

Quelle: © Hochschule Luzern 2019



Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE LUZERN

Datum: 22. November 2019

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfängerin:

Hochschule Luzern Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE
Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Autor/in:

Olivier Steiger, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, olivier.steiger@hslu.ch
Reto Marek, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, reto.marek@hslu.ch
Reto Häfliger, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, reto.haefliger@hslu.ch
Carina Gubler, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, carina.gubler@hslu.ch
Martin Camenzind Hochschule Luzern – Technik & Architektur, martin.camenzind@hslu.ch
Björn Schrader, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, bjorn.schrader@hslu.ch

BFE-Projektbegleitung:

Dr. Michael Moser, michael.moser@bfe.admin.ch
Roland Brüniger, roland.brueeniger@brueniger.swiss

BFE-Vertragsnummer: SI/501566-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht die erweiterte Präsenzerfassung in Gebäuden. Der Begriff bezeichnet die Erfassung von Präsenz (Anwesenheit ja / nein), Anzahl, Position, Tätigkeit und Identität von Personen. Zunächst wurden die erforderlichen Grundlagen zusammengestellt. Dabei hat sich gezeigt, dass die erweiterte Präsenzerfassung in den bestehenden Baunormen nicht explizit berücksichtigt wird. Anwendungsfälle dafür sind aber vorhanden. Dann wurden die Anforderungen an erweiterte Präsenzmelder definiert. Diese dürfen sich bezüglich Preis, Aussehen und Handhabung nicht massgeblich von konventionellen Präsenzmeldern unterscheiden (z.B. PIR). Weiter wurden vier Methoden zur Erfassung der erweiterten Präsenz in real genutzten Umgebungen untersucht. Die videobasierte Präsenzerfassung, ist bereits am Markt erhältlich und erlaubt Messgenauigkeiten von etwa ± 2 Personen. Letztendlich wurde der Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung bestimmt. Im Zweckbau wurde ein signifikantes Energiesparpotential festgestellt. Im Wohnbau ist die konventionelle Präsenzerfassung zu bevorzugen. Aufgrund der Ergebnisse wurde eine Reihe von Handlungsempfehlungen abgegeben für Hersteller und Fachplaner.

Résumé

La présente étude examine la détection de présence étendue dans les bâtiments. Le terme se réfère à l'enregistrement de la présence (présence oui / non), du nombre, de la position, de l'activité et de l'identité des personnes. Tout d'abord, les bases nécessaires ont été rassemblées. Il s'est avéré que la détection de présence étendue n'est pas explicitement prise en compte par les normes de construction actuelles. Cependant, les applications correspondantes existent déjà. Ensuite, les exigences relatives aux détecteurs de présence étendus ont été définies. Ceux-ci ne doivent pas différer sensiblement des détecteurs de présence conventionnels (par ex. PIR) en termes de prix, d'aspect et de manipulation. En outre, quatre méthodes d'enregistrement de la présence étendue ont été étudiées au sein d'environnements réels. La détection de présence par vidéo est déjà disponible sur le marché et permet des précisions de mesure d'environ ± 2 personnes. Enfin, l'utilité de la détection de présence étendue a été déterminée. Un important potentiel d'économies d'énergie a été identifié dans les bâtiments fonctionnels. La détection de présence conventionnelle est par contre à privilégier dans les bâtiments résidentiels. Sur la base de ces résultats, des recommandations ont été formulées à l'intention des fabricants et des planificateurs.

Summary

This study examines the detection of extended presence in buildings. The term refers to the recording of presence (presence yes / no), number, position, activity and identity of persons. First, the necessary basics have been compiled. This has shown that extended presence detection has not yet been taken into account by building standards. However, there are already applications for this. Then the main requirements for extended presence detectors have been defined. These must not differ significantly from conventional presence detectors (e.g. PIR) in terms of price, appearance and handling. Furthermore, four methods for recording the extended presence have been tested in real-life environments. Video-based presence detection is already available on the marketplace and allows for measurement accuracies of about ± 2 persons. In the end, the benefit of extended presence detection has been determined. A significant potential for energy savings was found in functional buildings. On the other hand, conventional presence detection is to be favoured in residential buildings. Based on these results, a number of recommendations were derived for manufacturers and planners.



Take-home messages

- Bei der Bestimmung des Nutzerverhaltens im Allgemeinen, und bei der erweiterten Präsenzerfassung insbesondere, werden hohe Erwartungen und Anforderungen an den Persönlichkeitsschutz gestellt. Diese müssen bei der Auswahl und Planung der Lösungen berücksichtigt werden
- Die Eigenschaften (Einzelgerät oder verteilte Systeme, Formgebung, Installation usw.) und Messgenauigkeit unterschiedlicher Lösungen unterscheiden sich stark voneinander. Von allen Lösungen wird jedoch erwartet, dass sich diese nicht grundlegend von konventionellen Lösungen unterscheiden (bspw. PIR)
- Der energetische Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung ist schwer zu bestimmen und bisher nicht eindeutig nachgewiesen. Im Zweckbau wurde ein signifikantes Einsparpotential festgestellt. Im Wohnbau ist die konventionelle Präsenzerfassung zu bevorzugen
- Ein wesentlicher Nutzen ist zu erwarten bezüglich der Funktionalität (bspw. Erstellung von Grundlagen für die Planung) und Wirtschaftlichkeit (Optimierung der Raumbelegung). Ebenfalls ein nachweislicher Nutzen ergibt sich beim Komfort (individualisierte Gebäudeautomation) und bei der Sicherheit (Active Assisted Living)



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	3
Summary	3
Take-home messages	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage	8
1.2 Präsenzerfassung im Gebäude	9
1.3 Konventionelle und erweiterte Präsenz	10
1.4 Ziel der Arbeit	11
1.5 Vorgehen	11
2 Grundlagen.....	12
2.1 Daten zum Gebäudepark der Schweiz.....	12
2.1.1 Gebäudebestand	12
2.1.2 Energieverbrauch	13
2.2 Präsenzerfassung in der Norm.....	19
2.2.1 Vorgehen	19
2.2.2 Ergebnisse.....	19
2.3 Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung	20
2.3.1 Ausgangslage	20
2.3.2 Vorgehen	21
2.3.3 Ergebnisse.....	22
2.4 Zusammenfassung	22
3 Erfassung der erweiterten Präsenz	24
3.1 Anforderungen an die Sensorik.....	24
3.1.1 Sensor-Eigenschaften	24
3.1.2 Installation und Inbetriebnahme, Umnutzung	25
3.1.3 Unterhalt, Ersatz	25
3.1.4 Betrieb	25
3.2 Erfassungsmethoden.....	26
3.2.1 Vernetzung bestehender Raumsensoren.....	27
3.2.2 Multisensor-Plattform.....	28
3.2.3 Videobasierte Präsenzerfassung.....	28
3.2.4 Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera.....	31
3.3 Versuchsergebnisse	33



3.3.1	Versuchsanordnung	33
3.3.2	Vernetzung bestehender Raumsensoren.....	39
3.3.3	Multisensor-Plattform.....	40
3.3.4	Videobasierte Präsenzerfassung.....	41
3.3.5	Personenerkennung mittels Wärmebildkamera	44
3.4	Zusammenfassung	45
4	Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung.....	47
4.1	Mögliche Anwendungen	47
4.2	Stand der Technik	49
4.2.1	Allgemeines	49
4.2.2	Steuern nach Präsenz	51
4.2.3	Steuern nach Belegung	52
4.2.4	Steuern nach Position	54
4.2.5	Steuern nach Tätigkeit.....	54
4.2.6	Steuern nach Individuum	55
4.2.7	Nachlaufzeiten	55
4.3	Verbesserung der Energieeffizienz durch die erweiterte Präsenzerfassung	56
4.3.1	Allgemeines	56
4.3.2	Heizung, Kühlung	58
4.3.3	Lüftung	59
4.3.4	Beleuchtung.....	60
4.3.5	Beschattung.....	61
4.3.6	Elektro.....	63
4.3.7	Sanitär	63
4.4	Zusammenfassung	63
5	Handlungsempfehlungen	65
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	67
6.1	Schlussfolgerungen	67
6.2	Ausblick	68
7	Danksagung	68
8	Literaturverzeichnis	69
9	Anhang	73
9.1	Präsenzerfassung in der Norm – Zusammenstellung der Suchergebnisse	73
9.2	Anforderungen an die Sensorik – Transkript der Interviews	94
9.3	Datenschutz – Kontakte	98



Abkürzungsverzeichnis

API	Application programming interface (Deutsch: Anwendungsschnittstelle)
BFE	Bundesamt für Energie
CNN	Convolutional neural network
COV / COS	Change of Value / Change of State
CSV	Comma-Separated Values
EBF	Energiebezugsfläche
GA	Gebäudeautomation
GWR	Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister
HF	Hochfrequenz
HLK	Heizung, Lüftung, Kälte
IoT	Internet of Things (Deutsch: Internet der Dinge)
MAE	Mean Absolute Error (Deutsch: Mittlerer absoluter Fehler)
MPC	Model Predictive Control (Deutsch: Modellprädiktive Regelung)
NAS	Network Attached Storage (Deutsch: Netzgebundener Speicher)
PIR	Passive Infrared Sensor (Deutsch: Pyroelektrischer Sensor)
PoE	Power over Ethernet (Deutsch: Speisung übers Ethernet)
TGM	Technisches Gebäudemanagement
UP	Unterputz
VAV	Variable air volume (Deutsch: variables Luftvolumen)



1 Einleitung

In diesem Kapitel wird der Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit erläutert. Im Abschnitt 1.1 wird die Ausgangslage zusammengefasst. Im Abschnitt 1.2 wird die Rolle der Präsenzerfassung in der Gebäudetechnik beschrieben. Im Abschnitt 1.3 werden die Begriffe der konventionellen und der erweiterten Präsenzerfassung definiert. Im Abschnitt 1.4 werden die wesentlichen Ziele der Arbeit ausgeführt, und im Abschnitt 1.5 wird das entsprechende Vorgehen beschrieben.

1.1 Ausgangslage

In der Schweiz fallen 45% des gesamten Endenergieverbrauchs an zur Beheizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasseraufbereitung, Haustechnik und Beleuchtung von Gebäuden (Stand 2017) [1]. Ein Teil dieser Energie wird jedoch nicht benötigt, weil Räume zeitweise ungenutzt bleiben und die Zufuhr von Wärme / Kälte / Frischluft / Licht somit nicht dem tatsächlichen Bedarf entspricht. Ein Mittel, um den Endenergieverbrauch zu senken, ist die bedarfsabhängige Regelung von gebäudetechnischen Anlagen. Dabei werden die Anlagen exakt nach dem vorhandenen bzw. vorhergesagten Bedarf geregelt.

Die europäische Norm EN 15232 stellt Hilfsmittel zur Verfügung zur Abschätzung der Energieeinsparungen, die durch die bedarfsabhängige Regelung von gebäudetechnischen Anlagen (und weitere Massnahmen) erreicht werden können [2]. Zu diesem Zweck werden vier GA-Effizienzklassen definiert. Klasse D entspricht Gebäudeautomationssystemen, die nicht energieeffizient beziehungsweise nicht vorhanden sind. Klasse C entspricht Standard GA-Systemen und wird als Referenz verwendet. Klasse B entspricht erweiterten GA-Systemen und einigen, speziellen TMG-Funktionen (TMG = Technisches Gebäudemanagement). Klasse A entspricht hoch energieeffizienten GA-Systemen und TMG. Bei GA-Systemen der Effizienzklasse A wird der tatsächliche Bedarf durch sämtliche Anlagen berücksichtigt. Bei Systemen der Klasse B ist dies teilweise der Fall.

Zu jeder Effizienzklasse werden im Anhang A der Norm Schätzungen zu den möglichen Einsparungen beim thermischen und elektrischen Energieverbrauch angegeben. Diese sind wiedergegeben in Tabelle 1. Beispielsweise kann man bei Büros Einsparungen von 30% beim thermischen Energieverbrauch (Heizung und Kühlung) und von 13% beim elektrischen Energieverbrauch (Beleuchtung und Hilfsgeräte) erzielen, wenn von der GA-Effizienzklasse C auf die Klasse A ausgebaut wird.

	Klasse D		Klasse C		Klasse B		Klasse A	
	Thermisch	Elektrisch	Thermisch	Elektrisch	Thermisch	Elektrisch	Thermisch	Elektrisch
Wohngebäude	1.10	1.08	1	1	0.88	0.93	0.81	0.92
Büros	1.51	1.10	1	1	0.80	0.93	0.70	0.87
Hörsaal	1.24	1.06	1	1	0.75	0.94	0.50	0.89
Schulen	1.20	1.07	1	1	0.88	0.93	0.80	0.86
Krankenhaus	1.31	1.05	1	1	0.91	0.98	0.86	0.96
Hotels	1.31	1.07	1	1	0.85	0.95	0.68	0.90
Restaurants	1.23	1.04	1	1	0.77	0.96	0.68	0.92



Gross- und Einzelhandel	1.56	1.08	1	1	0.73	0.95	0.60	0.91
--------------------------------	------	------	---	---	------	------	------	------

Tabelle 1. GA-Effizienz-Gesamtfaktoren in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und der Effizienzklasse, zu der das GA- / TGM-System gehört. Quelle: [2].

1.2 Präsenzerfassung im Gebäude

Der Bedarf an Wärme / Kälte / Frischluft / Licht usw. in Gebäuden ist eng gebunden an die Anwesenheit von Menschen. So müssen Räume i.d.R. nur dann belüftet und beleuchtet werden, wenn Personen anwesend sind¹. Information zur Anwesenheit von Personen (*Präsenz*) kann also genutzt werden, um den Energiebedarf in den Räumen zu bestimmen und senken. Zur automatischen Erfassung der Präsenz werden Bewegungsmelder und Präsenzmelder eingesetzt. Bewegungsmelder reagieren auf grössere Bewegungen (bspw. sich fortbewegende Person), während Präsenzmelder bereits auf minimale Bewegungen ansprechen (z.B. tippen an einer Tastatur).

