Datenauswertung der Heizkostenverteiler (HKV) sind 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: Die Batterielaufzeit der HKV ist auf 10 Jahre ausgelegt, vorausgesetzt es findet jährlich nur eine Auslesung statt. Für das im Projekt vorgenommene Energie-Monitoring 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. Sie mussten mehrfach ausgelesen werden, zudem reagieren sie störanfällig auf andere Funksender.

An der HN traten Probleme beim Aufbau der Messinfrastruktur auf, da diese größtenteils neu errichtet und installiert werden musste, obwohl eine Messinfrastruktur eigentlich vorhanden war. Dass diese aber fehlerhaft war, war zuvor nicht aufgefallen. Zu vermuten ist aufgrund der dort vorgefundenen Gegebenheiten, dass auch in anderen Hochschulen unzureichende Zählerstrukturen mit teilweise nicht identifizierten 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.

Psychologische Ergebnisse Mitarbeitende. Ergebnisse zeigen: Die ausschließlich auf Wissensvermittlung und eigene Initiative setzenden Maßnahmen scheinen kaum dazu geeignet, Veränderungen in Einstellungen und Verhaltensintentionen sowie auch im Verhalten selbst hervorzurufen. Bei den Beschäftigten nahm kaum jemand an den Schulungen teil, weder am UCB noch an der HN. Zudem gaben viele Beschäftigte an, auch die zugesandten Unterlagen nicht angesehen zu haben. Dagegen wurden Plakate und Türhänger teilweise durchaus positiv wahrgenommen, führten aber kaum zu messbaren Veränderungen. 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.

Es veränderte sich – gemessen mit dem Fragebogen EVE – insgesamt über die Zeit nur beim UCB das Wissen in positiver Richtung, alle anderen Befragungsergebnisse zeigten keinen Aufwärtstrend. Bei der HN gab es nicht einmal in der Skala Wissen (EVE) einen positiven Effekt, obwohl dort intensiver informiert und mit psychologischen Maßnahmen interveniert wurden (Türhänger und Energiesparpakete). Auch auf Verhaltensebene zeigten sich keine Veränderungen (UVE). Eine Ursache für fehlende Veränderungen könnte die hohe Fluktuation und die hohe Workload der Beschäftigten gewesen sein.

Die Befragungen zu den Umgebungsbedingungen der Beschäftigten zeigten, dass vielfach an den Arbeitsplätzen dezentrale Drucker und Multifunktionsgeräte genutzt werden. Eine Nutzung zentraler Drucker oder eigener Geräte zur Zubereitung von

Kaffee und Tee erhöht den Stromverbrauch. Im Laufe des Projektes wurden zusätzlich immer neue Produkte in den Gebäuden installiert, wie Monitore usw., wobei jedoch im Beschaffungsvorgang und im Betrieb 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 aus Gründen des Datenschutzes ebenfalls nicht gegeben werden. 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. Dieses konnte im Rahmen von REGENA jedoch nicht untersucht werden.

Psychologische Ergebnisse Studierende. Bei den Studierenden konnte ein großer Teil über die Vorlesungen erreicht werden. Bei fünf von acht (später neun) Skalen des EVE, nämlich positive Einstellung gegenüber Energiesparen, Verpflichtungsgefühl hierbei tätig zu werden, das Einwirken von Relevanten Anderen, z. B. Kommilitonen, dem Bestreben Verantwortung für Energiesparen abzuwehren und Verhaltensbereitschaft zum Energiesparen zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Hochschulen. Studierende am UCB zeigen insgesamt eine höhere positive Einstellung gegenüber Energiesparen. UCB bietet auch vermehrt im Studium eine Auseinandersetzung mit Themen der nachhaltigen Entwicklung, so dass hier Selbstselektionseffekte der Studierenden den Unterschied erklären.

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 in dem Gebäude H der HN. Hier wurde in einem Seminar intensiver geschult, anschließend wurden CO₂-Monitore in den Hörsälen verbaut. Hier sind ein kontinuierlicher Anstieg in Verhaltensbereitschaft für energiesparendes Verhalten und der Einfluss der Relevanten Anderen über drei Messzeitpunkte beobachtbar. Auf der Verhaltensebene selbst jedoch können auftretende Unterschiede, z. B. im Lüftungsverhalten, nur auf die Außentemperatur attribuiert werden.

