



Hochschule Biberach (HBC)
Hochschule für Bauwesen und Wirtschaft
Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)
Fachgebiet MSR-Technik und Gebäudeautomation
Prof. Dr.-Ing. Martin Becker

Kurzzusammenfassung der Studie

**„Energieeffizienz durch Gebäudeautomation mit Bezug zur
DIN V 18599 und DIN EN 15232“**

Bearbeitungszeitraum: Mai 2009 bis Mai 2011

Auftraggeber:

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt a.M.

Auftragnehmer:

Hochschule Biberach
Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)
Fachgebiet MSR-Technik und Gebäudeautomation
Prof. Dr.-Ing. Martin Becker

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Martin Becker
Projektmitarbeiter: Dipl.-Ing.(FH) Peter Knoll

Biberach, November 2011, V2



Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens

Das Projekt stellt eine Fortsetzung des Vorgängerprojektes „Energieeffizienz durch Gebäudeautomation mit Bezug zur DIN V 18599 und DIN EN 15232“ dar und hatte eine Laufzeit von 2 Jahren. Der Bearbeitungszeitraum war von Mai 2009 bis Mai 2011.

Die vorliegende Studie soll auf bereits gewonnene Erkenntnisse aufbauen, diese fortführen und vertiefen und damit eine detailliertere Beurteilung der Einsparpotenziale durch Raum- und Gebäudeautomation ermöglichen.

Im Rahmen der Projektdefinition wurden 4 Arbeitspakete definiert. Die Festlegung erfolgte in enger Abstimmung mit dem Fachverband „Installationsgeräte und -systeme, Fachabteilung Haus und Gebäudetechnik“ des ZVEI.

Arbeitspaket 1 (AP1): **Kontinuierliche Fortführung von Literaturrecherchen und weiterer Ausbau der bereits vorhandenen Datenbank**

Arbeitspaket 2 (AP2): **Experimentelle Untersuchungen an Seminarräumen im Technikum G der Hochschule Biberach**

Arbeitspaket 3 (AP3): **Untersuchungen zur Energieeffizienz durch Raumautomation anhand von Simulationsstudien**

Arbeitspaket 4 (AP4): **Mitarbeit bei der Normungsarbeit zu DIN V 18599-Teil 11**

Im Folgenden sind in kompakter Form die wichtigsten Ergebnisse der vier Arbeitspakete zusammengestellt. Für weitere Erläuterungen sei auf die komplette Dokumentation dieses Forschungsvorhabens hingewiesen, die beim ZVEI „Fachverband Installationsgeräte und -systeme“ angefragt werden kann.

AP1: Literaturrecherche

Seit der Beauftragung einer ersten Literaturrecherche durch den Zentralverband der Elektroindustrie (ZVEI) [1] wurde diese permanent fortgeführt. Mit Abschluss der Recherchen (Stand Mai 2011) befinden sich 117 Literaturquellen in der Datenbank.

Abbildung 1 zeigt die Auswertung der Literaturrecherche. Bei den Bereichen der Einsparpotenziale handelt es sich um Mittelwerte, falls die entsprechende Rubrik (z.B. Beleuchtung) von mehreren Autoren mit unterschiedlichen Werten angegeben wird. Die Zahl in Klammer über den jeweiligen Rubriken bedeutet die Anzahl der Veröffentlichungen zu dieser Rubrik. So sind z.B. zum Thema Beleuchtung insgesamt 22 Veröffentlichungen in der Datenbank eingetragen, bei denen ein Einsparpotenzial mit einer Bandbreite von 16 - 52 % aufgeführt wird.

Wie schon bei der ersten Auswertung der Literaturrecherche konnten die Ergebnisse, aus zeitlichen Gründen, durch die Hochschule Biberach nicht weiter verifiziert werden.

Die große Bandbreite der Angaben kann dadurch begründet werden, dass die jeweiligen Autoren keine klaren Funktionsdefinitionen erläutert haben und teilweise auch mehrere Maßnahmen in einem Ergebnis zusammen fassen.

Im Vergleich mit der Auswertung der ersten Literaturrecherche konnte eine weitere Aufteilung der Rubriken vorgenommen werden. Auf Grund der höheren Anzahl von Literaturquellen liegt eine weitere „Verdichtung“ der Aussagenrelevanz vor.

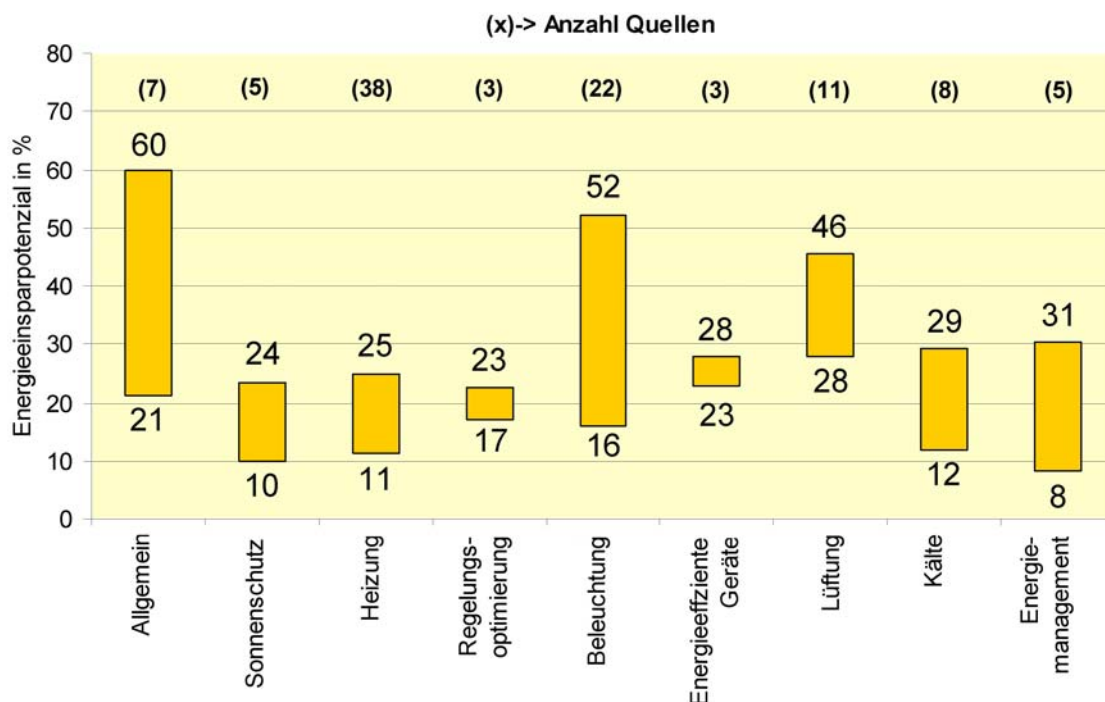


Abbildung 1: Auswertung Literaturrecherche, (Zahl) – Anzahl der Literaturquellen

Fazit:

Qualitativ sind nach wie vor weitere methodisch-systematische Untersuchungen erforderlich, die eine eindeutige Definition der Randbedingungen (z.B. Nutzereinfluss) aufzeigen und somit eine Reproduzierbarkeit der erzielten Ergebnisse ermöglichen. Die Anzahl der aussagekräftigen Veröffentlichungen hält sich somit nach wie vor in Grenzen.

AP2: Experimentelle Untersuchungen

Konzeption Räume

Mit der Durchführung der Messkampagne sollte die zentrale Frage beantwortet werden, ob sich bei Räumen mit unterschiedlicher GA-Effizienzklasse (C, B, A, nach DIN EN 15232 [3]), ein Einsparpotenzial im realen Gebäudebetrieb nachweisen lässt. Bisher wurde hierzu noch keine wissenschaftlich-methodische Studie durchgeführt, die z.B. mehrere reale Räume ähnlicher bauphysikalischer Randbedingungen und Nutzung, aber unterschiedlicher GA-Effizienzklasse systematisch hinsichtlich ihres energetischen Verhaltens analysiert und ausgewertet hat. Eine zentrale Frage hierbei war u.a., ob und welche Einsparung durch Einsatz unterschiedlicher GA-Effizienzklassen nach DIN EN 15232 [3] festgestellt werden kann.

Ziel der Messkampagne an der Hochschule Biberach war es daher, einen energetischen Vergleich von drei Seminarräumen (G0.02, G0.03, G1.03) im Technikum G der Hochschule (siehe Abbildung 2) mit ähnlichen Randbedingungen, aber unterschiedlichen Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation (nach DIN EN 15232 [3]), über eine längere Messkampagne durchzuführen.