Für die Präsenzerfassung in Gebäuden existieren verschiedene Sensortechnologien (Abbildung 1). Am häufigsten werden passive Infrarotsensoren (PIR) eingesetzt. Diese erfassen Personen aufgrund ihrer Wärmeabstrahlung, sind weitverbreitet, kostengünstig und einfach zu installieren. Allerdings können PIR-Sensoren i.d.R. Personen nicht von anderen Wärmequellen unterscheiden, bspw. Tiere, Sonneneinstrahlung, elektronische Geräte. Auch muss ein Sichtkontakt bestehen vom Sensor zur Person. Diese Nachteile können teilweise umgangen werden durch die Präsenzerfassung mit Ultraschall oder hochfrequenten Radiowellen (HF). Ultraschallwellen breiten sich vollständig im Raum aus und erkennen Bewegungen, auch wenn kein Sichtkontakt besteht. Hochfrequente Radiowellen sind zudem in der Lage, Glas, Holz und Leichtbauwände zu durchdringen. Damit eignen sich HF-Sensoren besonders für WCs mit Toilettenkabinen, Umkleiden und Treppenhäuser. Eine neuartige Sensortechnologie ist die optische Präsenzerfassung. Dabei wird der Raum über ein optisches System (i.d.R. Video) erfasst. Anwesende Personen werden dann über ein Bildverarbeitungsverfahren erkannt. Damit lassen sich Personen nicht nur erfassen, sondern auch zählen, lokalisieren und erkennen.

Die geläufigste Anwendung der Präsenzerfassung im Gebäude ist das ein- und ausschalten der Beleuchtung. Präsenzmelder werden jedoch auch für weitere Aufgaben eingesetzt: Einbruchmeldung, bedarfsgeführte HLK, Belegungsmeldung in Sitzungszimmern und an Arbeitsplätzen, Standby-Schalten von Elektrogeräten und gebäudetechnischen Systemen bei Abwesenheit usw.

¹ Bei Systemen mit grosser Trägheit, bspw. Heizung und Kühlung, muss auch in nicht-belegten Räumen eine Grundversorgung sichergestellt werden. Komfortwerte werden jedoch auch hier nur eingestellt, wenn Personen anwesend sind.

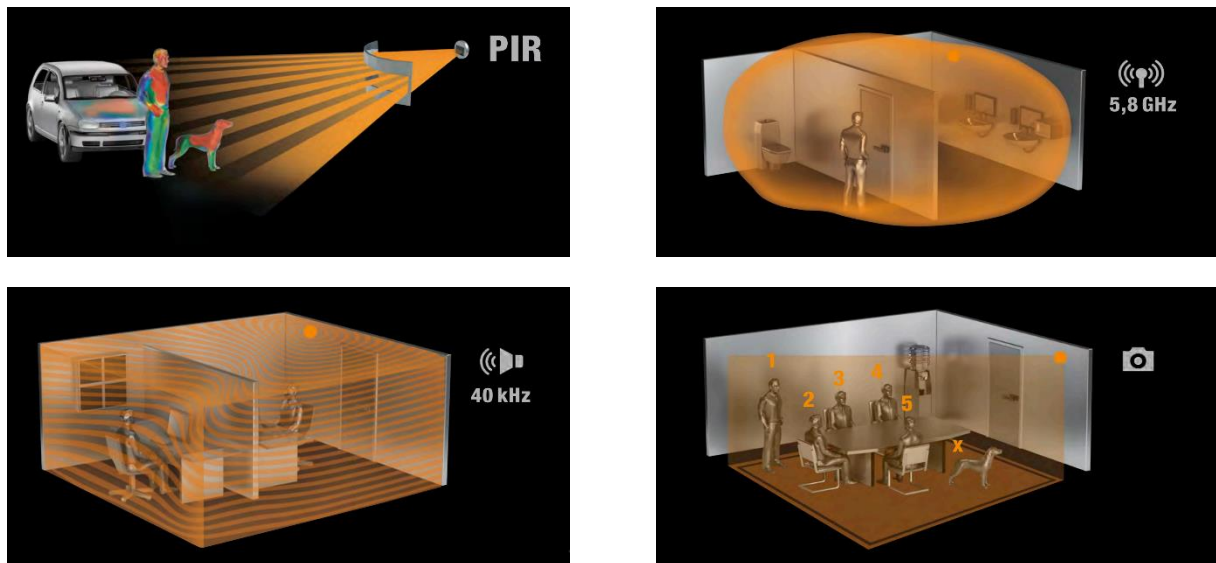


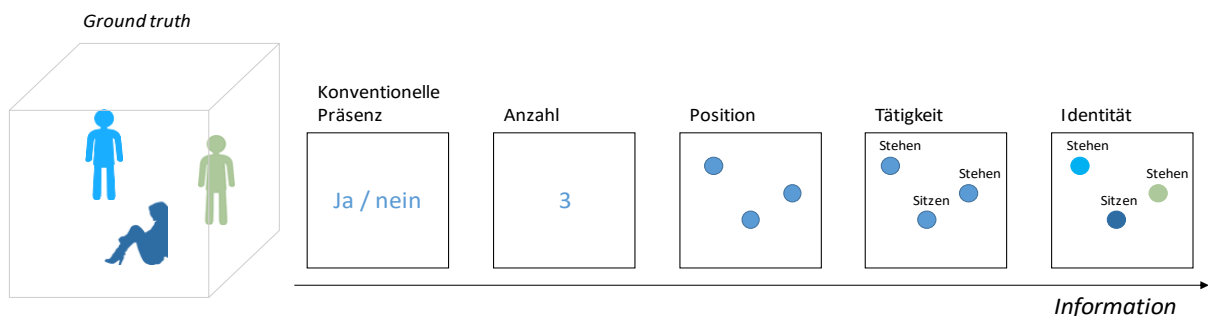
Abbildung 1. Für die Präsenzerfassung in Gebäuden existieren verschiedene Sensortechnologien. Oben links: Passiv-Infrarot; oben rechts: Hochfrequenz; unten links: Ultraschall; unten rechts: Optischer Sensor. Bilder: STEINEL Professional.

1.3 Konventionelle und erweiterte Präsenz

Im Abschnitt 1.2 wurden unterschiedliche Technologien vorgestellt zur Präsenzerfassung in Gebäuden. Mit Ausnahme der optischen Sensoren lässt sich damit einzig die Anwesenheit (anwesend / nicht anwesend) von Personen bestimmen. Diese Information wird in der Folge als *konventionelle Präsenz* bezeichnet. Weitere Angaben zu den Personen, bspw. deren Anzahl und Position, werden nicht erfasst.

Um den Bedarf (an Energie, Komfort, Sicherheit) noch genauer zu ermitteln, kann zusätzliche Information aus den Räumen gewonnen werden. Bspw. können die Anzahl, Position, Tätigkeit und Identität der anwesenden Personen bestimmt werden. Diese Angaben gehen über die konventionelle Präsenz hinaus und werden deshalb in der Folge als *erweiterte Präsenz* bezeichnet (Abbildung 2).

Die Erfassung der erweiterten Präsenz eröffnet viele neue Möglichkeiten. So kann die Beleuchtung, Lüftung und Heizung viel genauer gesteuert und an den effektiven Bedarf angepasst werden. Dadurch kann wiederum der Energiebezug gesenkt und der Komfort für die Nutzer gesteigert werden. Weiter können neue Anwendungsfälle abgedeckt werden, bspw. die bedarfsgeführte Gebäudereinigung. Zudem können mit der erweiterten Präsenzerfassung datenbasierte Grundlagen erzeugt werden für die Planung weiterer Objekte. Die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der erweiterten Präsenzerfassung werden im Kapitel 4 eingehend besprochen.





1.4 Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit werden drei miteinander verknüpfte Ziele verfolgt. Erstens werden unterschiedliche Methoden zur Erfassung der erweiterten Präsenz untersucht. Zweitens werden verschiedene Anwendungsmöglichkeiten und deren Nutzen bezüglich der Energieeffizienz ausgewertet. Drittens werden Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung guter Präsenzmelder und den Einsatz der Präsenzerfassung abgeleitet.

Die Systemgrenze der Arbeit verläuft folgendermassen. (i) Es wird nur die Präsenzerfassung in Gebäuden untersucht. Aussenbereiche, Areale und Städte sind von der Arbeit ausgeschlossen. (ii) Die erweiterte Präsenzerfassung wird als wertsteigernden Ersatz für die konventionelle Präsenzerfassung betrachtet. Bis auf die zusätzliche Information muss die erweiterte Präsenzerfassung gleichwertig sein zur konventionellen Präsenzerfassung (in Bezug auf den Preis, Formfaktor, Funktionalität). (iii) Besondere Anwendungen wie die Videoüberwachung sind von den Untersuchungen ausgeschlossen.

1.5 Vorgehen

Um die definierten Ziele zu erreichen, wurde folgendermassen vorgegangen. Zunächst wurden die notwendigen Grundlagen zusammengetragen (Kapitel 2). Zur Bestimmung der Daten zum Gebäudepark der Schweiz und der Rolle der Präsenzerfassung in der Norm, wurde die entsprechende Literatur untersucht. Um die Rahmenbedingungen bezüglich des Persönlichkeitsschutzes bei der Präsenzerfassung in Erfahrung zu bringen, wurden verschiedene Experten befragt.

Gleichzeitig wurden vier Methoden zur automatischen Erfassung der erweiterten Präsenz ausgewählt, implementiert und in verschiedenen Räumlichkeiten der Hochschule Luzern untersucht (Kapitel 3). Bei der Auswahl der Methoden wurden einerseits die auf dem Markt verfügbaren Produkte berücksichtigt, und andererseits Lösungen ausgewählt, die den Anforderungen der Praxis genügen und mit vernünftigem Aufwand umgesetzt werden konnten. Die Untersuchung der Methoden wurde in mehrere Teilprojekte unterteilt und über einen Zeitraum von etwa 18 Monaten verteilt.

Zur Bestimmung des Nutzens der erweiterten Präsenzerfassung sollten ursprünglich Praxisversuche in verschiedenen, real genutzten Räumlichkeiten durchgeführt werden. Die Ergebnisse sollten dann Rückschlüsse erlauben zu möglichen Einsparungen beim Energieverbrauch. Dabei zeigten sich folgende Probleme: (i) Die ursprünglich vorgesehenen Räumlichkeiten durften aufgrund des Persönlichkeitsschutzes nicht verwendet werden. Deshalb mussten die Praxisversuche auf einige Räume der Hochschule Luzern beschränkt werden. (ii) Es lassen sich nur im «closed loop» Verfahren belastbare Aussagen gewinnen bezüglich der Energieeinsparungen. D.h. die bedarfsabhängig geregelten Anlagen müssen in die Untersuchungen miteingeschlossen werden. Dies war im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich. (iii) Quantitative Erkenntnisse aus bestimmten Räumlichkeiten lassen sich, aufgrund der Vielzahl an Gebäudetypen, Nutzungen usw., kaum verallgemeinern. Aus den genannten Gründen wurde der Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung nicht mittels praktischer Versuche, sondern in einer ausführlichen Literaturstudie bestimmt (Kapitel 4).

Die Handlungsempfehlungen im Kapitel 5 stützen sich auf die Erkenntnisse der gesamten Arbeit und wurden durch das Projektteam zusammengetragen.



2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der nachfolgenden Untersuchung über die erweiterte Präsenzerfassung erörtert. Im Abschnitt 2.1 werden die wichtigsten Daten zum Energieverbrauch von Gebäuden in der Schweiz übersichtlich zusammengestellt. Damit lässt sich das Einsparpotential für verschiedene Gebäudekategorien, Gewerke, Verbrauchssektoren und Verwendungszwecke abschätzen. Im Abschnitt 2.2 wird der Stellenwert der Präsenzerfassung in der Norm untersucht. Es wird der Frage nachgegangen, wann und zu welchem Zweck die Präsenzerfassung in den einschlägigen Baunormen Erwähnung findet. Weiter wird untersucht, inwiefern die erweiterte Präsenzerfassung im Normenwerk ebenfalls eine Rolle spielt. Im Abschnitt 2.3 werden Fragen zum Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung im Gebäude behandelt. Unter anderem wird erkundet, unter welchen Bedingungen die Videoüberwachung von Innenräumen zulässig ist.

2.1 Daten zum Gebäudepark der Schweiz

Um den Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung bezüglich des Energieverbrauchs abzuschätzen (Abschnitt 4.2), sind Daten zum Umfang und Energieverbrauch des Gebäudeparks der Schweiz erforderlich. Diese werden in der Folge übersichtlich zusammengestellt.

2.1.1 Gebäudebestand

Der Gebäudebestand der Schweiz umfasst schätzungsweise ca. 2.3 Millionen Gebäude [4]. Die Aufteilung des Gebäudepark in verschiedene Gebäudekategorien wird nicht statistisch erhoben². Sie lässt sich jedoch berechnen aufgrund der geschätzten Energiebezugsflächen der unterschiedlichen Gebäudekategorien. Die Ergebnisse wurden in Tabelle 2 zusammengestellt. Es ist zu beobachten, dass Wohngebäude nahezu 62% des gesamten Gebäudebestands ausmachen. Davon sind mehr als die Hälfte Einfamilienhäuser.

Wohngebäude	61.8%
Einfamilienhäuser	35.5%
Mehrfamilienhäuser	15.8%
Wohngebäude mit Nebennutzung	7.4%
Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung	3.1%
Bürogebäude	7.8%
Banken und Versicherungen, öffentliche Verwaltung, Bürogebäude von weiteren Branchen des Dienstleistungssektors	
Schulgebäude	3.2%
Öffentliche und private Schulen der primären, sekundären und tertiären Bildung	
übrige Kategorien	27.2%
Gross- und Detailhandel, Gesundheitswesen, diverse Dienstleistungsbranchen, Branchen des Industriesektors	

Tabelle 2: Gebäudebestand nach Gebäudekategorie im Jahr 2010. Die prozentuale Aufteilung wurde berechnet aufgrund der entsprechenden EBF gemäss Quelle [5], Tabelle 6. Totaler Bestand EBF im Jahr 2010: 717.5 Mio. m². Die zusätzliche Unterteilung der Wohngebäude stammt aus Quelle [6].

² Für die Schweiz wird bis heute keine Statistik des gesamten Gebäudeparks erstellt. Statistische Erhebungen werden nur für Gebäude mit Wohnnutzung durchgeführt (Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister GWR). Für Gebäude ohne Wohnnutzung besteht gemäss GWR-Verordnung weder eine Aufnahme- noch eine Nachführungspflicht.



In Abbildung 3 wurde der Gebäudebestand weiter unterteilt nach Bauperiode. Auffällige ist der hohe Anteil an Altbauten in allen Gebäudekategorien (Baujahr bis 1975: >60% der gesamten EBF). Solche Gebäude sind energetisch oft in einem schlechten Zustand.