Psychologische Ergebnisse Usability. 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 aufgezeigt 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 über den Zustand). Selbst bei einer einfachen Aufgabe konnten gerade einmal die Hälfte der technikaffinen Nutzer die Thermostate richtig bedienen. Das ist ein Bereich, der gerade für Neuentwicklung von Technik zur Energieeinsparung zukünftig von besonderer Bedeutung ist, sonst sind Effekte des Backfire zu erwarten.

Fazit psychologische Ergebnisse. Einzig in den Sanitärräumen des Verwaltungsgebäudes wurde eine (Wärme-)Energieverbrauchsreduzierung festgestellt. Es wird deutlich, dass für eine Energieeinsparung durch Nutzungsverhalten weitere und andere Anreize geschaffen werden müssen. Die Ergebnisse der psychologischen Befunde, gerade auch der ausbleibenden Veränderungen, machen deutlich, dass ein umfassenderes Programm benötigt wird, um Verhaltensintentionen zu verändern. Die Erfahrungen sind in einem Lessons Learned zusammengefasst. Die Ergebnisse der Usability-Untersuchung zeigen, dass gerade Nutzerfreundlichkeit für die Neuentwicklung von Technik zur Energieeinsparung zukünftig von besonderer Bedeutung ist, um Backfire-Effekte zu umgehen.

Ergebnisse Technik Hochschule Niederrhein. 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 auf die Verkleinerung des Besprechungsraumes flächenspezifisch zurückzuführen ist. Es konnte gefolgert werden, dass die aus dem Umbau resultierende Zentralisierung der Heizungsbedienung eine Energieersparnis von rund 30% pro Flächeneinheit erzielte.

Durch das Monitoring konnten weitere Potenziale in der Energienutzung an der HN identifiziert werden. Beispielsweise wurde festgestellt, dass die Heizgrenztemperatur mit 19°C deutlich höher liegt als gewöhnlich bei 15°C. Diese Einstellung in der Gebäudetechnik soll künftig zugunsten der Energieeinsparung geändert werden.

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.

Auch in den Hörsälen konnte das Stromverbrauchs-Monitoring an der HN zwar keine Erfolge der Interventionen nachweisen, jedoch Einsparpotenziale identifizieren. Beispielsweise könnte durch automatische Ausschaltung der Klimatisierung 1.200kWh/a und somit 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 Gebäudeleittechnik an die sich häufig ändernden Randbedingungen und wechselnden Ansprüche der Nutzer.

Ergebnisse Technik Umweltcampus Birkenfeld. 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 Lüftungsanlagen der Hörsäle ohne erkennbaren Grund auch nachts liefen. Eine Abschaltung dieser Nutzungszeiten, verbunden mit weiteren Maßnahmen wie der getrennten Belüftung, konnte bspw. Einsparungen von rund 30.000 kWh/a erzielen.

Um eine nutzungsunabhängige Energieeinsparung zu fördern, wurden Neuerungen im Gebäudemanagement und der Gebäudeleittechnik des UCB umgesetzt, die an der HN ebenso umgesetzt werden könnten. 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 oder 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. 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.

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.

Fazit Ergebnisse Technik. Die genaue Analyse der Messinfrastruktur erfordert zu Beginn des Projektes einen erheblichen Unterstützungsaufwand der technischen Abteilungen. Diese müssen von den Zielen des Projektes überzeugt werden und teilweise die 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 erforderlich. Beim 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. So erfolgte z. B. die Entwicklung von Türhängern auf Anregung eines Mitarbeitenden aus der Gebäudeleittechnik.

Die Erfahrungen und Ergebnisse des Projekts wurden neben den konkreten Maßnahmen und Verbrauchsreduzierungen in ein REGENA-Modell integriert, welche eine umfassende Maßnahmenliste für den Hochschulschulbereich und Nicht-Wohngebäude generell umfasst, solche Gebäude und ihre Nutzungen strukturell beschreibt und auch ein Vorgehen darstellt, um geringst- und geringinvestive Maßnahmen umzusetzen.

Diese 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.

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.