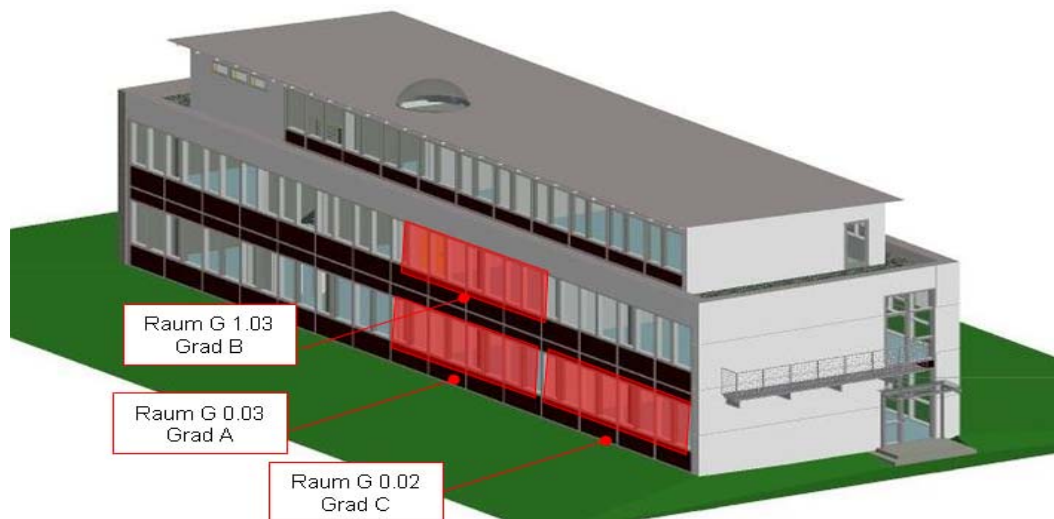


Abbildung 2: Räumliche Anordnung der Seminarräume für die Messkampagne im Technikum G der Hochschule Biberach

In allen Seminarräumen sind Radiatoren für die Raumheizung sowie eine Beleuchtung mit zwei Lichtbändern und eine Tafelbeleuchtung installiert. Eine aktive Kühlung und mechanische Lüftung ist nicht vorhanden. Eine Lüftung erfolgt lediglich über die manuelle Fensterlüftung.

Die bauphysikalischen und geometrischen Randbedingungen der Räume sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die U-Werte zeigen, dass es sich um ein Gebäude mit durchschnittlichem Dämmstandard handelt. Bei den Räumen G0.02 und G0.03 handelt es sich um Räume im Erdgeschoss, die direkt an eine Bodenplatte angrenzen. Der Raum G1.03 liegt direkt über dem Raum G0.03 und befindet sich unter einem weiteren Seminarraum.

Alle Räume haben dieselbe Fassadenkonstruktion, wobei es sich bei dem Raum G0.02 um einen Eckraum handelt, der zwei Außenwände besitzt. Alle Räume grenzen an einen beheizten Flur an, der durch eine Glasfassade Richtung Südost relativ hohe solare Einträge hat. Diese bauphysikalischen und die nutzungsspezifischen Unterschiede wurden für die Auswertung bereinigt. Die Art der Bereinigung wird im Folgenden näher beschrieben.

Die in dieser Studie erzielten konkreten Ergebnisse können daher – wenn überhaupt – und dann auch nur eingeschränkt auf Gebäude mit ähnlichen Randbedingungen übertragen werden. Ein z.B. hochgedämmtes Gebäude würde, insbesondere bei der Heizenergie, selbstverständlich deutlich andere Ergebnisse liefern, da in diesem nicht so stark geheizt werden müsste und sich somit Einsparungen durch Raum- und Gebäudeautomation bei sonst gleichen Randbedingungen wie z.B. Nutzerverhalten auch nicht so deutlich zeigen würden.

Tabelle 1: Bauphysikalische und geometrische Randbedingungen der Räume

G1.03	Fläche	U-Wert
	[m ²]	[W/m ² K]
Geschossdecke nicht abgehängt	49,1	0,75
Geschossdecke abgehängt	26,1	0,35
Fassade Opak	11,65	0,27
Fassade Transparent	20	1,13
Trennwand	48,38	0,34
Trennwand Flur	33	2,67
Holztüre	2,47	1,96
Flachdach, Decke abgehängt	9,8	0,23
Zwischendecke nicht abgehängt	49,1	0,75
Zwischendecke abgehängt	16,3	0,35

G0.03	Fläche	U-Wert
	[m ²]	[W/m ² K]
Bodenplatte	75,2	0,26
Fassade Opak	14,75	0,3
Fassade Transparent	20	1,13
Trennwände	48,38	0,34
Trennwand Flur	33	2,67
Holztüre	2,47	1,96
Zwischendecke nicht abgehängt	49,1	0,75
Zwischendecke abgehängt	26,1	0,35

G0.02	Fläche	U-Wert
	[m ²]	[W/m ² K]
Bodenplatte	75,2	0,26
Fassade Opak	14,75	0,3
Fassade Transparent	20	1,13
Stirnseite Bodenplatte	5,71	0,52
Stirnwand	27,04	0,33
Trennwand	24,19	0,34
Trennwand Flur	33	2,67
Holztüre	2,47	1,96
Zwischendecke nicht abgehängt	49,1	0,75
Zwischendecke abgehängt	26,5	0,35



Um eindeutige Bezüge zur Art und dem Umfang an Raumautomationsfunktionen zu definieren, werden die Funktionen der Raumautomation für die Messungen auf die europäische Norm DIN EN 15232 [3] bezogen.

Die Norm sieht für eine Kategorisierung der Funktionen vier GA-Effizienzklassen vor:

GA-Effizienzklasse D: nicht energieeffiziente Gebäudeautomations-Systeme

GA-Effizienzklasse C: Standard- Gebäudeautomations-Systeme

GA-Effizienzklasse B: weiterentwickelte Gebäudeautomations-Systeme und Energiemanagement

GA-Effizienzklasse A: hoch energieeffiziente Gebäudeautomations-Systeme und Energiemanagement

Für die Messungen werden nur die Klassen C bis A miteinander verglichen. Klasse D entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und wird somit nicht in den Vergleich mit einbezogen.

Es wurde ein Seminarraum (G0.02) als Referenzraum gewählt, der mit einer Basisautomation (GA-Effizienzklasse C nach DIN EN 15232 [3]) ausgestattet wurde. In den anderen Seminarräumen wurden unterschiedliche Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation nach Klasse B und A realisiert, um das dadurch zu erwartende Einsparpotenzial messtechnisch erfassen zu können.

Tabelle 2 listet die umgesetzten Funktionen auf. Wie deutlich zu erkennen ist, wird bei der GA-Effizienzklasse A die umfangreichste funktionale Ausstattung vorgesehen. GA-Effizienzklasse C bildet wie bereits erwähnt die Referenz, auf die die Einsparungen bezogen werden.

Tabelle 2: Zusammengesetzte Funktionen der Messkampagne in den drei Testräumen in Anlehnung an die GA-Effizienzklassen C, B, und A

G0.02 GA-Effizienzklasse C	G1.03 GA-Effizienzklasse B	G0.03 GA-Effizienzklasse A
Beleuchtung manuell EIN/AUS, kein Dimmen	Beleuchtung manuell, EIN/AUS, automatisch AUS (Präsenz, Helligkeit),kein Dimmen	Beleuchtung manuell EIN/AUS, automatisch AUS (Präsenz, Helligkeit), Konstantlichtregelung, kein manuelles Dimmen
Temperaturregelung über Thermostatventile	Einzelraumregelung mit drei Temperaturniveaus 10 °C Fenster 16 °C Nachtabsenkung 21 °C Normalbetrieb	Einzelraumregelung mit drei Temperaturniveaus 14 °C Fenster 19 °C Nachtabsenkung 21 °C Normalbetrieb

Auswertungen

Als exemplarische Ergebnisse aus den vielfältigen Analysen und Auswertungen, die in der Gesamtdokumentation ausführlich erläutert sind, werden im Folgenden Ergebnisse für den bereinigten elektrischen Energieverbrauch und den bereinigten Heizenergieverbrauch herausgegriffen.

Da die Räume leichte Abweichungen in der Bauphysik (z.B. Raum G0.02 als einziger Raum mit zwei Außenwänden) und nicht immer dieselbe Belegung während des Auswertzeitraums vorweisen, war eine Bereinigung für verschiedenste Einflussgrößen notwendig. Folgende Bereinigungen wurden durchgeführt:

- Bauphysikalische Korrektur (auf Basis einer thermischen Gebäudesimulation)
- Korrektur der inneren Last durch die Beleuchtung (durch Erfassung der Betriebsstunden und der elektrischen Anschlussleistungen)
- Korrektur der Personenlasten und der Belegungsstunden durch die Erfassung der Personenzahlen

Auswertung der elektrischen Energieverbräuche

Abbildung 3 zeigt den elektrischen Energieverbrauch (Bereinigung nach Belegungsstunden) durch die unterschiedliche funktionale Ausstattung der drei Messräume hinsichtlich der umgesetzten GA-Effizienzklassen. Während im Referenzraum G0.02 (GA-Effizienzklasse C) die Beleuchtung manuell ein- und ausgeschaltet wurde, wurden im Raum G1.03 (GA-Effizienzklasse B) eine helligkeits- und präsenzabhängige Schaltung und in Raum G0.03 (GA-Effizienzklasse A) zusätzlich eine Konstantlichtregelung realisiert. Die deutliche Verbesserung der Einsparungen bei Klasse A (G1.03) ist darauf zurückgeführt, dass die Konstantlichtregelung zwischen dem Messzeitraum „Dezember 2009 – Mai 2010“ und dem Messzeitraum „Oktober 2010 – März 2011“ optimiert wurde. Hierdurch wird verdeutlicht wie wichtig kontinuierliche Optimierungen während des Betriebs sind.

Die Räume weisen in den Messzeiträumen leicht unterschiedliche Absolutverbräuche auf.