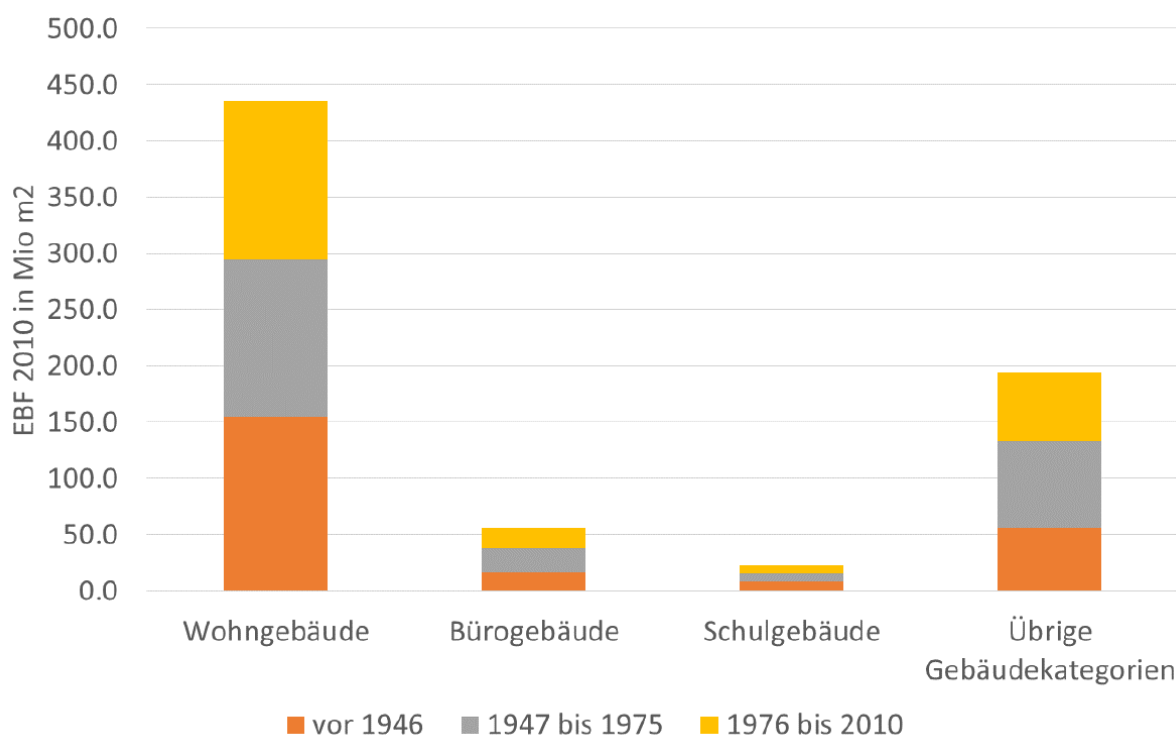


Abbildung 3: Gebäudebestand im Jahr 2010 nach Bauperiode, in Mio. m² EBF. Quelle: [5].

2.1.2 Energieverbrauch

Seit Anfang der neunziger Jahre werden im Auftrag des BFE regelmässig Analysen des schweizerischen Energieverbrauchs durchgeführt [7, 8]. Dabei wird unterschieden nach den Verbrauchssektoren Haushalte, Dienstleistungen, Industrie und Verkehr³. Grundlage der Analyse bilden Energiemodelle, die im Rahmen der Energieperspektiven des BFE entwickelt wurden. Die Energieperspektiven zeigen Optionen auf für die Planung einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik, die sich im Spannungsfeld zwischen Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit, Wirtschaftsverträglichkeit und Sozialverträglichkeit positionieren muss.

Endenergieverbrauch im Jahr 2017

Die Verbrauchsanalyse nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck für das Jahr 2017 veranschaulicht, wie sich der Gesamtenergieverbrauch auf verschiedene Kategorien verteilt (Tabelle 3). Der inländische Endenergieverbrauch wurde im Jahr 2017 fast zur Hälfte (45%) durch die Haushalte verursacht. Geringere Anteile fallen zurück auf die Industrie (30%) und den Dienstleistungssektor (25%). Der Gesamtenergieverbrauch wurde dominiert durch den Verwendungszweck Raumwärme (45%). Von grösserer Bedeutung waren auch die Prozesswärme (18%) sowie die Antriebe und Prozesse (13%).

³ Der Verbrauchssektor Verkehr wird in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.



Bei den Verwendungszwecken Prozesswärme sowie Antriebe und Prozesse ist der grösste Teil des Verbrauchs auf Industrieanlagen zurückzuführen (Abbildung 4). Das Gebäude macht hier nur einen geringen Teil des Verbrauchs aus. Weiter ist festzustellen, dass die Raumwärme und das Warmwasser vor allem bei Haushalten und Dienstleistungen von Bedeutung sind, während diese bei der Industrie kaum ins Gewicht fallen (Abbildung 5). Letztendlich ist zu beobachten, dass die Beleuchtung, HLK und Information / Kommunikation vor allem im Dienstleistungssektor einen wichtigen Anteil haben am Endenergieverbrauch (Abbildung 6).

Darstellung für das Jahr 2017, in PJ

Verwendungszweck	Haushalte		Dienstleistungen		Industrie		Summe	
Raumwärme	158.9	68%	64.8	48%	15.5	10%	239.2	45%
Warmwasser	32.1	14%	11.1	8%	2.6	2%	45.8	9%
Prozesswärme	5.5	2%	2.1	2%	87.7	55%	95.3	18%
Beleuchtung	4.9	2%	15.0	11%	5.4	3%	25.3	5%
Klima, Lüftung & übrige Haustechnik	4.6	2%	16.2	12%	0.9	1%	21.7	4%
I&K, Unterhaltung	4.6	2%	4.5	3%	0.7	0%	9.8	2%
Antriebe, Prozesse	15.7	7%	16.8	13%	37.3	24%	69.8	13%
sonstige	9.0	4%	3.7	3%	8.0	5%	20.7	4%
Total inländischer EEV	235.3	100%	134.2	100%	158.1	100%	527.6	100%
Anteile in Prozent	45%		25%		30%		100%	

EEV: Endenergieverbrauch, I&K: Information und Kommunikation

Tabelle 3: Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck im Jahr 2017⁴. Die Daten stammen aus Quelle [1] und wurden für diesen Bericht aufbereitet. Die Prozesswärme umfasst neben dem Wärmeverbrauch für industrielle und gewerbliche Arbeitsprozesse auch den Stromverbrauch elektrischer Küchengeräte (Kochherd, Backofen). Die Beleuchtung schliesst sowohl die Innenraum- wie die Aussenraumbeleuchtung ein. Antriebe und Prozesse beinhalten das Waschen und Trocknen, Kühlen und Gefrieren, Geschirrspülen, weitere Arbeitshilfen, industrielle Fertigungsprozesse, den Betrieb von Kläranlagen sowie landwirtschaftliche Prozesse.

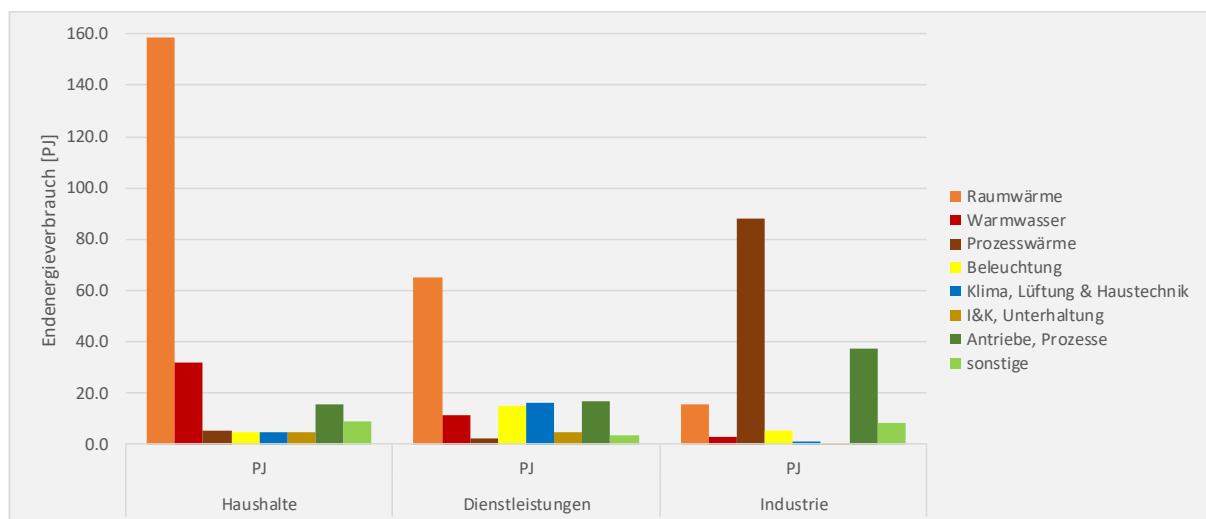


Abbildung 4: Absoluter Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck im Jahr 2017. Daten aus Quelle [1].

⁴ Alle Zahlen basieren auf Modellrechnungen und wurden nicht auf die Gesamtenergiestatistik kalibriert.

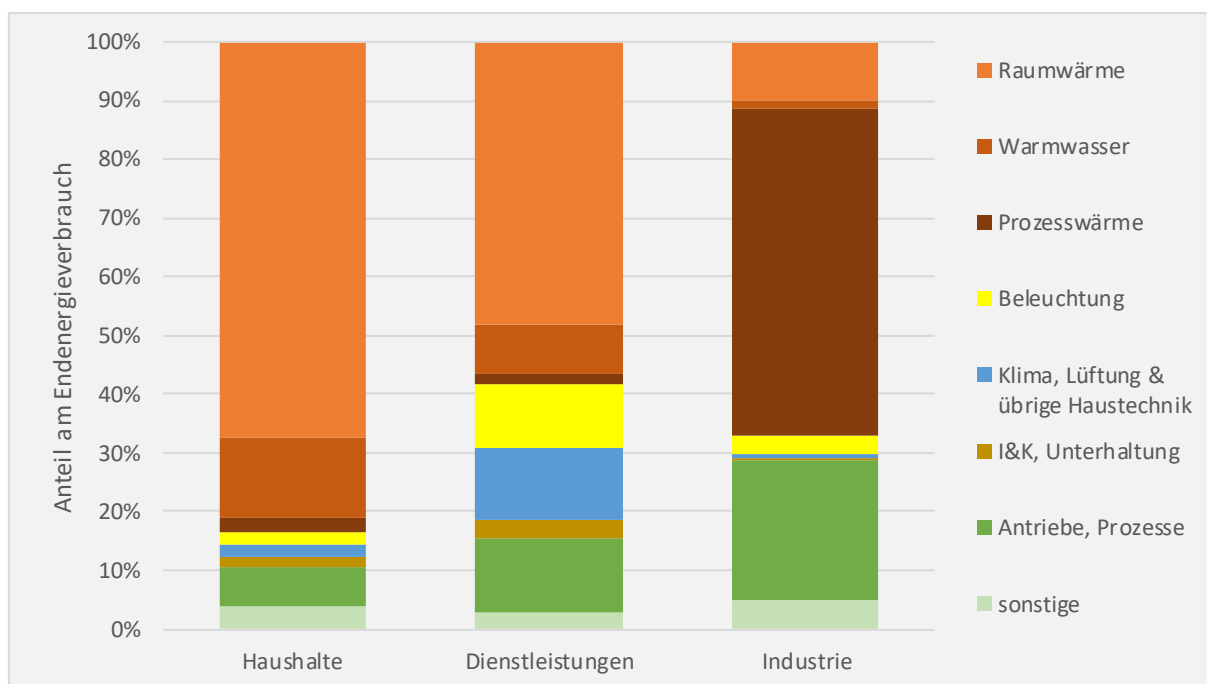


Abbildung 5: Relativer Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck im Jahr 2017. Daten aus Quelle [1].

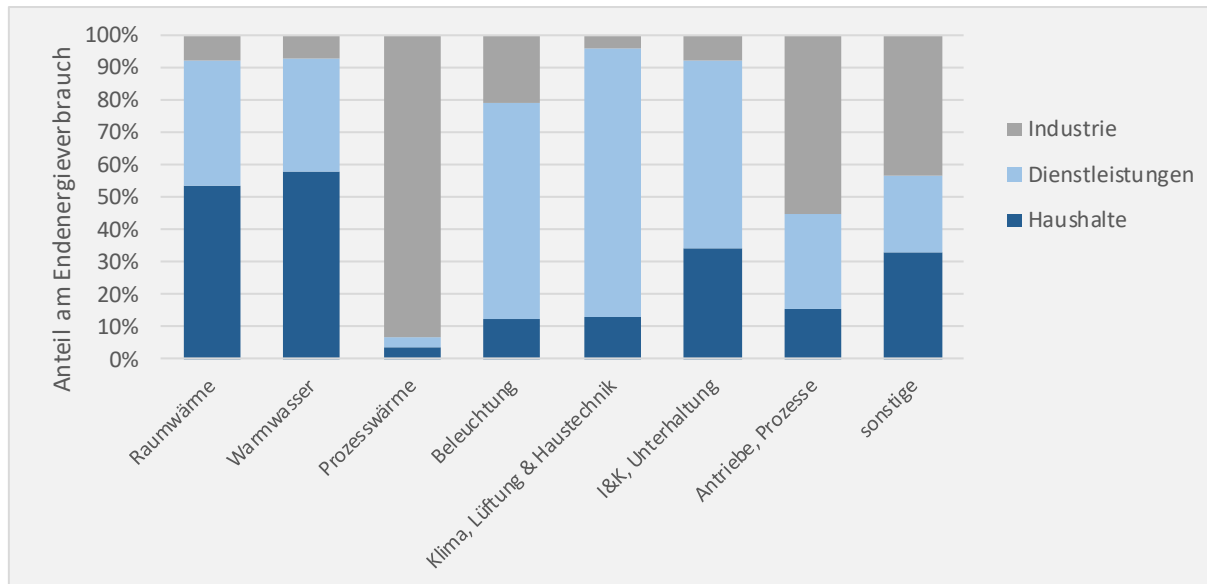


Abbildung 6: Relativer Endenergieverbrauch nach Verwendungszweck und Verbrauchssektor im Jahr 2017. Daten aus Quelle [1].

Elektrizitätsverbrauch im Jahr 2017

In Abbildung 7 ist der Elektrizitätsverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck im Jahr 2017 dargestellt. Der Vergleich zum gesamten Endenergieverbrauch (Abbildung 5) zeigt, dass einige Verbrauchssektoren heute praktisch rein elektrisch versorgt werden: Beleuchtung, Klima, Lüftung und Haustechnik, I & K und Unterhaltung sowie Antriebe und Prozesse. Umgekehrt werden bei der Raumwärme und beim Warmwasser weiterhin massgeblich auch nichtelektrische Energieträger eingesetzt: Öl, Gas, Holz usw. Dasselbe gilt für die Prozesswärme in der Industrie.

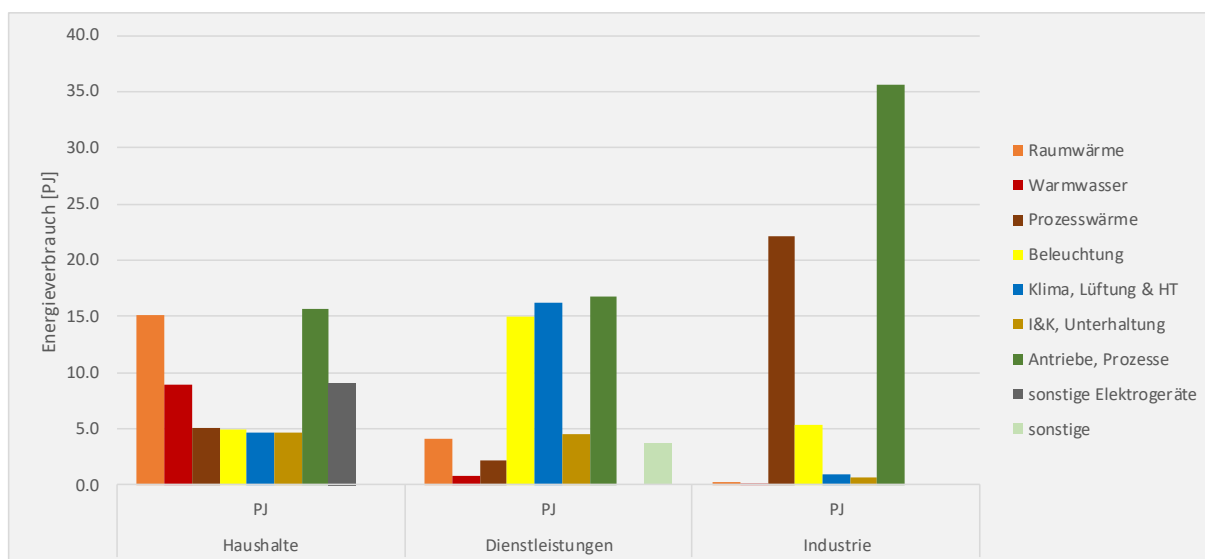


Abbildung 7: Elektrizitätsverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck im Jahr 2017. Daten aus Quelle [1].

Prognose – Spezifischer Endenergieverbrauch im Jahr 2050

In einer Studie wurde der spezifische Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck für das Jahr 2050 abgeschätzt [9]. Die Verbrauchssektoren wurden gemäss den Kategorien des SIA-Effizienzpfads Energie unterteilt [10]. In Abbildung 8 ist ersichtlich, dass in Zukunft ein grosser Anteil des spezifischen Endenergieverbrauchs im Dienstleistungssektor (Detailhandel, Restaurants und Bars, Ferienunterkünfte, Pflege, Hotels usw.) anfallen wird. Dasselbe gilt, in geringerem Masse, für die Industrie. Entsprechend sind in diesen Verbrauchssektoren Massnahmen zur Effizienzsteigerung gefordert.

In Abbildung 9 ist zu sehen, welche Verwendungszwecke pro Verbrauchssektor besonders stark ins Gewicht fallen. Beispielsweise spielt die Beleuchtung in kleinen Fachgeschäften eine dominante Rolle. Auffällig ist auch der hohe, relative Anteil am Endenergieverbrauch der Heizung im Einfamilienhaus sowie bei schulischen Einrichtungen (Volksschulen, Gymnasien, Hochschulen). Umgekehrt spielt die Beleuchtung im Wohnsektor praktisch keine Rolle.

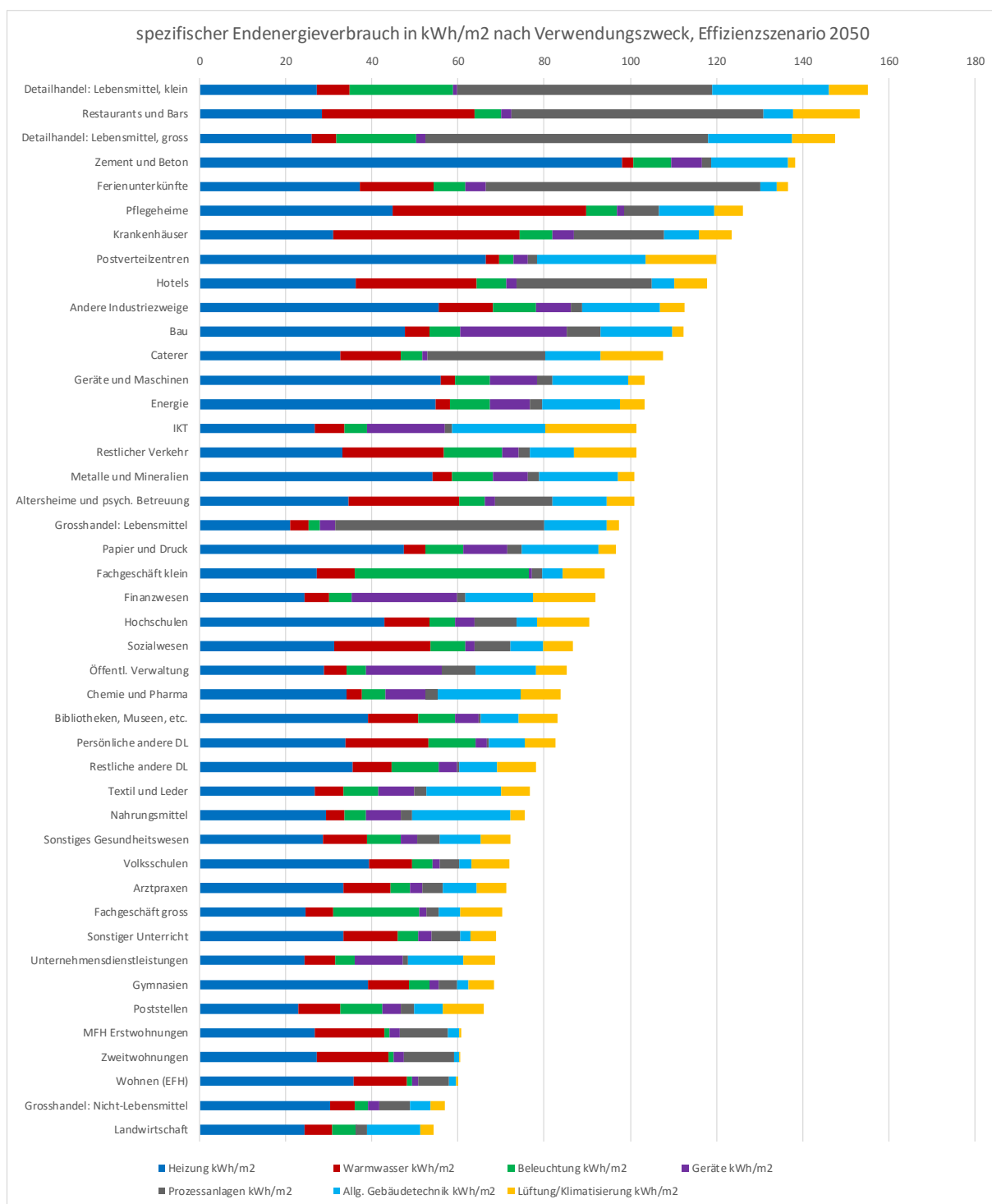


Abbildung 8: Absoluter spezifischer Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck, gemäss Effizienzzenario 2050. Die Daten stammen aus Quelle [9] und wurden für diesen Bericht aufbereitet.

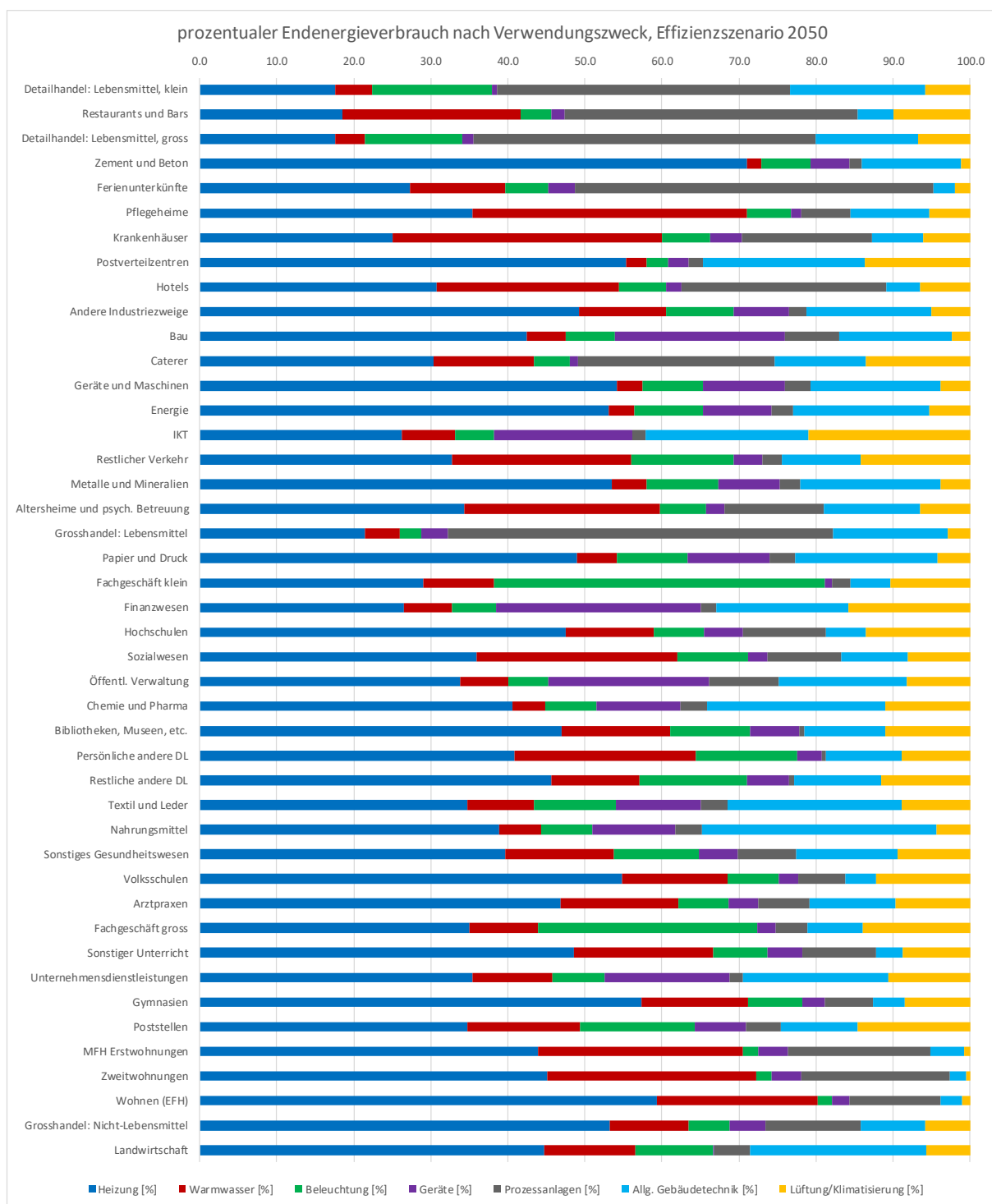


Abbildung 9: Relativer spezifischer Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektor und Verwendungszweck, gemäss Effizienzzenario 2050. Die Daten stammen aus Quelle [9] und wurden für diesen Bericht aufbereitet.



2.2 Präsenzerfassung in der Norm

Die automatische Erfassung von Präsenz über Bewegungsmelder / PIR wird in Gebäuden seit langem praktiziert. Entsprechend hat die Präsenzerfassung Einzug gehalten in zahlreiche Baunormen. In der Folge wird deren Stellenwert im Normenwerk untersucht. Dabei wird insbesondere geprüft, ob einzig die konventionelle oder auch die erweiterte Präsenzerfassung normativ geregelt ist.

2.2.1 Vorgehen

In einem ersten Arbeitsschritt wurden nationale und internationale Normen, Merkblätter und Richtlinien zusammengestellt, wo die Präsenzerfassung mutmasslich eine Rolle spielt:

- SIA 386.110 (EN 15232:2012) Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement
- SIA 386.111 (EN 15232-1:2017) Energieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Module M10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
- SIA 387/4:2017 Elektrizität in Gebäuden – Beleuchtung: Berechnung und Anforderungen
- SIA 386.152 (EN ISO 16484-2:2004) Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 2: Hardware
- SIA 386.153 (EN ISO 16484-3:2005) Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 3: Funktionen
- VDI 3813 2011 Gebäudeautomation (GA), Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)
- SIA 2048:2015 Energetische Betriebsoptimierung
- SIA 2024:2015 Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik
- SIA 380.1:2016 Heizwärmebedarf
- SIA 380/4:2006 Elektrische Energie im Hochbau
- SIA 2044 (Merkblatt) Klimatisierte Gebäude - Standard-Berechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf
- SN EN 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen

In einem zweiten Arbeitsschritt wurden sämtliche Dokumente auf Präsenz-bezogenen Suchbegriffe hin untersucht: *Präsenz, Bedarf, Belegung, Anwesenheit / Abwesenheit, Bedarf, Nachlaufzeit*. Textstellen mit den besagten Begriffen wurden zusammengestellt (Beilage 9.1) und inhaltlich untersucht. Dabei sollte erstens herausgefunden werden, welchen Nutzen die Präsenzerfassung in den Dokumenten jeweils bezweckt. Und zweitens, um welche Art der Erfassung es sich handelt: (i) konventionelle Präsenzerfassung; (ii) erweiterte Präsenzerfassung; (iii) beides.

2.2.2 Ergebnisse

Die Zusammenstellung der Suchergebnisse ist in Beilage 9.1 zu finden. Folgende Schlussfolgerungen können daraus gezogen werden.