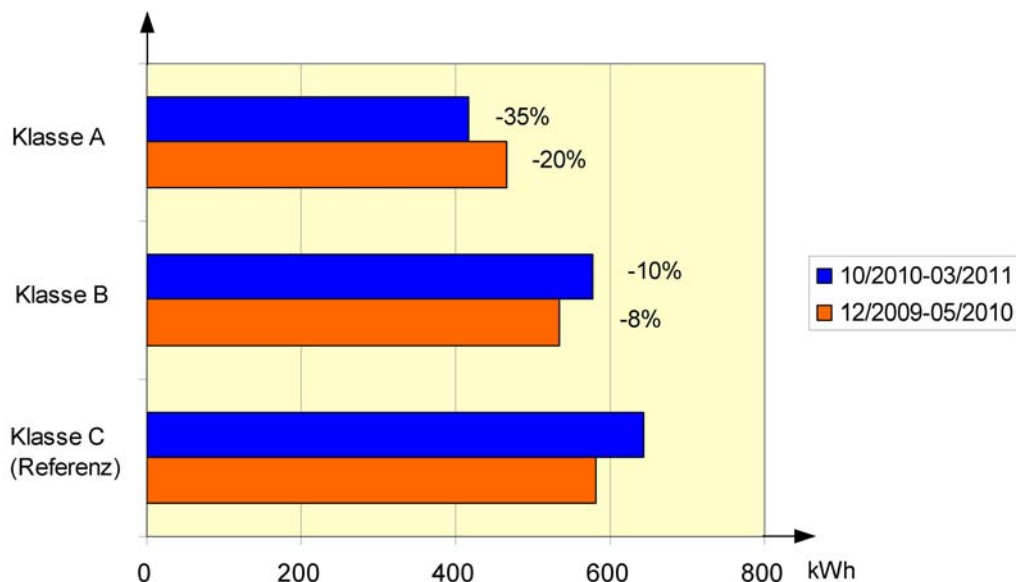


Abbildung 3: Elektrischer Energieverbrauch Messkampagne inkl. prozentuale Einsparungen (Bereinigung durch Belegungsstunden) der Klassen A bzw. B gegenüber der Klasse C

Um die korrekte Funktion der einzelnen Komponenten zu gewährleisten, wurden diese mit der Hilfe der Daten aus dem kontinuierlichen Monitoring auf Plausibilität überprüft. Die Einsparungen sind auf den Referenzfall (Klasse C) bezogen. Somit ist dieser als 100 % zu betrachten.

Abbildung 4 zeigt beispielsweise wie das Stellsignal des Lichtbands an der Fensterseite mit zunehmender Tageslichtversorgung, die durch einen Helligkeitssensor an der Decke gemessen wird, verringert und schließlich komplett abgeschaltet wird.

Hierbei handelt es sich um die Umsetzung der Funktion „Konstantlichtregelung“ im Raum G0.03 (GA-Effizienzklasse A).

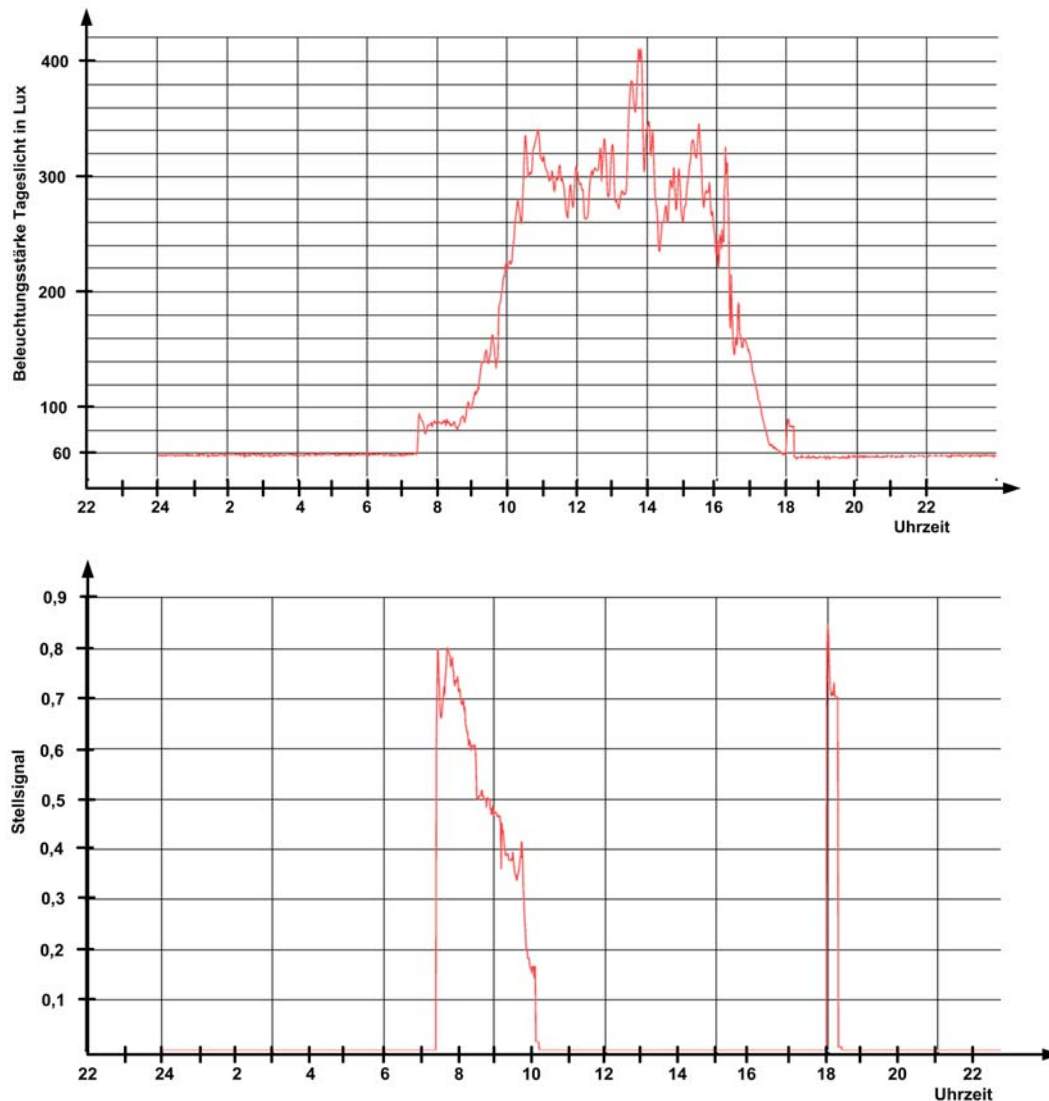


Abbildung 4: Analyse der Funktion „Konstantlichtregelung“ im Raum G0.03

Auswertungen Heizenergieverbrauch

Analog zur Methodik beim elektrischen Energieverbrauch wurden auch die Daten zum Heizenergieverbrauch analysiert und systematisch bereinigt.

Während im Referenzraum G0.02 (GA-Effizienzklasse C) eine Regelung mit Thermostatventilen erfolgte, wird im Raum G1.03 (GA-Effizienzklasse B) durch eine Einzelraumregelung das Zonenventil bei Fensteröffnung gesperrt. Beim Raum G0.03 (GA-Effizienzklasse A) ist die Funktion von G1.03 integriert mit einer zusätzlichen Sollwertabsenkung, falls der Raum nicht belegt ist.

Abbildung 5 zeigt den Vergleich der bereinigten Messdatenauswertung des Heizenergieverbrauchs bei Bereinigung der inneren Lasten durch die Beleuchtung, die Personen und die geometrische bzw. bauphysikalische Korrektur des Heizenergieverbrauchs der beiden Messperioden für den Monat März in den beiden Heizperioden. Die Einsparung wird jeweils auf den Referenzraum G0.02 bezogen. Der Monat März konnte für diese Betrachtung besonders gut herangezogen werden, da dieser in beiden Jahren relativ ähnlich gewesen war.

Es können sehr deutliche Einsparungen vom Referenzraum zu den Räumen mit Einzelraumregelung erkannt werden.

Während die Einsparung bei dem Raum G0.03 in beiden Jahren ähnliche Werte aufweist, fällt die deutliche Verbesserung des Raumes G1.03 vom März 2011 gegenüber dem März 2010 auf. Dies wird darauf zurückgeführt, dass bei den Untersuchungen in der ersten Messperiode festgestellt wurde, dass das eingebaute Ventil nicht zu dem Ventiltrieb gepasst hat und somit ein sehr schlechtes Regelverhalten zeigte. Durch diesen Optimierungsprozess, der nur durch das durchgeführte Energie-Monitoring möglich war, konnte eine beträchtliche Verbesserung erzielt werden.

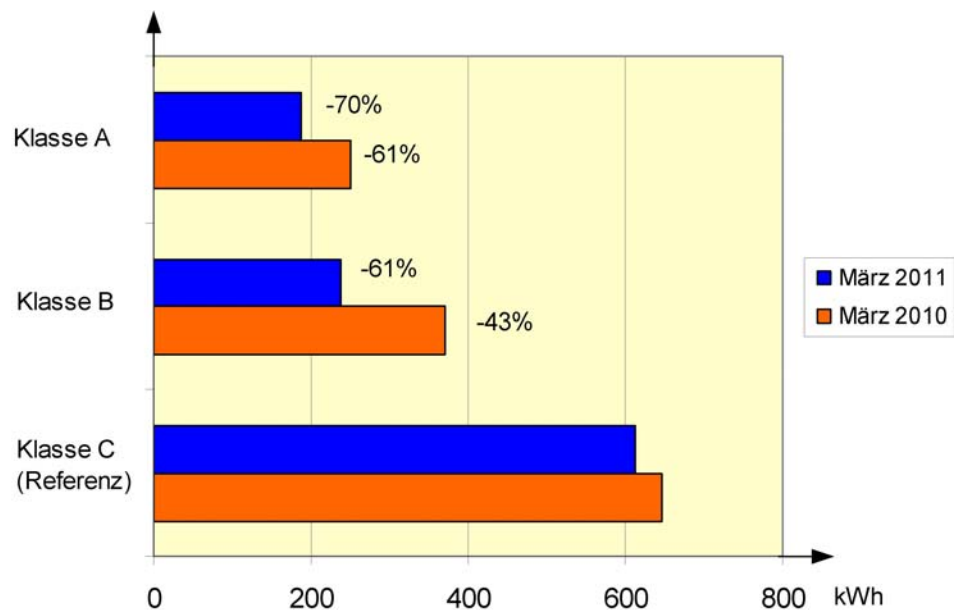


Abbildung 5: Vergleich des Monats März 2009/2010 mit dem März 2010/2011; Einsparung Heizenergieverbrauch (bereinigt)



Während im Referenzraum G0.02 (GA-Effizienzklasse C) eine Regelung mit Thermostatventilen erfolgt, wird im Raum G1.03 (GA-Effizienzklasse B) durch eine Einzelraumregelung das Zonenventil bei Fensteröffnung gesperrt. Beim Raum G0.03 (GA-Effizienzklasse A) ist die Funktion von G1.03 integriert mit einer zusätzlichen Sollwertabsenkung, falls der Raum nicht belegt ist. Die Einsparungen sind auf den Referenzfall (Klasse C) bezogen. Somit ist dieser als 100 % zu betrachten.

Auswertungen durch Carpet Plots

Im Rahmen des Projektes wurden auch für die Auswertung eines kontinuierlichen Monitorings sogenannte Carpet Plots erstellt. Hierbei handelt es sich um eine spezielle Diagramm-Darstellung, die sich sehr gut für eine verdichtete Informationsauswertung eignet. Hierbei wird auf der Abszissen-Achse der Tag eines Monats oder Jahres aufgetragen, die Ordinaten-Achse zeigt die Stunden eines Tages. Somit lässt sich für jede Stunde ein Mittelwert eines Datenpunktes (z.B. Temperatur) darstellen, der geeignet farblich codiert wird. So können z.B. mit einem Blick Temperaturen oder Temperaturdifferenzen über einen längeren Zeitraum sehr schnell und kompakt bewertet werden.

Im Folgenden werden exemplarisch Auswertungen mittels Carpet Plots, die im Rahmen der Messkampagne erstellt wurden, näher erläutert.

Ein sehr anschauliches Beispiel zeigen z.B. die Abbildung 6 und Abbildung 7. Farblich dargestellt sind die elektrische Leistung der Beleuchtung bzw. die Bewegungsinformation (Signal des Präsenzmelders) im Referenzraum G0.02. Wie in Tabelle 2 aufgelistet, ist die Beleuchtung in diesem Raum lediglich durch den Nutzer manuell ein- oder ausschaltbar (GA-Effizienzklasse C). Der Präsenzmelder dient lediglich der Informationserfassung, ob er der Raum belegt ist oder nicht und wird in diesem Raum nicht zur Beleuchtungssteuerung genutzt.

Abbildung 6 zeigt, dass die Nutzer im Dezember 2010 die Beleuchtung sehr vorbildlich beim Verlassen des Raumes immer abgeschaltet hatten. In diesem Fall hätte keine nennenswerte zusätzliche Einsparung durch einen Präsenzmelder erzielt werden können, da sich hier der Nutzer bereits nahezu optimal verhalten hatte.

Ganz anders stellt sich die Situation im Oktober 2010 dar. Abbildung 7 zeigt, dass die Beleuchtung ab dem 14.10.2010 fast nie ganz abgeschaltet wurde, auch nicht bei Abwesenheit von Personen. Die hellgrüne Farbe steht für ca. 500 W, was dem Energieverbrauch eines einflammigen Lichtbandes entspricht. D.h. hier wurde vom Nutzer vergessen, das Lichtband auszuschalten. Vermutet wird, dass es sich hierbei um das fensternahe Lichtband handelt, das vom Nutzer über Tag nicht bemerkt wurde und daher ständig eingeschaltet blieb. In diesem Fall hätte durch Einsatz eines Präsenzmelders mit Abschaltung des Lichtbandes bei Abwesenheit eine deutliche Energieeinsparung erzielt werden können.

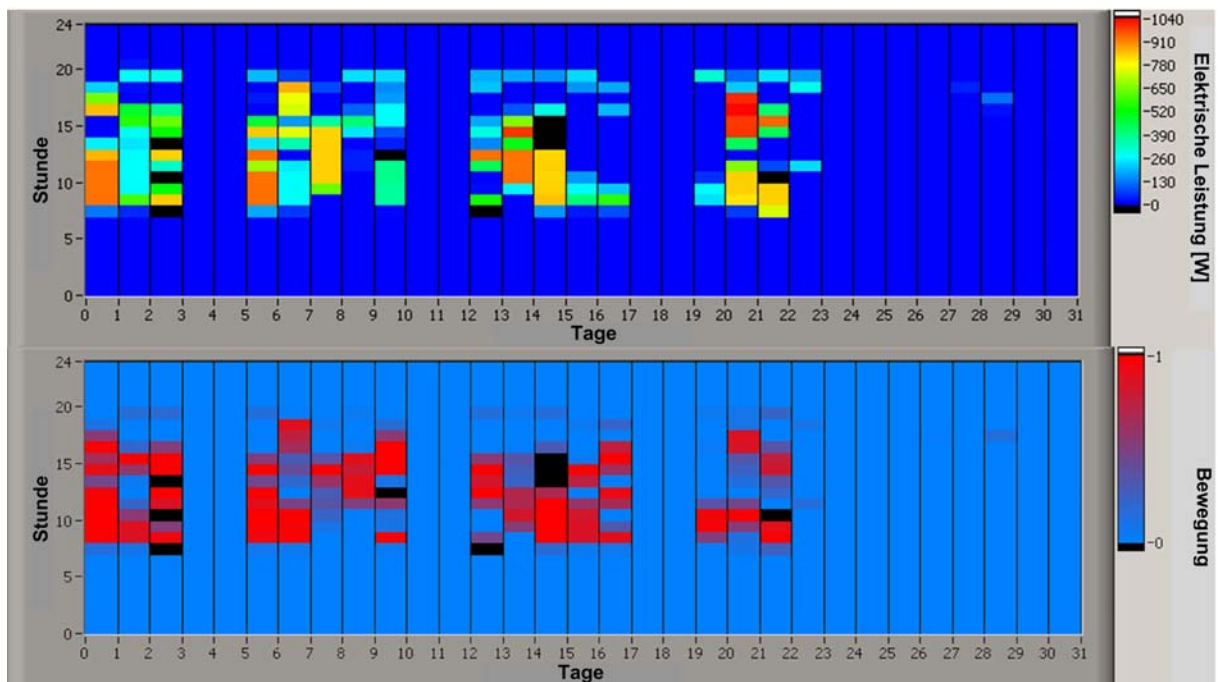


Abbildung 6: Carpet Plot als Beispiel von „gutem“ Nutzerverhalten im Dezember 2010 (Elektrische Leistung der Beleuchtung mit Abgleich der Bewegung)

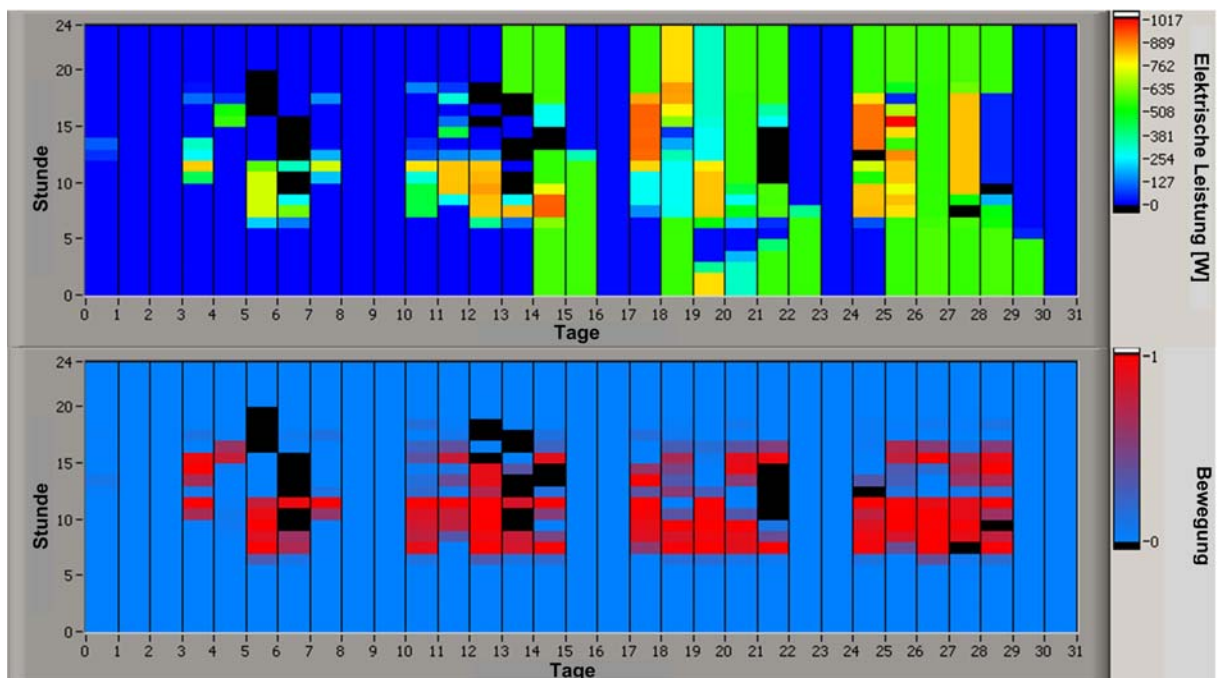


Abbildung 7: Carpet Plot als Beispiel von „schlechtem“ Nutzerverhalten im Oktober 2010 (Elektrische Leistung der Beleuchtung mit Abgleich der Bewegung)