SIA 386.111. Durch die Berücksichtigung der Präsenz bei der Heizung, Kühlung, Belüftung und Beleuchtung von Räumen lässt sich eine hohe Energieeffizienz erreichen (d.h. GA-Energieeffizienzklassen B und A). Dies wird erreicht, indem ausschliesslich belegte Räume beheizt / gekühlt / belüftet / beleuchtet werden. Bei der Heizung und Kühlung wird zudem der tatsächliche Heiz- / Kühlbedarf in den Räumen berücksichtigt. Dies geschieht i.d.R. über Temperaturmessungen, kann aber auch mittels erweiterter Präsenzerfassung (d.h. Erfassung vom Belegungsgrad) erreicht werden.



Auch bei den Sanitäranlagen wird der Bedarf berücksichtigt, um eine hohe Energieeffizienz zu erreichen durch die bedarfsorientierte Regelung der Vorlauf oder Rücklauftemperatur.

SIA 387/4:2017. Die konventionelle Präsenzerfassung wird genutzt, um den effizienten Einsatz von Elektrizität für die Beleuchtung (d.h. Beleuchtung nur bei Belegung) und den Sonnenschutz (Versorgung mit Tageslicht bei Belegung) sicherzustellen. Zudem können Leuchten Bedarfsgeführt angesteuert werden. Es ist also bspw. eine Helligkeitssteuerung aufgrund des Belegungsgrads oder der Aktivität von Personen möglich.

SIA 386.152, SIA 386.153. Bei der Anlagenautomation, die in diesen Normdokumenten geregelt ist, spielt die Präsenzerfassung keine Rolle.

VDI 3813 2011. In dieser Richtlinie sind bei der Präsenzerkennung nur die Zustände «Anwesenheit» und «Abwesenheit» zugelassen. Die Belegungsauswertung beruht wiederum auf der Präsenzerkennung oder auf gleichwertigen Bedienfunktionen. Es wird also nur die konventionelle Präsenzerfassung berücksichtigt.

SIA 2048:2015. Sowohl die Anwesenheit wie auch der Bedarf in den Räumen werden bei einer energetischen Betriebsoptimierung berücksichtigt. Bspw. wird überprüft, ob die Betriebszeiten, Sollwerte, Toleranzen und Vorgaben anwesenheits- und bedarfsgerecht gewählt wurden. Zur Ermittlung des Bedarfs bietet sich (nebst weiteren Mitteln) die erweiterte Präsenzerfassung an.

SIA 2024:2015. Hier ist die erweiterte Präsenzerfassung explizit gefordert zur Steuerung und Regelung des Luftvolumenstroms («Bei weniger als 67% Belegung wird der Volumenstrom während der Betriebszeit auf 67% des Auslegungswerts reduziert»).

SIA 380.1:2016. Der Heizwärmebedarf wird bestimmt aufgrund der durchschnittlichen Anwesenheitszeit von Personen (d.h. konventionelle Präsenz). Die Lüftungseffektivität mechanischer Lüftungssysteme wird bedarfsgesteuert korrigiert. Letzteres lässt auch die erweiterte Präsenzerfassung zu.

SIA 380/4:2006. Die konventionelle Präsenz wird eingesetzt, um die Laufzeiten der Beleuchtung und Lüftung zu optimieren.

SIA 2044. Zur Berechnung der momentanen Beleuchtungsleistung und der Luftvolumenströme wird die effektive Personenbelegung benutzt. Wenn keine entsprechenden Planungswerte verfügbar sind, muss die Personenbelegung über die erweiterte Präsenzerfassung ermittelt werden.

SN EN 12464-1. Es wird erwähnt, dass Energie eingespart werden kann bei der Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen durch das Reagieren auf die Raumbelegung. Weiter werden in Tabelle 5 der Norm für verschiedene Tätigkeiten verschiedene Beleuchtungsstärken vorgegeben. Sowohl die Raumbelegung wie die Tätigkeiten können durch die erweiterte Präsenzerfassung bestimmt werden.

2.3 Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung

Die erweiterte Präsenzerfassung kann Informationen liefern zur Anzahl, Position Tätigkeit und Identität von Personen in Gebäuden (Abschnitt 1.3). Es wird also das Nutzerverhalten mit technischen Mitteln erfasst. Dabei kann es zu Verletzungen der Persönlichkeitsrechte, insbesondere der Privatsphäre, kommen. Deshalb musste der Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung in Gebäuden untersucht werden. Die wichtigsten Ergebnisse sind in der Folge zusammengestellt.

2.3.1 Ausgangslage

Zur Erfassung der erweiterten Präsenz existieren unterschiedliche, technologische Möglichkeiten (Kapitel 3). Manchmal werden konventionelle Raumsensoren benutzt: Raumtemperatur- und



Raumluftqualität-Sensoren, Präsenzmelder usw. (Abschnitt 3.2.1). In anderen Fällen werden spezialisierte (Abschnitt 3.2.2) bzw. optische Systeme⁵ eingesetzt (Abschnitte 3.2.3 und 3.2.4). Aus den Daten konventioneller Sensoren lassen sich indirekte Rückschlüsse ziehen auf das Nutzerverhalten. Steigt bspw. die Anzahl der anwesenden Nutzer, so nehmen in der Regel die Raumtemperatur zu und die Raumluftqualität ab. Spezialisierte und optische Systeme erlauben sogar direkte Rückschlüsse auf das Verhalten einzelner Nutzer, z.B. aufgrund von Audio- und Video-Aufnahmen. Allerdings existieren auch hier Lösungen, welche die Privatsphäre respektieren. Dabei werden zwar Video- und Audio-Daten aufgenommen und ausgewertet, diese werden aber nicht ausgegeben und abgespeichert. Stattdessen werden ausschliesslich anonymisierte Präsenzdaten erzeugt. D.h. Anzahl, Position und Tätigkeit von Personen, ohne Möglichkeit der direkten Zuordnung zu Einzelpersonen.

Die Ausgangslage bezüglich Persönlichkeitsschutz hängt also ab von den technischen Lösungen und vom Verwendungszweck der Erfassung. In der vorliegenden Arbeit wurden vier unterschiedliche Erfassungsmethoden eingesetzt in zwei Sitzungszimmern und in einem Grossraumbüro der Hochschule Luzern (Abschnitt 3.3). Die entsprechenden Interessenträger sind in Abbildung 10 sinnbildlich dargestellt.

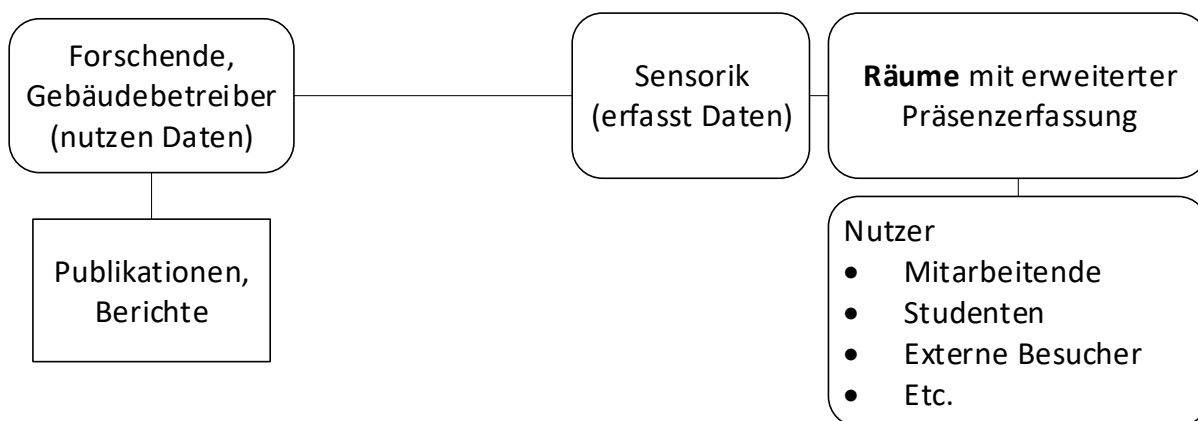


Abbildung 10. Interessenträger der erweiterten Präsenzerfassung in Gebäuden. Der Persönlichkeitsschutz der Raumnutzer muss durch die Nutzer der Daten sichergestellt werden. Quelle: Hochschule Luzern.

2.3.2 Vorgehen

Für die Untersuchung vom Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung wurden die vorliegende Ausgangslage (Abschnitt 2.3.1) und Fragestellung (*was sind die geltenden Rechte und Pflichten bezüglich der Präsenzerfassung im Gebäude*) mit verschiedenen Experten besprochen. Bei den Experten handelt es sich um juristische Mitarbeitende, den Datenschutzbeauftragten und die Rechtskonsultantin der Hochschule Luzern, sowie um den Datenschutzbeauftragten des Kantons Luzern. Entsprechende Kontaktangaben sind der Beilage 9.3 zu entnehmen.

In einem Fragekatalog wurden Fragen formuliert mit Bezug auf die verwendete Sensorik (*wie und was darf gemessen werden*), Information und Bewilligung (*wie muss zu Messungen informiert werden, wie werden diese bewilligt*) und auf die Handhabung der aufgezeichneten Daten (*wer darf die Daten nutzen und wie*). Dabei war insb. von Interesse, ob relevante Unterschiede existieren zwischen

⁵ Als optische Sensoren werden hier Sensoren bezeichnet, welche mittels optischer Verfahren Bilder (d.h. Videoaufnahmen) des zu beobachtenden Raums erstellen. Beispiele sind die Videobasierte Präsenzerfassung und die Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera.



verschiedenen Erfassungs- und Datenverarbeitungsmethoden. Auch wurde erfragt, inwiefern unterschiedliche Raumtypen und deren Zugänglichkeit die Anforderungen an die Information und Bewilligung beeinflussen. Im Hinblick auf akademische Publikationen wurde weiter untersucht, wie die Daten verwaltet und welche Vorkehrungen getroffen werden müssen, damit diese zu einem späteren Zeitpunkt publiziert werden dürfen.

2.3.3 Ergebnisse

Allgemeingültige Aussagen zur vorliegenden Fragestellung konnten von den Experten nicht gemacht werden. Eine rechtliche Beurteilung ist immer nur aufgrund eines Einzelfalls möglich. Aus Sicht der Experten ist es daher empfehlenswert, den vorliegenden Einzelfall frühzeitig (vor Messbeginn!) mit dem Datenschutzverantwortlichen zu besprechen, Massnahmen zu definieren und das Vorgehen bezüglich der Messdatenerfassung, -Verarbeitung und -Speicherung im Detail zu planen.

Grundsätzlich ist zudem immer die am wenigsten invasive Datenerfassungsmethode zu wählen. D.h. es wird diejenige Methode eingesetzt, welche am wenigsten Aussagen liefert zum Verhalten einzelner Personen. Im Falle der videobasierten Präsenzerfassung wäre beispielsweise eine Infrarot-Kamera einer Kamera im sichtbaren Lichtbereich vorzuziehen, wenn die vorliegende Aufgabe damit erfüllt werden kann.

In einigen Fällen sind zudem interne, institutionsspezifische Reglemente zu beachten. An der Hochschule Luzern bspw. ist die Videoüberwachung (vorausgesetzt, dass eine Ausgabe / Speicherung der Videobilder stattfindet) nur dann zulässig, wenn sie zum Schutz der Hochschulangehörigen und Infrastruktur, zur Gewährleistung eines geordneten Betriebes und zur Verhinderung von Straftaten geschieht (Art. 3 Abs. 1 Reglement über die Videoüberwachung an der Hochschule Luzern, FH Zentralschweiz vom 14. Juni 2018). Daher schliesst sich diese Option für Forschungsprojekte grundsätzlich aus.

Allerdings werden grundsätzliche Aussagen manchmal wiederum durch technische Details nuanciert. So gilt der in der vorliegenden Studie eingesetzte Präsenzmelder HPD2 von Steinel (Abschnitt 3.2.3) im rechtlichen Sinne nicht als Videoüberwachungsgerät, obschon Videodaten erfasst werden. Der Grund liegt in der Weiterverarbeitung der erfassten Daten. Diese geschieht im Gerät selbst. Ausgegeben werden ausschliesslich nicht-personenbezogene Zeitreihen, was in Bezug auf den Persönlichkeitsschutz zulässig ist. Ähnliche Sonderfälle finden sich auch in der Reglementierung der Datenhandhabung sowie bei der Sicherstellung von Publikationsrechten. Bspw., wenn das Humanforschungsgesetz (HFG) tangiert wird.

2.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden Daten zum Umfang und Energieverbrauch des Gebäudeparks der Schweiz zusammengestellt. Dann wurde der Stellenwert der Präsenzerfassung im Normenwerk untersucht. Letztendlich wurde der Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung in Gebäuden behandelt. Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind hiernach übersichtlich zusammengefasst.

Daten zum Gebäudepark der Schweiz

- Der Gebäudebestand der Schweiz umfasst schätzungsweise ca. 2.3 Millionen Gebäude
- Wohngebäude machen nahezu 62% des gesamten Gebäudebestands aus
- In allen Gebäudekategorien existiert ein hoher Anteil an Altbauten
- Der inländische Endenergieverbrauch wurde im Jahr 2017 fast zur Hälfte durch die Haushalte verursacht



- Bei der Raumwärme und bei der Warmwassererzeugung ist weiterhin ein hoher Anteil nichtelektrischer Energie-Träger vorzufinden (Öl, Gas, Holz usw.)
- Im Einfamilienhaus hat die Heizung einen hohen Anteil am Endenergieverbrauch. Umgekehrt spielt die Beleuchtung hier praktisch keine Rolle

Präsenzerfassung in der Norm

- Durch die Berücksichtigung der Präsenz bei der Heizung, Kühlung, Belüftung und Beleuchtung von Räumen lässt sich eine hohe Energieeffizienz erreichen
- Bei einer energetischen Betriebsoptimierung werden sowohl die Anwesenheit von Personen wie auch der tatsächliche Bedarf an Energie in den Räumen berücksichtigt. Zur Ermittlung des Bedarfs bietet sich (nebst weiteren Mitteln) die erweiterte Präsenzerfassung an
- Die meisten Normen gehen heute von der konventionellen Präsenzerfassung aus zur Bestimmung der Anwesenheit und des Bedarfs in Räumen

Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung

- Allgemeingültige Aussagen zum Persönlichkeitsschutz bei der Präsenzerfassung konnten von den Experten nicht gemacht werden. Eine rechtliche Beurteilung ist immer nur aufgrund eines Einzelfalls möglich
- Grundsätzlich ist immer die am wenigsten invasive Datenerfassungsmethode zu wählen. D.h. diejenige Methode, welche am wenigsten Aussagen liefert zum Verhalten einzelner Personen
- In einigen Fällen sind auch interne, Institutionsspezifische Reglemente zu beachten
- Grundsätzliche Aussagen werden manchmal durch technische Details nuanciert



3 Erfassung der erweiterten Präsenz

In diesem Kapitel wird die Erfassung der erweiterten Präsenz behandelt. Im Abschnitt 3.1 werden allgemeine Anforderungen an die Sensorik erläutert. Diese wurden in strukturierten Experteninterviews mit zwei Fachpersonen aus der Wirtschaft erarbeitet. Im Abschnitt 3.2 werden vier unterschiedliche Methoden zur automatischen Erfassung der erweiterten Präsenz beschrieben und untereinander verglichen: Vernetzung bestehender Raumsensoren, Multisensor-Plattform, videobasierte Präsenzerfassung und Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera. Alle Methoden wurden in praktischen Versuchen an der Hochschule Luzern untersucht. Die Versuchsanordnung und die entsprechenden Ergebnisse sind im Abschnitt 3.3 beschrieben.