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die Einstellung der Primäranlagen bzw. das korrekte Zusammenspiel von Primäranlagen und dem Energiebedarf in den Räumen. Durch die durchgeführten Analysen konnte festgestellt werden, dass auch Heizleistung außerhalb der Nutzungszeit von 7.00 Uhr - 18.00 Uhr bereitgestellt wurde, wie dies in Abbildung 8 für den Zeitraum Februar 2010 dargestellt ist. Ohne diese Art der Datenanalyse und

Datendarstellung wäre voraussichtlich diese fehlerhafte Anlagenfunktion nicht aufgefallen und hätte zu einer ständigen Verfälschung der Mess-Ergebnisse geführt. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde die Einstellung der Heizungsanlage korrigiert und somit für die durchgeführte Messkampagne in den Messräumen als Fehlerquelle ausgeschlossen.

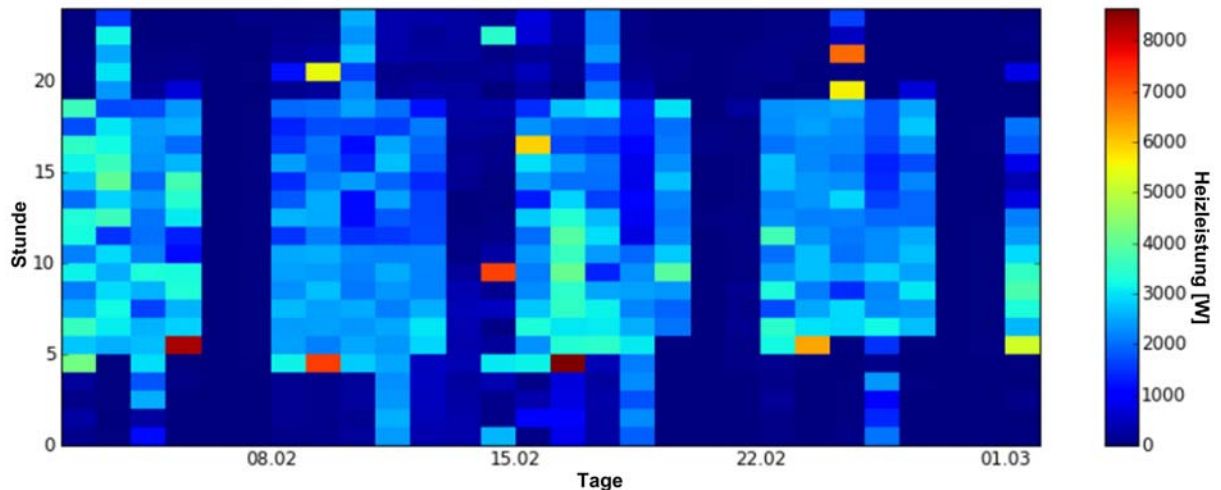


Abbildung 8: Auswertung Heizleistung G0.02 – Februar 2010

Im Rahmen der Untersuchung der Primäranlagen wurde auch im Raum G1.03 die Funktion des Zonenventils näher untersucht. Hier konnte festgestellt werden, dass zum Einen die Primäranlagen ebenfalls auch außerhalb der Nutzungszeit Wärme lieferten und zum Anderen das Zonenventil auch nicht korrekt parametrier war. Der Carpet Plot vom Februar 2011 zeigt hier die deutliche Verbesserung (siehe Abbildung 9). Nach der Optimierung funktioniert die Heizung wie erwartet. Außerhalb der Nutzungszeiten (werktags von 18.00 Uhr-7.00 Uhr und am Wochenende) ist keine Heizleistung erforderlich und das Zonenventil ist geschlossen.

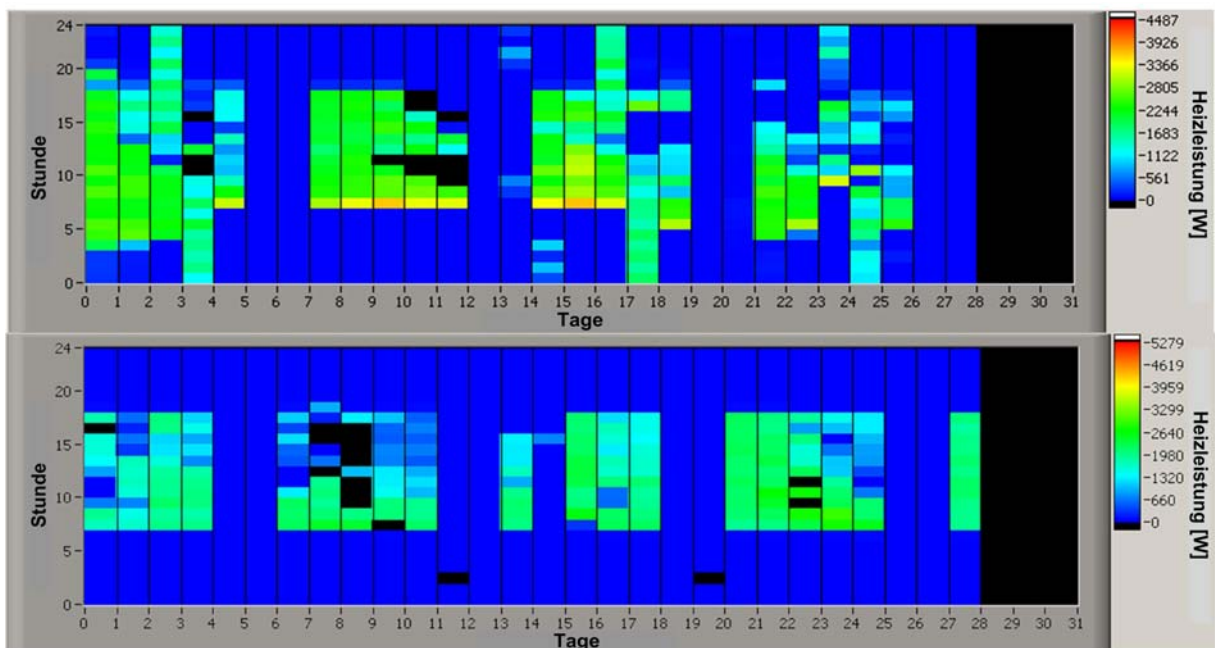


Abbildung 9: Auswertung Heizleistung G1.03 – Bild oben: Februar 2010; Bild unten; Februar 2011

Weitere Ergebnisse während der Messkampagne

Insbesondere zum Start der Messkampagne wurden verschiedene praxisrelevante Aspekte in den Räumen festgestellt, die durchaus auch in der breiten Praxis für Probleme sorgen können. Folgende Themen spielten hier eine besondere Rolle:

Nutzerprofil

- **Nutzersensibilisierung**
Insbesondere der Nutzer stellt in Gebäuden die statistisch größte Unschärfe dar, die nur sehr schwer im Vorfeld abgeschätzt werden kann. Die Berücksichtigung bzw. die Bereinigung dieses Nutzerverhaltens bzw. Nutzereinflusses bei der Analyse der Daten stellt eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar.
- **Personenzahl**
Um die Anzahl der Personen im Raum und damit die inneren Lasten für die Analysen berücksichtigen zu können, wurde ein System zur Personenzählung installiert.
Für den Betrieb des Personenzählers war die Implementierung eines Korrekturalgorithmus notwendig, um Fehlzählungen ausschließen zu können.

Dimensionierung vom Komponenten (Aktorik)

- **Ventilantrieb / Hub**
Durch Analysen mit der Gebäudeleittechnik wurde festgestellt, dass in einem Seminarraum das Ventil, nicht mit dem Hub des Stellantriebs zusammen gepasst hatte. Nach einem Austausch des Ventils war das Problem beseitigt.

Dimensionierung vom Komponenten (Sensorik)

- **Positionierung Präsenzmelder**
Wie bei jeder Sensorik sind auch im Fall eines Präsenzmelders die Platzierung und die Parametrierung von großer Bedeutung. Hierzu müssen die Angaben im Datenblatt des Präsenzmelders richtig berücksichtigt werden. Auch sollte die Einstellung der Parameter nach der Inbetriebnahme auf Funktionstüchtigkeit überprüft werden.
- **Positionierung Lichtsensor**
Ein weiteres Beispiel ist in diesem Zusammenhang auch die Lichtfühler für die Konstantlichtregelung. Für den korrekten Betrieb müssen diese entsprechend kalibriert und eingemessen werden.

Erzeugung und Verteilung

- **Primäranlagen**
Bei der Inbetriebnahme und Optimierung von Raumfunktionen ist es notwendig auch das richtige Zusammenspiel mit den Primäranlagen zu betrachten, da diese teilweise falsch parametrierung sein können und beispielsweise nicht ordnungsgemäß die Nachtabsenkung aktivieren.



Fazit

Die Messkampagne in den Räumen der Hochschule belegte teilweise erhebliche Einsparpotenziale durch Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation.

Es zeigte sich aber auch, dass der Einfluss des Nutzerverhaltens bei messtechnischen Untersuchungen im realen Gebäudebetrieb von hoher Bedeutung ist und bei der Auswertung der Ergebnisse immer berücksichtigt werden muss.

Bauphysikalische Unterschiede und unterschiedliche innere Lasten (z.B. Beleuchtungsdauer, Belegung usw.) müssen für Räume, die miteinander verglichen werden sollen, systematisch bereinigt werden.

Die in diesem Vorhaben gesammelten Erfahrungen können nunmehr zielgerichtet auf weitere Messkampagnen in Folgeprojekten an anderen Räumen oder Gebäuden genutzt und übertragen werden.

AP3: Simulationsstudien

Das Ziel der Simulationsstudien war es, ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen gezielte Simulationsuntersuchungen zum Einsparpotenzial durch verschiedene Parameter und Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation, unter definierten und reproduzierbaren Randbedingungen, durchzuführen und auszuwerten.

Für die Untersuchungen wurde auf ein an der Hochschule Biberach entwickeltes Raummodell zurückgegriffen, mit dem alle Raumparameter systematisch verändert werden können. Hierbei wurde der Raum G0.03 aus dem Technikum G der Hochschule Biberach in dem Simulationsmodell abgebildet. Auf dieser Basis ist es aber auch z.B. möglich das Raummodell für bestimmte Raumtypen wie Büroraum, Seminarraum, Klassenraum usw. zu parametrieren oder verschiedene Bauschweren (leicht, mittel, schwer) für einen bestimmten Raumtyp zu wählen.

Folgende Einflussgrößen auf das Einsparpotenzial wurden gezielt unter definierten Randbedingungen vergleichend untersucht:

- Einfluss unterschiedlicher Bauschweren (leicht, mittel, schwer),
- Einfluss durch Absenkung von Sollwerten
- Einfluss der Dauer von Fensterlüftungen mit Bezug auf Fensterkontakte
- Einfluss der Nachtabenkung
- Einfluss durch präsenz- und helligkeitsabhängige Beleuchtungssteuerung

Den Simulationen wurde das Belegungsprofil eines Hörsaals bzw. eines Seminarraums und eines gemessenen Wetterdatensatzes von Biberach a.d. Riß zu Grunde gelegt.

Parametrierung unterschiedlicher Bauschweren

Um die Simulationsergebnisse für unterschiedliche Bauschweren vergleichen zu können, muss in der Simulation der jeweilige Parametersatz für die unterschiedlichen Raumflächen angepasst werden.

Tabelle 3 zeigt die Zusammenstellung des Raumes G0.03 mit den Bauschweren „Leicht“, „Mittel“ und „Schwer“. Als Basis ist der Raum mit einer mittleren Bauweise parametrierung, so dass für diesen sämtliche Angaben aufgelistet sind. Für die Bauschweren „leicht“ und „schwer“ sind nur die Bauteile ergänzend dargestellt, die gegenüber der mittleren Bauweise geändert wurden.

Wie deutlich aus Tabelle 3 ersichtlich wird, erhöht sich mit steigender Bauschwere der Mittelwert der Dichte aller Bauteile des Raumes.

Für die Berechnung der Dichte wurde jeweils der arithmetische Mittelwert der Einzelbauteile von jedem Bauteil berechnet. Zusätzlich wird die Wärmekapazität der Bauteile berechnet. In der Summe der jeweiligen Bauschwere lässt sich deutlich die steigende Wärmekapazität ablesen. Von der leichten zur schweren Bauweise findet beinahe eine Verdoppelung der Wärmekapazität statt.

Tabelle 3: Bauphysikalische und geometrische Parameter des Simulationsraumes

G0.03- Leichte Bauweise		Fläche	U-Wert	Dichte arithm. Mittel	Wärmekapazität
		[m ²]	[W/m ² K]	[kg/m ³]	[J/K]
BP1	Bodenplatte	75,2	0,26	1382,50	35795,20
PRFNWOP	Fassade Opak	14,75	0,27	875,31	416,68
PRFNWTR	Fassade Transparent	20	1,13		
TWL	Trennwände	48,38	0,34	616,67	1337,50
TWM [Leicht]	Trennwand Flur	33	0,34	616,67	5049,00
Htuer	Holztüre	2,47	1,96	800,00	296,40
ZWDNA[Leicht]	Zwischendecke abgehängt	49,1	0,35	880,46	1328,00
ZWDA	Zwischendecke abgehängt	26,1	0,35	880,46	983,00
				Mittelwert	864,58
				Summe	45205,78
G0.03- Mittlere Bauweise		Fläche	U-Wert	Dichte arithm. Mittel	Wärmekapazität
		[m ²]	[W/m ² K]	[kg/m ³]	[J/K]
BP1	Bodenplatte	75,2	0,26	1382,50	35795,20
PRFNWOP	Fassade Opak	14,75	0,27	875,31	416,68
PRFNWTR	Fassade Transparent	20	1,13		
TWL	Trennwände	48,38	0,34	616,67	1337,50
TWM	Trennwand Flur	33	2,67	1000,00	7920,00
Htuer	Holztüre	2,47	1,96	800,00	296,40
ZWDNA	Zwischendecke nicht abgehängt	49,1	0,75	1653,00	18167,00
ZWDA	Zwischendecke abgehängt	26,1	0,35	880,46	983,00
				Mittelwert	1029,71
				Summe	64915,78
G0.03- Schwere Bauweise		Fläche	U-Wert	Dichte arithm. Mittel	Wärmekapazität
		[m ²]	[W/m ² K]	[kg/m ³]	[J/K]
BP1	Bodenplatte	75,2	0,26	1382,50	35795,20
PRFNWOP	Fassade Opak	14,75	0,27	875,31	416,68
PRFNWTR	Fassade Transparent	20	1,13		
TWL [Schwer]	Trennwände	48,38	2,67	1000,00	11611,20
TWM	Trennwand Flur	33	2,67	1000,00	7920,00
Htuer	Holztüre	2,47	1,96	800,00	296,40
ZWDNA	Zwischendecke nicht abgehängt	49,1	0,75	1653,00	18167,00
ZWDA [Schwer]	Zwischendecke nicht abgehängt	26,1	0,75	1653,00	9657,00
				Mittelwert	1194,83
				Summe	83863,48

Simulationsergebnisse

Als Beispiel der Simulationsergebnisse wird im Folgenden auf die Untersuchungen zum Thema „Energieeinsparung durch Fensterkontakte“ eingegangen.

Um das Einsparpotenzial durch den Einsatz von Fensterkontakten simulieren zu können, ist es notwendig, den Luftvolumenstrom durch ein gekipptes bzw. geöffnetes Fenster in Abhängigkeit der Außen- und Innentemperatur und der Windgeschwindigkeit bestimmen zu können.

Hierzu wurde auf Basis eines, an der Hochschule Biberach entwickelten Berechnungsprogramms von Prof. Dr. Roland Koenigsdorff und Dipl.-Ing. Andreas Köhler, eine Wertematrix für folgende Bereiche abgebildet und anschließend als Teilmodell in das Raummodell implementiert:

- Innentemperatur 14 °C – 24 °C
- Außentemperatur -16 °C – 32 °C
- Windgeschwindigkeit: 0 – 5 m/s

Für das Lüftungsverhalten wird davon ausgegangen, dass in den Pausenzeiten alle Fenster des Seminarraums gekippt und danach wieder geschlossen werden.

Auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Simulationen konnte durch eine systematische Auswertung für die drei unterschiedlichen Bauweisen jeweils eine Näherungskurve erzeugt werden, die die Abhängigkeit der Einsparpotenziale zu dem entsprechenden Lüftungsverhältnis darstellt (siehe Abbildung 11).

Ein Lüftungsverhältnis von 100 % bedeutet, dass innerhalb der Nutzungszeit (8:00 Uhr bis 18:00 Uhr) permanent gelüftet wird. Wenn man die Lüftungsphasen z.B. mit dem Nutzungsprofil „Hörsaal, Auditorium“ nach DIN V 18599 vergleicht, ergibt sich ein Lüftungsverhältnis von 32 %.

Beispielsweise wurde eine Simulationsreihe mit dem Profil für die Fensteröffnung nach Abbildung 10 durchgeführt, bei dem in den Pausen zwischen den Vorlesungen und während der Mittagspause alle Fenster gekippt werden. Das prozentuale Lüftungsverhältnis bezieht sich hierbei auf die Nutzungszeit aus dem Profil „Hörsaal, Auditorium“ nach DIN V 18599 [2].