3.1 Anforderungen an die Sensorik

Die automatische Erfassung der erweiterten Präsenz in Gebäuden bedingt eine angemessene Sensorik. Diese kann, aufgrund der Vielfalt an bestehenden Messprinzipien, mannigfaltig ausfallen. In der Praxis sind jedoch gewisse Anforderungen zu erfüllen, damit die Präsenzerfassung wirtschaftlich und zweckerfüllend durchgeführt werden kann. Zudem muss die Technologie vom Nutzer akzeptiert werden und darf den Persönlichkeitsschutz nicht verletzen (Abschnitt 2.3).

Die Anforderungen an die Sensorik wurden in strukturierten Experteninterviews mit zwei Fachpersonen aus der Wirtschaft erarbeitet. Fachperson Nr. 1 ist bei der Firma Basler & Hofmann AG als Leiter der Versorgungstechnik tätig. Fachperson Nr. 2 arbeitet als Innovationsmanager bei der Post Immobilien Management und Services AG. In der Folge werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Interviews übersichtlich zusammengestellt. Das Transkript der Interviews ist im Anhang 9.2 zu finden.

3.1.1 Sensor-Eigenschaften

Zur gebräuchlichen Erfassung der erweiterten Präsenz im Wohn- und Zweckbau (z.B. Erfassung am Arbeitsplatz, Beobachtung von Verkehrszonen und allgemeinen Bereichen) werden Sensoren vorausgesetzt, die sich preislich, äusserlich und von den Messeigenschaften her nicht signifikant von konventionellen Präsenzmeldern unterscheiden (PIR-Sensoren o.ä.). Bei optischen Sensoren ist zudem nicht erwünscht, dass sich diese äusserlich als Kamera zu erkennen geben. Folgende Anforderungen werden an die Sensoren gestellt:

- **Preis.** Grundsätzlich ist die Preisfrage immer im System zu betrachten. Ein höherer Sensor-Preis lässt sich nur dann rechtfertigen, wenn dieser zu entsprechenden Einsparungen beim Engineering und / oder einem zusätzlichen (bezahlbarem) Nutzen im Betrieb führt. Für alltägliche Anwendungen (Ersatz für PIR) müssen die Lebenszykluskosten denjenigen des ersetzten Sensors entsprechen. Auch die Investitionskosten müssen vergleichbar sein. Bei Spezialanwendungen sind höhere Preise eher akzeptabel.
- **Aussehen.** Sensoren für die Gebäudetechnik sollten in der Regel unauffällig sein und unkompliziert durch anderen, gleichwertige Sensoren ersetzt werden können. Es werden bei der erweiterten Präsenzerfassung also dieselben Ansprüche ans Aussehen gestellt, wie bei konventionellen Präsenzmeldern: Verfügbarkeit von unterschiedliche Formfaktoren und Farben, spritzbares Gehäuse usw.
- **Akzeptanz optischer Sensoren.** Dazu unterscheiden sich die Ansichten der befragten Fachpersonen grundlegend. Fachperson 1 erachtet den Einsatz von optischen Sensoren im Gebäude als unbedenklich, wenn die Performance stimmt (Sicht Facility Management). Fachperson 2 hingegen hat mit optischen Sensoren bereits negative Erfahrungen gemacht –



allerdings im besonders heiklen Umfeld der Sanitäranlagen – und setzt deshalb das unbedingte Einverständnis der Raumnutzer voraus (Sicht Raumnutzer).

- **Reichweite, Messgenauigkeit.** Diese Anforderungen hängen stark von der jeweiligen Anwendung ab. Letztendlich wird die Messperformance immer in Zusammenhang mit Preis und Aufwand betrachtet.

3.1.2 Installation und Inbetriebnahme, Umnutzung

In den meisten Fällen werden erweiterte Präsenzmelder in eine bestehende Gebäudeautomation bzw. Lichtanlage eingebunden. Entsprechend werden die üblichen Schnittstellen vorausgesetzt: potentialfreier Kontakt für die konventionelle Präsenzausgabe, DALI, KNX, eventuell BACnet. Die Speisung der Geräte findet über das elektrische Netz bzw. Netzgerät oder Power over Ethernet statt. In einzelnen Anwendungen sind auch drahtlose Installationen erforderlich, bspw. bei Sanierungen oder für temporäre / mobile Anwendungen. In solchen Fällen wird der Betrieb über Batterien sichergestellt, und die Kommunikation findet drahtlos statt, bspw. über EnOcean oder Z-Wave. Bei optischen Sensoren stellt der Batteriebetrieb eine grosse Herausforderung dar, weil diese Geräte i.d.R. einen hohen Stromverbrauch aufweisen.

Kritisch sind insb. die Installation und Inbetriebnahme der Sensoren. Diese werden meistens durch Personen durchgeführt, die keine produktspezifische Schulung absolviert haben: Elektriker, Facility Manager, Endnutzer. Die Platzierung und Ausrichtung der Geräte darf deshalb nicht anspruchsvoll sein. Funktionen zur Selbstkonfiguration sind ebenfalls erwünscht, da die Geräteparametrierung unkompliziert und kurz ausfallen muss. Zudem werden bei erweiterten Präsenzmeldern dieselben Montageoptionen vorausgesetzt wie bei konventionellen Geräten: Decke, Wand, Unterputz. Beide befragten Fachpersonen haben aber angemerkt, dass ein vertretbarer Mehraufwand bei der Installation und Inbetriebnahme grundsätzlich in Frage kommt, wenn der Mehrwert der erweiterten Präsenzerfassung signifikant ausfällt.

3.1.3 Unterhalt, Ersatz

Beim Unterhalt und Ersatz der Sensoren gelten dieselben Anforderungen wie bei konventionellen Präsenzmeldern. D.h. es wird i.d.R. kein Unterhalt im Betrieb geleistet, und defekte Sensoren sollen mit möglichst wenig Aufwand ersetzt werden können. Allfällige Softwareupdates müssen automatisch aufgespielt werden, was wiederum einen Internetzugang bedingt. Dieser Punkt ist vor allem bei optischen Präsenzmeldern von Belang, weil diese aufgrund der raschen Fortschritte in der Bildverarbeitung oft aktualisiert werden müssen.

3.1.4 Betrieb

Wie bei konventionellen Präsenzmeldern wird auch bei der erweiterten Präsenzerfassung ein ununterbrochener und wartungsfreier Betrieb vorausgesetzt. Bei Ausfällen werden die Geräte ersetzt anstatt gewartet. Folgende Punkte wurden von den befragten Fachpersonen besonders hervorgehoben:

- **Neuparametrierung.** Die Neuparametrierung im Betrieb, z.B. aufgrund veränderter Raumnutzungen oder Umgebungsbedingungen, wird als kritisch eingestuft. Sensoren zur erweiterten Präsenzerfassung müssen also unter allen Bedingungen und ohne (aufwändige) Neuparametrierung zuverlässig funktionieren. Dies setzt u.U. automatische Fähigkeiten zur Neuparametrierung voraus.
- **Cloud-Fähigkeit.** Diesbezüglich gehen die Meinungen der Fachpersonen auseinander. Fachperson 1 erachtet die Einbindung in eine Cloud im Zweckbau als nicht akzeptabel. Grund



sind Bedenken bezüglich der Datensicherheit und Privatsphäre. Fachperson 2 erachtet hingegen erweiterten Präsenzinformationen als unkritisch, erkennt in Cloud-Lösungen dennoch keinen unmittelbaren Nutzen.

3.2 Erfassungsmethoden

Bei der erweiterten Präsenzerfassung werden die Anzahl, Position Tätigkeit und Identität von Personen bestimmt (Abschnitt 1.3). Zu diesem Zweck wurden zahlreiche Methoden entwickelt und in verschiedensten Anwendungen eingesetzt. Eine ausführliche Übersicht ist zu finden in den Studien [3, 11, 12]. In der vorliegenden Arbeit werden vier Methoden untersucht: (i) Vernetzung bestehender Raumsensoren; (ii) Multisensor-Plattform; (iii) Videobasierte Präsenzerfassung; (iv) Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera. Jede Methode wird in der Folge eingehend beschrieben.

Die Eigenschaften der untersuchten Methoden sind in Tabelle 4 übersichtlich zusammengestellt. Optische Verfahren (d.h. videobasierte Präsenzerfassung und Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera) liefern eine sehr umfassende Information, die anschliessend für viele verschiedene Zwecke ausgewertet werden kann. Allerdings erlauben die Bilder auch unerwünschte Einblicke in die Privatsphäre der (manchmal unfreiwilligen) Benutzer. Besonders am Arbeitsplatz und zuhause ist dieses Risiko ausgeprägt. Entsprechend gering fällt hier die Akzeptanz der optischen Lösungen (noch) aus. Weiter erfordert die automatische Analyse von Bildsequenzen eine hohe Rechenleistung. Diese wirkt sich negativ auf den Preis und Stromverbrauch der Systeme aus. Allerdings finden diesbezüglich rasante Fortschritte statt.

Bei der Vernetzung bestehender Raumsensoren werden nur handelsübliche Raumsensoren benötigt. Diese sind oft Teil der bestehenden Gebäudeautomation und müssen deshalb nicht nachgerüstet werden. Allerdings sind damit die Messmöglichkeiten vergleichsweise beschränkt. Zu beachten ist letztendlich, dass heute einzig für die videobasierte Präsenzerfassung Produkte für den Einsatz im Gebäude erhältlich sind (bspw. von den Firmen Steinel und PointGrab).

	Vernetzung bestehender Raumsensoren	Multisensor-Plattform	Videobasierte Präsenzerfassung	Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera
Beschreibung	Verschiedene, handelsübliche Raumsensoren (z.B. Temperatur, CO ₂ , Türkontakt, PIR) werden gemeinsam ausgewertet	Verschiedene Sensoren werden zu einem Multisensor kombiniert. Die Daten der Sensoren werden gemeinsam ausgewertet. Ein oder mehrere Multisensoren werden pro Raum zu einer Messplattform zusammengefasst	Die Raumbelegung wird über Video im sichtbaren Lichtbereich erfasst und mittels Bildverarbeitung analysiert	Die Raumbelegung wird über Video im mittleren Infrarotbereich erfasst und mittels Bildverarbeitung analysiert
Mögliche Messgrössen⁶	Präsenz ja/nein, Anzahl, (Position),	Präsenz ja/nein, Anzahl, (Position),	Präsenz ja/nein, Anzahl, Position,	Präsenz ja/nein, Anzahl, Position,

⁶ Präsenz ja/nein = konventionelle Präsenz; Anzahl = Anzahl der anwesenden Personen; Position = Position der Personen; Tätigkeit = Tätigkeit der Personen; ID = Identität der Personen. (...) = mit Einschränkungen / u.U. möglich.



	(Tätigkeit)	(Tätigkeit), (ID)	Tätigkeit, ID	(Tätigkeit), (ID) ⁷
Als Produkt erhältlich⁸	Nein	Nein	Ja	Nein
Zweckbestimmte Hardware erforderlich	Nein	Ja	Ja	Ja
Persönlichkeitsschutz	Sichergestellt	In Abhängigkeit der Sensoren	Heikel	Zu beachten ⁹
Stromverbrauch	Niedrig	i.d.R. niedrig	Hoch	Hoch

Tabelle 4. Eigenschaften unterschiedlicher Methoden zur Erfassung der erweiterten Präsenz. Quelle: Hochschule Luzern.

3.2.1 Vernetzung bestehender Raumsensoren

Eine mögliche Lösung zur Erfassung der erweiterten Präsenz besteht darin, unterschiedliche Raumsensoren zu vernetzen und gemeinsam auszuwerten. Die einzelnen Sensoren liefern Hinweise auf die Vorgänge im Raum. So wird die Präsenz von Personen in unterschiedlichen Raumbereichen durch konventionelle Präsenzmelder erfasst, mit dem Belegungsgrad steigen die gemessene Raumtemperatur und Raumlufthfeuchtigkeit usw. Solche Einzelmessungen sind allerdings sehr störanfällig. Bspw. hängt die Raumlufthfeuchtigkeit von der Belegung, aber auch vom Zustand (offen / geschlossen) der Fenster und Türen ab. Die gemeinsame Betrachtung mehrerer Sensoren erlaubt es – zumindest im Prinzip – die Störeinflüsse zu beseitigen [13].

In der vorliegenden Studie wurden folgende, gebräuchlichen Raumsensoren ausgewertet. Diese sind Teil der bestehenden GA im Sitzungszimmer C401b der Hochschule Luzern (Abschnitt 3.3.1):

- 2x Fensterkontakt, Omnio FK101
- 1x Türkontakt, Omnio FK101
- 2x PIR-Präsenzmelder, Siemens UP 258D12
- 2x Helligkeitsmelder, Siemens UP 258D12 (kombiniert mit Präsenzmelder)
- 1x Raumtemperaturfühler, Siemens AQR2535NNW
- 1x Raumlufthfeuchtigkeitsfühler, Siemens AQR2535NNW (kombiniert mit Temperaturfühler)
- 1x CO₂-Raumlufthqualitätsfühler, Siemens AQR2576NF

Zur Auswertung der Sensordaten werden einfache, an der Hochschule Luzern entwickelte Methoden eingesetzt. Es wird ein linearer Zusammenhang erstellt zwischen den Raumtemperatur- / Raumlufthfeuchtigkeits- / Raumlufthqualitätsmessungen und der Anzahl der anwesenden Personen. Die so berechneten Ergebnisse werden moduliert durch die Zustandswerte der Tür- und Fensterkontakte. D.h. bei geöffneten Türen oder Fenstern werden die Ergebnisse vor dem Öffnen beibehalten. Der Berechnungsvorgang wird erst fortgesetzt, wenn sämtliche Türen und Fenster wieder geschlossen

⁷ Weil aus Kostengründen im Infrarotbereich i.d.R. mit tiefen Bildauflösungen gearbeitet wird, ist die Erkennung der Tätigkeit und ID nur beschränkt möglich.

⁸ Es werden nur Produkte berücksichtigt, die für den Einsatz im Gebäude entwickelt wurden und als Ersatz für konventionelle Präsenzmelder in Frage kommen. Stand: November 2019.

⁹ Der Persönlichkeitsschutz ist bei Wärmebildkameras aufgrund der i.d.R. niedrigen Bildauflösung weniger kritisch als im sichtbaren Bereich.

sind (plus einstellbare Nachlaufzeit). Zur groben Bestimmung der Position von Personen werden die Messwerte der beiden PIR-Präsenzmelder logisch miteinander verknüpft.

3.2.2 Multisensor-Plattform

Bei dieser Lösung werden verschiedene Sensoren zu einem «Multisensor» kombiniert. Dabei handelt es sich um kompaktes Gerät, das mit den Sensoren bestückt wird, deren Messwerte ausliest und diese auswertet oder weiterleitet. Pro Raum können ein oder mehrere Multisensoren eingesetzt und zu einer Messplattform zusammengefasst werden. Die Daten sämtlicher Sensoren werden dabei gemeinsam ausgewertet. Die Multisensor-Plattform ist also vom Messprinzip her vergleichbar mit der Vernetzung bestehender Raumsensoren (Abschnitt 3.2.1). Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Sensoren nicht frei im Raum verteilt, sondern zu einem oder mehreren Multisensoren kombiniert werden. Zudem werden nicht gebräuchliche Raumsensoren, sondern zweckbestimmte Sensoren eingesetzt.

In dieser Arbeit kamen die Multisensoren der Hochschule Luzern – iHomeLab zum Einsatz (Abbildung 11). Diese sind bestückt mit folgende Sensoren:

- 1x PIR-Präsenzmelder, Panasonic EKMB1303113K
- 1x Reed-Türkontakt, MK23T46TBT4
- 1x Lichthelligkeitssensor, Texas Instruments OPT3001
- 1x 3D-Beschleunigungssensor, Kionix KX122-1037
- 1x Temperatursensor, STMicroelectronics HTS221
- 1x Feuchtigkeitssensor, STMicroelectronics HTS221 (kombiniert mit Temperatursensor)

Mehrere Multisensoren werden in den Messumgebungen an Schlüsselstellen angebracht, bspw. an Türen, Fenstern, Wänden und an der Decke. Die Auswertung der Messdaten wird durch neuronale Netzwerke vorgenommen. Diese werden vorgängig trainiert mit händisch erzeugten Referenzdaten (*ground truth*; z.B. Anzahl der anwesenden Personen). Die Auswertungsmethode wurde ebenfalls an der Hochschule Luzern entwickelt.



Abbildung 11. Der Multisensor der Hochschule Luzern (ohne Gehäuse). Bild: Hochschule Luzern.

3.2.3 Videobasierte Präsenzerfassung



Bei der videobasierten Präsenzerfassung wird der zu beobachtende Raum über Video im sichtbaren Lichtspektrum erfasst. Die aufgenommenen Bilder werden durch ein Bildverarbeitungsverfahren (Objekterkennung) ausgewertet. Objekte, die als Personen erkannt werden, können anschliessend gezählt und lokalisiert werden. Die Wissenschaft der videobasierten Personenerkennung ist heute weit fortgeschritten. Dementsprechend wurden zahlreiche Algorithmen entwickelt [14–16].

In der vorliegenden Arbeit kam der Präsenzmelder HPD2 von STEINEL Professional zum Einsatz. Dabei handelt es sich um den weltweit ersten, videobasierten Präsenzmelder für den Einsatz in der Gebäudetechnik. Die Auswertung der Bilder erfolgt direkt im Sensor. Gemäss Eigenaussage des Herstellers gleicht die «integrierte, hochmoderne Bilderkennung 150'000 Positivbilder und 7 Mio. Negativbilder in Echtzeit ab». Weitere Einzelheiten zum Objekterkennungsverfahren sind allerdings nicht bekannt.

Die technischen Eigenschaften des HPD2 sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Der Sensor erkennt und zählt Menschen in bis zu fünf frei definierbaren Erfassungszonen (Abbildung 13). Das System ist jedoch nicht für die Erkennung von Tieren und Kindern ausgelegt.



Abbildung 12. Der videobasierte Präsenzmelder HPD2 von STEINEL. Bild: STEINEL Professional.

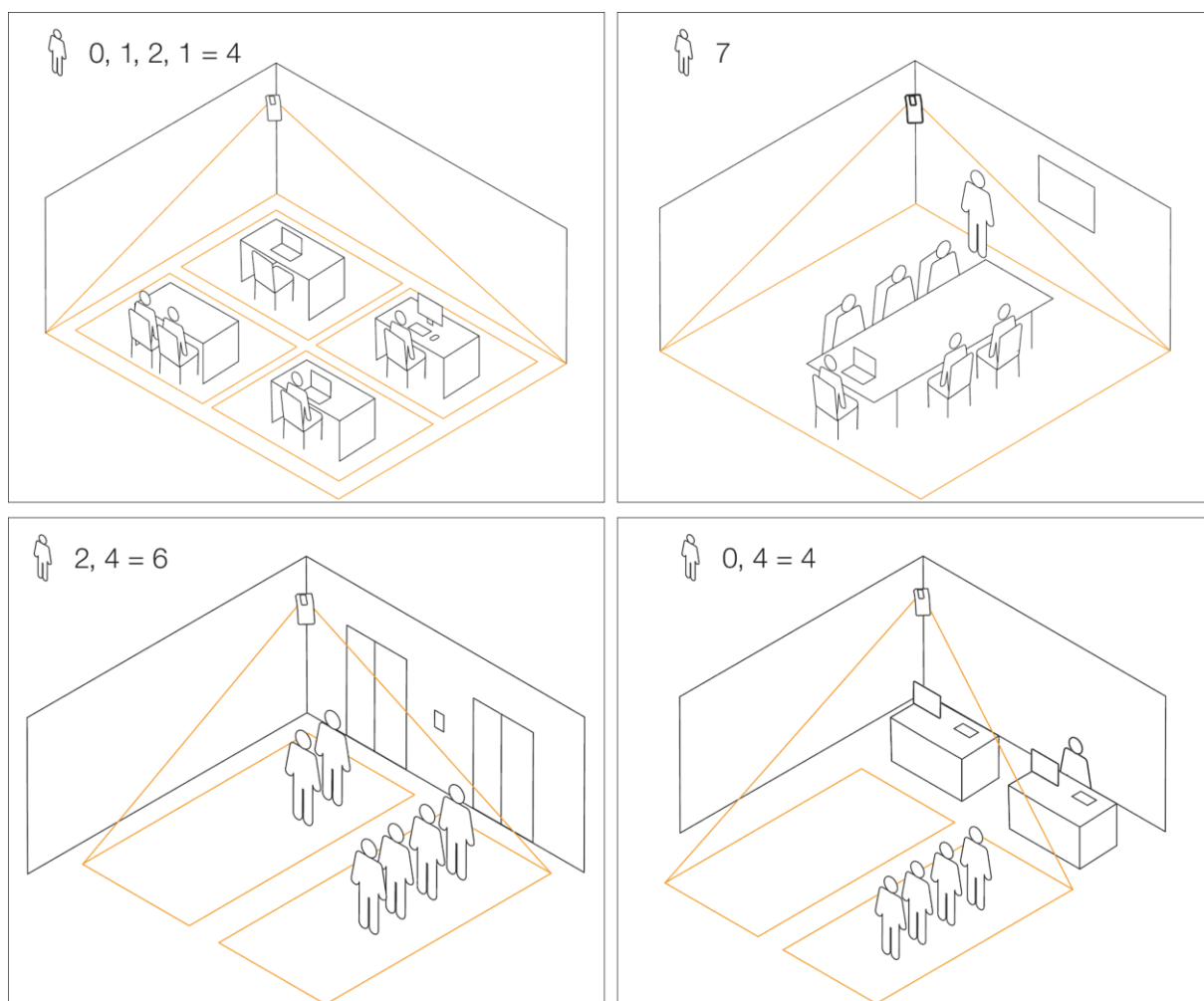


Abbildung 13. Der beobachtete Raumbereich wird in bis zu fünf frei definierbare Erfassungszonen unterteilt. Die Anzahl der anwesenden Personen wird zonenweise und gesamthaft ausgegeben. Bilder: STEINEL Professional.

Sensortechnologie	Optischer Präsenzmelder (videobasiert)
Auswertung der Bilder	Erfolgt direkt im Sensor
Netzanschluss	21.0 – 30.0V DC
Datenausgabe	KNX: Personen pro Erfassungszone & Total, Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte
	Micro USB: Konfiguration, Video-Stream
Ausgabe des Video-Streams	Ausschliesslich lokal (Micro USB-Anschluss)
Erfassungszonen (max.)	5
Sperrzonen (max.)	3
Montagehöhe	2.3-6m
Optimale Montagehöhe	2.8m
Erfassungswinkel	110°
Reichweite radial	r = 10m (96m ²)
Anwendung, Ort	Innenbereich von Gebäuden
Anwendung, Raum	Grossraumbüro, Konferenzraum, Klassenzimmer
Montageart	Wandmontage, Aufputz



Abmessungen (L x B x H)	52 x 86 x 156mm
Schutzart	IP20
Erfassung von Tieren	Nicht möglich
Erfassung von Kindern	Nicht möglich

Tabelle 5. Technische Eigenschaften des HPD2 Präsenzmelders von Steinel. Quelle: STEINEL Professional.

3.2.4 Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera

Bei der videobasierten Präsenzerfassung wird der zu beobachtende Raum im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums abgebildet (Wellenlänge $\lambda = 380 - 780\text{nm}$). Bei der Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera wird stattdessen im mittleren Infrarotbereich gearbeitet ($\lambda = 3 - 50\mu\text{m}$)¹⁰. Die Wärmebildkamera macht die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung eines Objekts oder Körpers sichtbar. Bilder, die von Wärmebildkameras erzeugt werden, liegen als Intensitätsinformation vor. Diese werden üblicherweise in Graustufen oder in Falschfarben dargestellt.

Bei der erweiterten Präsenzerfassung ergeben sich verschiedene Vorteile aus diesem Messprinzip. Da Wärmebildkameras für die Wärmestrahlung von Objekten empfindlich sind, arbeiten sie auch in der absoluten Dunkelheit. Und weil die Körpertemperatur von Menschen i.d.R. signifikant von der Umgebungstemperatur abweicht, lassen sich Personen im Wärmebild oft eindeutig vom Hintergrund unterscheiden. Diese Tatsache wird exemplarisch veranschaulicht in Abbildung 14. Ein gewichtiger Nachteil von Wärmebildkameras ist allerdings deren Preis. Weil der Sensorpreis demjenigen eines konventionellen Präsenzmelders entsprechen muss (Abschnitt 3.1.1), kommen für die erweiterte Präsenzerfassung nur Wärmebildkameras mit einer geringen Bildauflösung in Frage. Dies erschwert wiederum die Objekterkennung.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wärmebildkamera HTPA80x64d von Heimann Sensor GmbH verwendet. Die Kamera wird an die Decke montiert und erfasst den Raum vertikal von oben nach unten (Abbildung 15). Grund für diese Entscheidung ist einerseits, dass die Abstrahlung von Körperwärme hauptsächlich über den Kopf stattfindet und somit von oben besonders gut sichtbar ist. Zudem lässt sich aus dieser Perspektive die gegenseitige Verdeckung von Personen im Bild vermeiden. Die technischen Eigenschaften der Wärmebildkamera sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Das Bildverarbeitungsverfahren wurde an der Hochschule Luzern entwickelt. Das Wärmebild wird sukzessive unterteilt in Bildausschnitte von 16x16 Pixel (*Sliding Windows*-Verfahren). Jeder Bildausschnitt wird anschliessend klassifiziert durch ein Convolutional neural network (CNN). Dabei wird jeder Ausschnitt einer der folgenden Kategorien zugewiesen: (i) 'Person'; (ii) 'andere Wärmequelle' (bspw. Laptop); (iii) 'Hintergrund'. Das CNN wird mit händisch generierten Referenz-Bildausschnitten trainiert.

¹⁰ In dieser Hinsicht ist die Funktionsweise von Wärmebildkameras identisch mit derjenigen von PIR-Präsenzmeldern. Allerdings erstellen Kameras zweidimensionale Bilder, während PIR-Melder nur einen einzelnen Messpunkt bzw. eine Messzone erfassen.

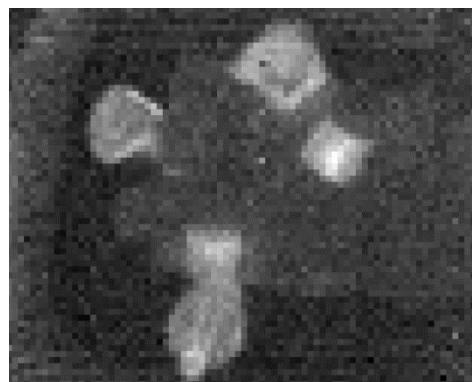


Abbildung 14. Bildaufnahmen von Personen im sichtbaren Lichtbereich (links) und im mittleren Infrarotbereich (rechts). Die Personen unterscheiden sich im Wärmebild eindeutig vom Hintergrund. Bilder: Hochschule Luzern.



Abbildung 15. Die Wärmebildkamera HTPA80x64d von Heimann Sensor GmbH wurde an die Decke montiert und erfasst den Raum vertikal von oben nach unten. Bild: Hochschule Luzern.

Bildauflösung	80 x 64 Pixel
Bildfrequenz	1 – 200Hz (volle Auflösung) 4 – 800Hz (1/4-Auflösung)
Messbereich Objekttemperatur	-20 bis >1000°C
Sichtfeld	88 x 70°
Netzanschluss	3.3 – 3.6V
Datenausgabe	SPI Schnittstelle



3.3 Versuchsergebnisse

In den Räumlichkeiten der Hochschule Luzern wurde eine Reihe von Versuchen durchgeführt zur Erfassung der erweiterten Präsenz. Dabei kamen die vier Erfassungsmethoden aus Abschnitt 3.2 zum Einsatz. In den Versuchen sollten einerseits die Leistungsfähigkeit und die Grenzen der verschiedenen Methoden erörtert werden. Andererseits sollten Erfahrungen gesammelt werden mit der Inbetriebnahme, dem Betrieb und der Auswertung bzw. Optimierung der Sensoren. Die Ergebnisse werden in der Folge rapportiert.