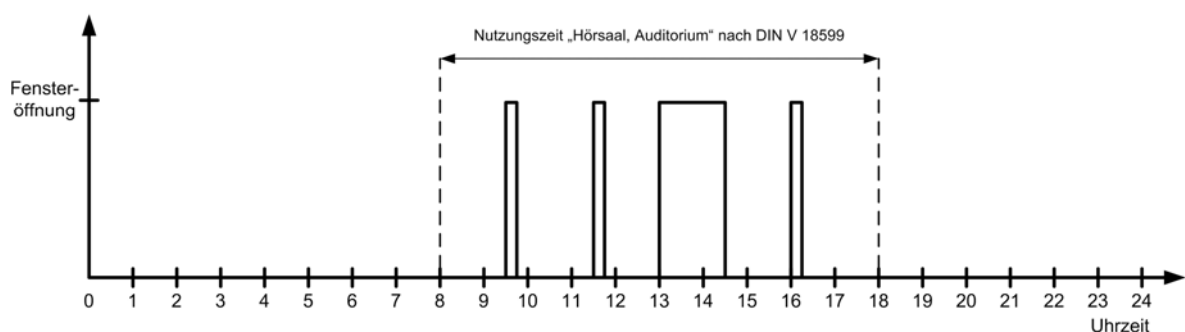


Abbildung 10: Visualisierung Fensteröffnung, entspricht einem zeitlichen Lüftungsanteil von 32% für Nutzungsprofil „Hörsaal, Auditorium“ nach DIN V 18599

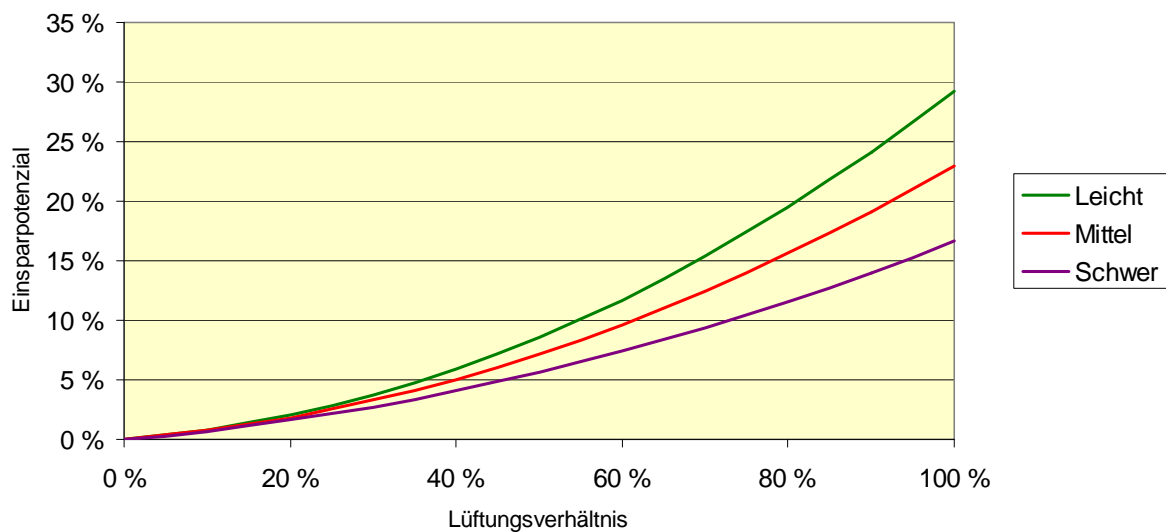


Abbildung 11: Zusammenhang Einsparpotenzial – Lüftungsverhältnis (Kipplüftung)

An dieser Stelle muss hervorgehoben werden, dass diese Ergebnisse auf definierten Randbedingungen (Kipplüftung, Nutzungsprofil usw.) beruhen und keine individuellen Aspekte des Nutzers (z.B. vermehrte Lüftungsneigung bei schönem Wetter) berücksichtigen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits eine einzelne Funktion zu erheblichen Einsparungen führen kann. Bei Fehlverhalten des Nutzers (z.B. permanent geöffnetes Fenster) sind noch wesentlich höhere Einsparungen zu erwarten. Bei einem idealen Verhalten des Nutzers kann allerdings auch dementsprechend eine nur sehr geringe Einsparung erzielt werden. Auch bei diesen Simulationsuntersuchungen zeigt sich wiederum der starke Einfluss des Nutzerverhaltens bzw. der Nutzungsrandbedingungen auf die erzielten Ergebnisse.

Fazit

Durch die durchgeführten Simulationen unter definierten Randbedingungen wird das Einsparpotenzial durch Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation eindeutig und reproduzierbar aufgezeigt.

Folgende Funktionen wurden mit dem Simulationsmodell analysiert. Zusammenfassend werden in diesem Dokument die ermittelten Ergebnisse aufgezeigt. Wie bereits mehrfach hingewiesen gelten diese Simulationsergebnisse nur für die definierten Randbedingungen, die ausführlich in der Gesamtdokumentation beschrieben sind.

- **Vergleich Mittelwertbildung Sollwert und exaktes Belegungsprofil**

Da die DIN V 18599 keine exakten Belegungsprofile, sondern nur gemittelte Werte darstellt sollte am Beispiel des Sollwertes für die Heizung der Unterschied zwischen der Simulation mit einem Mittelwert und der Simulation mit einem exakten Belegungsprofil in der Nutzungszeit überprüft werden.

Abbildung 12 zeigt die Unterscheidung zwischen einer Sollwertbildung aus dem Belegungsprofil und der arithmetischen Mittelwertbildung.

Insbesondere für die Normungsarbeit ist es wichtig zu wissen, in wie fern eine arithmetische Mittelwertbildung der Sollwerte (Temperatur) eine Abweichung im Vergleich zu einem exakten Belegungsprofil hervorruft.

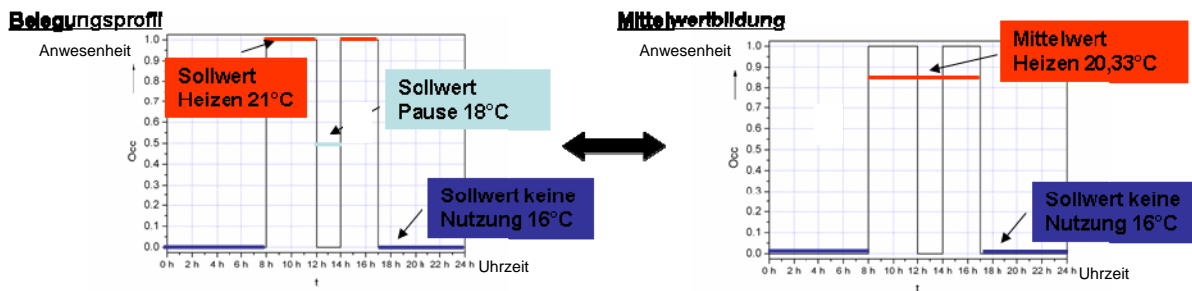


Abbildung 12: Gegenüberstellung exaktes Belegungsprofil und arithmetische Mittelwertbildung [aus Quelle 3 mit Ergänzungen Hochschule Biberach]

Hier konnte, in Abhängigkeit der Bauschwere, aufgezeigt werden, dass eine Abweichung zwischen 1 % und 4 % entstehen kann.

Als Belegungsprofil wurde auf das Profil „Class Room“ der DIN EN 15232 [3] zurück gegriffen.

- **Abbildung Fensterlüftung / Einsparung von Fensterkontakten**

Neben den in Abbildung 11 dargestellten Ergebnissen wurde auch eine vollständige Simulationsreihe für geöffnete Fenster durchgeführt. Hier konnte aufgezeigt werden, dass insbesondere bei einem höheren Lüftungsverhältnis die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bauschweren sich verringern (im Vergleich mit der Kipplüftung). Dies kann darauf zurück geführt werden, dass bei geöffneten Fenstern ein großer Luftaustausch stattfindet und damit die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bauschweren aneinander angeglichen werden, da auch große Speichermassen schnell entladen werden.

Die Einsparpotenziale werden, im Vergleich zu einem gekippten Fenster, um ca. 2 - 3 % erhöht.

- **Einsparung durch Nachtabsenkung**

Für die Simulation der Einsparpotenziale durch eine Nachtabsenkung wurde zum Einen ohne Nachtabsenkung (durchgehend 20 °C) und zum Anderen mit einer Nachtabsenkung auf 16 °C zwischen 18:00 Uhr und 6:00 Uhr simuliert. Hier konnten, in Abhängigkeit der Bauschweren, Einsparpotenziale zwischen 6 % und 12 % berechnet werden.

- **Einsparung durch Absenkung der Solltemperatur**

Um die oft zitierte „6 %-Regel“ zu überprüfen wurde diese in dem Simulationsmodell abgebildet. Laut dieser Regel soll bei der Absenkung des Sollwertes der Raumtemperatur um 1°C bis zu 6% Heizenergie eingespart werden können.

In der Tat konnte anhand der Simulationsuntersuchungen eine Einsparung zwischen 6,9 % und 8,2 % berechnet werden. Hierbei hat sich auch gezeigt, dass die Einsparung abhängig ist von welchem Temperaturniveau die Absenkung erfolgt. Umso höher das Temperaturniveau ist (z.B. von 22 °C auf 21 °C) umso geringer fällt das Einsparpotenzial aus, Dies kann darauf zurück geführt werden, dass bei steigenden Temperaturen die Wärmeverluste steigen.

Um das Verhalten der Einsparpotenziale bei steigender Absenkung zu untersuchen, wurde die obige Simulation für eine Absenkung von 2 K und 3 K wiederholt. In Tabelle 4 werden die Einsparpotenziale in Abhängigkeit der Bauweise und der jeweiligen Absenkung dargestellt. Wie deutlich zu erkennen ist, verhalten sich die Einsparpotenziale nahezu linear zu der Verdopplung der Absenkung.

Tabelle 4: Einsparpotenzial – Absenkung in Abhängigkeit der Solltemperatur

	Einsparung in Abhängigkeit der Absenkung der Solltemperatur		
Bauweise	1 K	2 K	3 K
Leicht	7,6 %	15,2 %	30,4 %
Mittel	7,5 %	15,0 %	30,0 %
Schwer	7,4 %	14,8 %	29,4 %

Um den Einfluss der Solltemperaturabsenkung bei verschiedenen Temperaturniveaus zu untersuchen, wurden weitere Simulationen durchgeführt. Die Simulationen wurden jeweils für eine Sollwertreduzierung von 21 °C auf 20 °C, von 20 °C auf 19 °C und von 19 °C auf 18 °C durchgeführt. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse. Es kann festgestellt werden, dass sich die Einsparungen mit steigendem Temperaturniveau verringern. Diese Verringerung ist dadurch erklärbar, dass bei steigendem Temperaturniveau die Wärmeverluste des Raumes steigen und somit der Einfluss der Sollwertreduzierung prozentual gemindert wird.

Die unterschiedlichen Einsparungen in Bezug auf die Bauweise haben sich schon in den bereits dokumentierten Simulationsergebnissen ebenso gezeigt. Umso schwerer die Bauweise ist, umso geringer ist die Einsparung, da die großen Speichermassen das dynamische Verhalten dämpfen.

Tabelle 5: Zusammenfassung Absenkung bei verschiedenen Temperaturniveaus

Absenkung	Leicht	Mittel	Schwer
19→18 °C	8,2 %	8,1 %	7,9 %
20→19 °C	7,6 %	7,5 %	7,4 %
21→20 °C	7,1 %	7,0 %	6,8 %

- **Einsparung durch präsenz- und helligkeitsabhängiger Beleuchtungssteuerung**
Auf Basis des Wetterdatensatzes konnte ein Modellierungsansatz implementiert werden, der die Simulation des einfallenden Tageslichts in den Raum möglich gemacht hat.
Dadurch konnte, neben der präsenzabhängigen Abschaltung der Beleuchtung, auch eine Abschaltung ab einer bestimmten Helligkeit (hier 500 Lx) simuliert werden.
Als Basis für die Durchführung der Simulation muss zunächst, um das Einsparpotenzial durch einen Präsenzmelder und eine helligkeitsabhängige Abschaltung reproduzierbar berechnen zu können, ein Belegungsprofil festgelegt werden.
In Tabelle 6 ist das tägliche Belegungsprofil aufgelistet, das die Belegung von Montag bis Freitag mit Bezug auf die jeweiligen Vorlesungsblöcke zeigt.

In den Phasen ohne Belegung ist eine Einsparung durch den Einsatz des Präsenzmelders zu erwarten, da in dieser Zeit (hier: 8:00 Uhr bis 10:45 und 16:00 Uhr bis 18:00 Uhr) ansonsten die Beleuchtung permanent aktiviert sein könnte.

**Tabelle 6:** Wöchentliches Belegungsprofil G0.03 (X = Raum belegt)

Block 5 16:15 – 17:45 Uhr	X	X		X	
Block 4 14:30 – 16:00 Uhr	X			X	X
Mittagspause					
Block 3 11:30 – 13:00 Uhr		X	X	X	X
Block 2 9:45 – 11:15 Uhr	X	X	X	X	X
Block 1 8:00 – 9:30 Uhr	X	X	X	X	X
	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag

In Abhängigkeit der definierten täglichen Beleuchtungsdauer konnte ein Einsparpotenzial der präsenzabhängigen Abschaltung von 19% bis 36% und bei der präsenz- und helligkeitsabhängigen Abschaltung von 32% bis 46% aufgezeigt werden. Diese Ergebnisse sind auf eine Simulation ohne Automationsfunktionen bezogen.

AP4: Mitwirkung Normungsarbeit zur DIN V 18599 – Teil 11

Die Hochschule Biberach hat im Projektzeitraum aktiv an dem Entwurf des neuen Teils 11 (Auswirkungen von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement) der DIN V 18599 [2] im AK NA 041-03-35-01 mitgewirkt, der die verschiedenen Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation zusammenfassen und deren praktische Anwendung vereinfachen soll.

Im Wesentlichen wurden folgende Themengebiete durch die Hochschule Biberach vorgeschlagen, erarbeitet und auch in dem Normvorschlag umgesetzt:

- Eindeutige Kennzeichnungssystematik der Funktionen (z.B. H-1-1-2)
- Vorschläge für neue Teilbetriebsfaktoren (bzw. Funktionen) in den einzelnen Teilen der DIN V 18599 [2]
- Tabellen mit Übersicht der Funktionen, die sich in den einzelnen Teilen der DIN V 18599 [2] befinden
- Mitarbeit bei der Integration der europäischen Norm DIN EN 15232 [3]
- Mitarbeit beim redaktionellen Erstellen des Teils 11

Diese und weitere Themengebiete werden in einem kontinuierlichen Prozess in Zusammenarbeit mit dem gesamten Normungsausschuss erarbeitet.

Die parallelen Arbeiten in anderen Richtlinien-Arbeitskreisen, wie z.B. die VDI 3813 Raumautomation sind ebenfalls eingeflossen. Der Bezug in der Richtlinienarbeit der VDI 3813 [4] zu den Normen DIN V 18599 [2] und DIN EN 15232 wurde ebenfalls hergestellt.

In der Sitzung des Gemeinschaftsausschusses am 18. April 2011 wurde der Teil 11 - Auswirkungen von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement zur Validierung freigegeben.



Fazit

Durch die intensive Mitarbeit der Hochschule Biberach in den letzten 2 Jahren an der Normungsarbeit DIN V 18599 [2] im AK NA 041-03-35-01 konnte nunmehr ein wichtiger Meilenstein durch die Verabschiedung des Teils 11 - Auswirkungen von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement erreicht werden.

Es ist zu erwarten, dass ab 2012 mit Verabschiedung der aktualisierten EnEV 2012 die überarbeitete Version der DIN V 18599 [2] einschließlich Teil 11 gültig wird.

Die Bedeutung und der Stellenwert der Raum- und Gebäudeautomation auf die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden werden dadurch im Planungsprozess weiter zunehmen.

Hierfür sind allerdings noch adäquate Planungswerkzeuge erforderlich, die die Anwendung der Berechnung und Darstellung des Einflusses der Raum- und Gebäudeautomation in der Planungspraxis ermöglichen bzw. vereinfachen.

Weitere Kernaussagen des Projektes

Zusätzlich zu den spezifizierten Ergebnissen können auf Grund der Erfahrungen und Analysen aus diesem Projekt folgende ergänzenden Aussagen abgeleitet werden:

- Die Positionierung der Sensoren hat maßgeblichen Einfluss auf die Regelung und damit auf die Einsparpotenziale. Ein Beispiel hierfür konnte während der Messkampagne mit einem Präsenzmelder festgestellt werden.
- In der Praxis ist die Auswahl abgestimmter Komponenten von großer Bedeutung, da nur dadurch die Funktionsdefinition gewährleistet werden kann. Ein Beispiel hierfür ist die Auswahl von Ventil und passendem Ventilantrieb. Hieraus lässt sich ableiten, dass in der Praxis besondere Aufmerksamkeit bei der Planung, Ausschreibung, Montage und Inbetriebnahme erforderlich ist.
- Sämtliche Ergebnisse sind sehr stark von dem konkreten Nutzerverhalten abhängig. Insbesondere bei unterschiedlichem Nutzerverhalten können Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation einen unnötigen Energieverbrauch verhindern.
- Um Veränderungen der Randbedingungen oder unterschiedliche Störgrößen, für ein kontinuierliches Monitoring und eine permanente Optimierung, berücksichtigen zu können ist ein Gewerke übergreifendes Automationssystem eine unverzichtbare Basis.
- Der Einfluss der Primäranlagen (Erzeugung und Verteilung) auf den Energieverbrauch in den Räumen darf in der Praxis nicht unterschätzt werden, da eine fehlerhafte Regelung bzw. Steuerung dieser Anlagen auch direkte Auswirkungen auf die Raumfunktionen und somit auch auf die Energieeinsparung durch Raumautomation haben kann.



Literaturliste

- [1] Knoll, P.; Becker, M.: Literaturübersicht zu Energieeinsparpotenzial durch moderne Elektroinstallation, Oktober 2007, Studie im Auftrag des ZVEI Fachverband Installationsgeräte/-systeme
- [2] DIN V 18599 T1-T10: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Juli 2005; Beuth-Verlag Berlin
- [3] DIN EN 15232: Energieeffizienz von Gebäuden, – Einfluss der Gebäudeautomation und des Gebäudemanagement; 2007; CEN Brüssel
- [4] VDI 3813-1: Gebäudeautomation (GA) - Grundlagen der Raumautomation. Mai 2011; VDI 3813-2: Gebäudeautomation (GA) – Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen). Mai 2011, Beuth Verlag Berlin

Kontakte: Hochschule Biberach, Karlstr. 11, 88400 Biberach

Prof. Dr.-Ing. Martin Becker Tel.: 07351-582-253 Raum K 1.11
Fax: 07351-582-299
e-mail: becker@hochschule-bc.de

Dipl.- Ing. (FH) Peter Knoll Tel.: 07351-582-265 Raum G-2.03
Fax: 07351-582-299
e-mail: knoll@hochschule-bc.de