3.3.1 Versuchsanordnung

Die Versuche wurden in drei Räumen der Hochschule Luzern durchgeführt. Dabei handelt es sich um zwei Sitzungszimmer (C401b¹¹ und P2) sowie ein Grossraumbüro (C312). Alle Räumlichkeiten werden produktiv genutzt und stellen eine realistische Versuchsumgebung dar.

Sitzungszimmer C401b

Beim Raum C401b handelt es sich um einen der beiden *ProtoTyp*-Räume der Hochschule Luzern. Die verstellbare Deckenhöhe, austauschbare Lichtquellen und Vorhänge mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften ermöglichen vielfältige Untersuchung auf den Gebieten der Beleuchtung, der Automation und der Nutzerwahrnehmung. In der Mitte des Raums stehen vier Tische, die zu einem grossen Sitzungstisch zusammengefügt wurden (Abbildung 16). Die Fensterfront befindet sich gegenüber der Tür; die Fenster können durch Lamellenstoren verdunkelt werden. Der Raum wird, nebst den genannten Untersuchungen, auch als reguläres Sitzungszimmer genutzt und kann durch alle Mitarbeitenden der Hochschule über Outlook gebucht werden.

Im Sitzungszimmer C401b wurden alle vier Erfassungsmethoden untersucht. Für die Vernetzung bestehender Raumsensoren wurden die Raumsensoren über ein KNX-Netzwerk untereinander und mit einem Gebäudeleitsystem (Desigo CC von Siemens) verbunden (Abbildung 17). Für die Erfassung mit der Multisensor-Plattform wurde der Raum mit fünf Multisensoren der Hochschule Luzern ausgestattet (Abbildung 18). Die Messdaten wurden drahtlos über Bluetooth Low Energy an ein Raspberry Pi 3 Entwicklerboard übermittelt, und von hier an eine Messdatenbank weitergegeben. Für die videobasierte Präsenzerfassung wurde der optische Präsenzmelder HPD2 von STEINEL in einer Höhe von 2.90m an einer metallischen Stange vor der Raumfensterfront aufgehängt. Dank dieser Ausrichtung wird der Sensor nicht durch das eintretende Tageslicht geblendet. Darüber wurde eine Referenz-Domkamera angebracht, um das Geschehen im Raum aufzuzeichnen und einen Vergleich zu den Daten des HPD2 und weiterer Sensoren zu ermöglichen (Abbildung 19). Für die Präsenzerfassung mittels Wärmebildkamera wurden zwei Wärmebildkameras HTPA80x64d von Heimann an die Decke montiert (Abbildung 16).

¹¹ Die Raumnummern beziehen sich auf die offiziellen Bezeichnungen von Räumen an der Hochschule Luzern, Technik & Architektur.



Abbildung 16. Das Sitzungszimmer C401b der Hochschule Luzern wurde ausgestattet mit unterschiedlichen Sensoren. Im Bild ersichtlich sind der Präsenzmelder HPD2 von STEINEL (oben links), die Wärmebildkameras HTPA80x64d von Heimann Sensor GmbH (Decke, Mitte und vorne), ein PIR-Präsenzmelder UP 258D12 von Siemens (Decke, hinten) und die Referenz-Domkamera (Decke, hinten links). Bild: Hochschule Luzern.

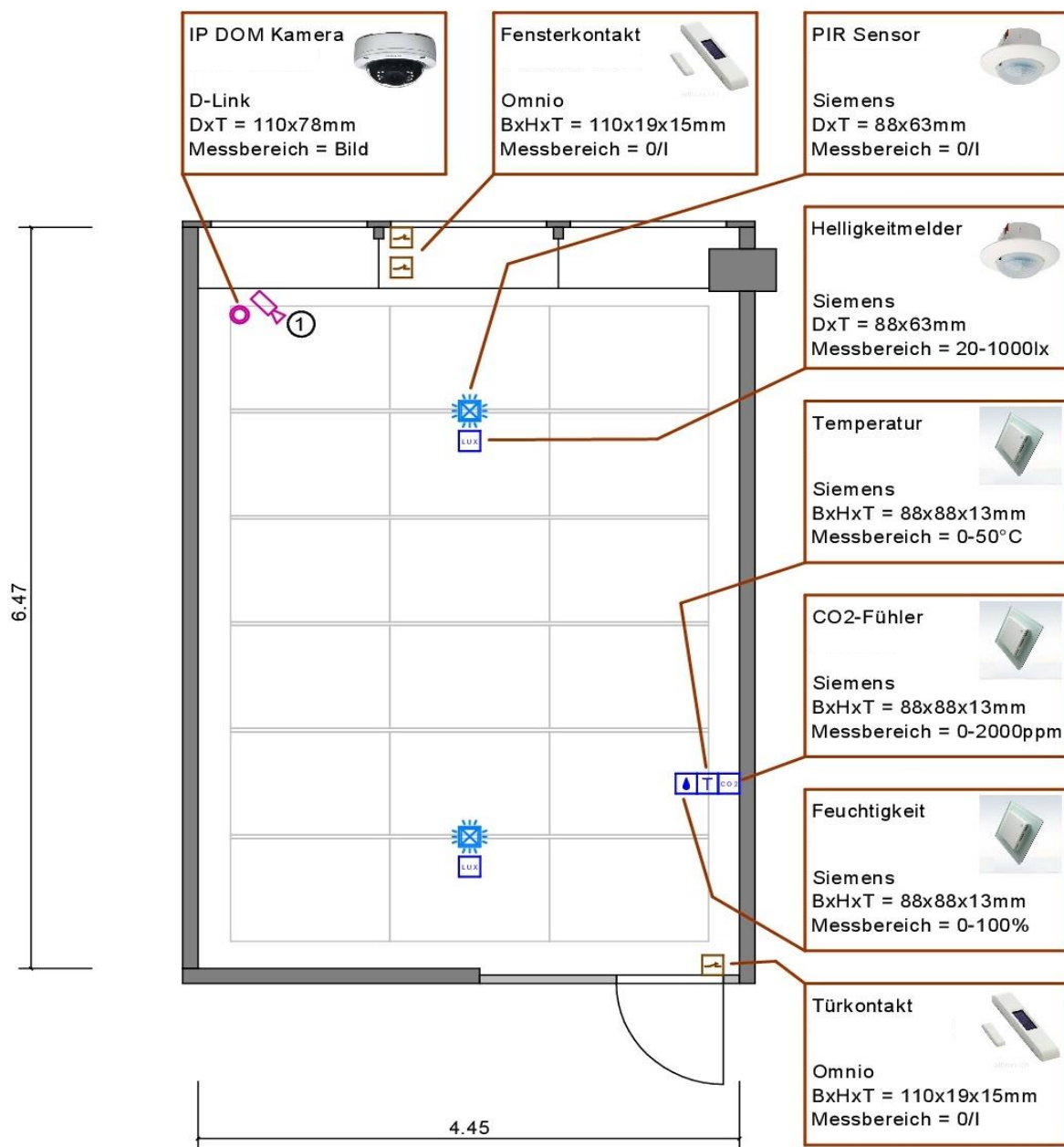


Abbildung 17. Grundriss des Sitzungszimmers C401b mit bestehenden Raumsensoren (Masseinheit: Meter). Bild: Hochschule Luzern.

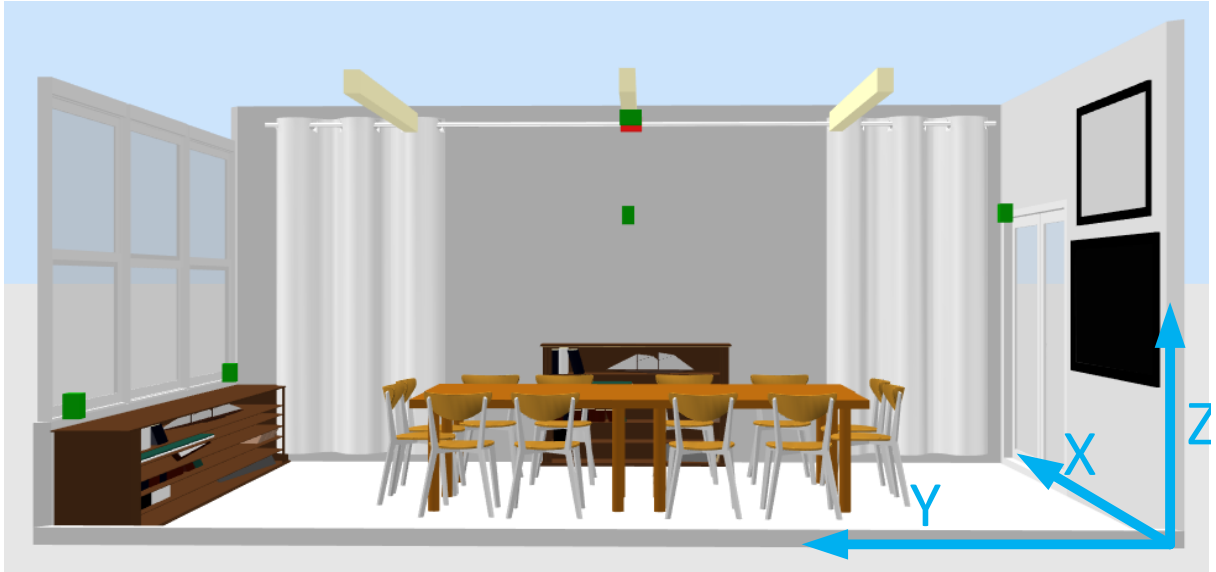


Abbildung 18. 3D-Modell des Sitzungszimmers C401b mit Multisensoren der Hochschule Luzern (grüne Quadrate). Bild: Hochschule Luzern.



Abbildung 19. Der Sensor HPD2 von STEINEL und die Referenz-Domkamera im Sitzungszimmer C401b. Bild: Hochschule Luzern.

Sitzungszimmer P2

Das Sitzungszimmer P2 befindet sich am iHomeLab der Hochschule Luzern. Die Abmessungen und die Nutzung des Raums sind vergleichbar mit denjenigen des Sitzungszimmers C401b. Im Raum P2 wurde jedoch ausschliesslich die erweiterte Präsenzerfassung mittels Multisensor-Plattform untersucht. Die Verteilung der Multisensoren ist in Abbildung 20 ersichtlich. Auch hier kamen zusätzlich Referenz-Kameras mit Fischaugenobjektiv zum Einsatz.

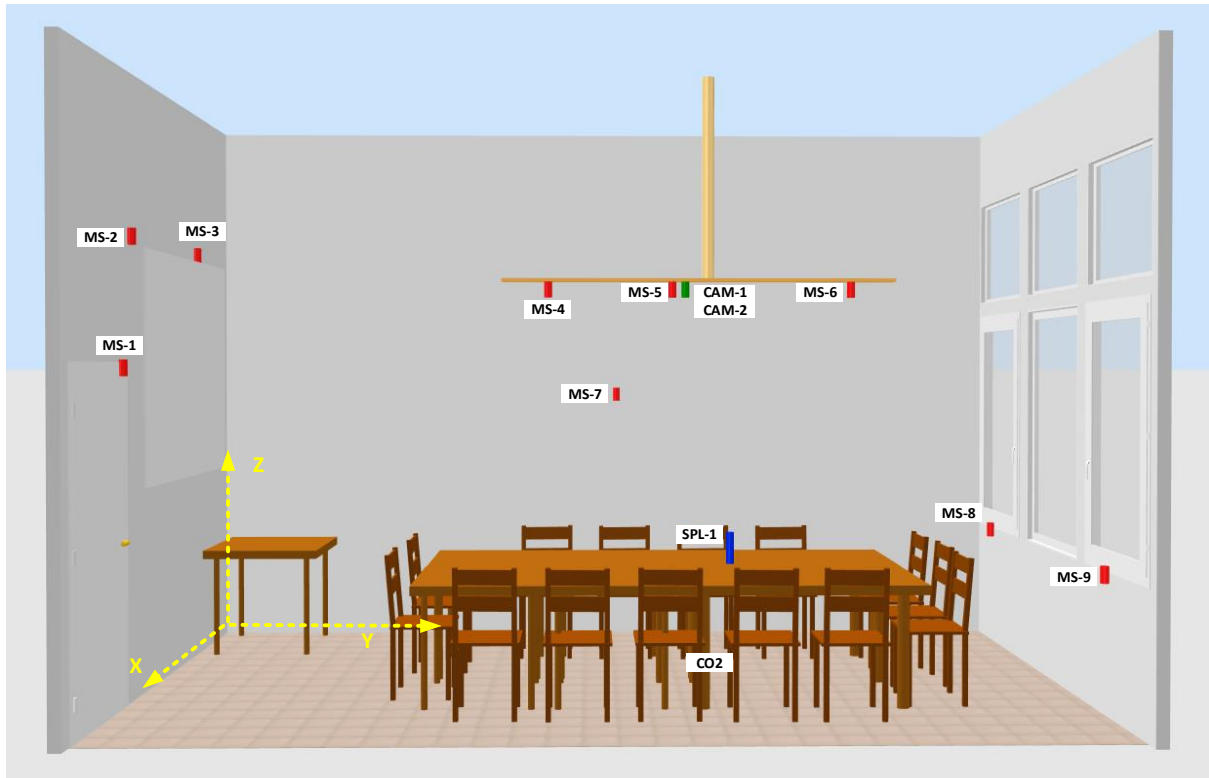


Abbildung 20. 3D-Modell des Sitzungszimmers P2 mit Multisensoren der Hochschule Luzern (rote Quadrate). Bild: Hochschule Luzern.

Grossraumbüro C312

Weitere Versuche wurden im Grossraumbüro C312 der Hochschule Luzern durchgeführt. Dieses umfasst zwölf Arbeitsplätze. Es wurden ausschliesslich Versuche mit dem optischen Präsenzmelder HPD2 durchgeführt. Die entsprechende Messanordnung ist zu sehen in Abbildung 21. Um auf unkomplizierte Weise verschiedene Messvarianten testen zu können, wurde ein mobiler Messaufbau eingesetzt (Abbildung 22). Dieser besteht aus zwei optische HDP2 Präsenzmeldern von STEINEL, einer Referenz-Kamera von Bosch und einem NAS zur Messdatensicherung.

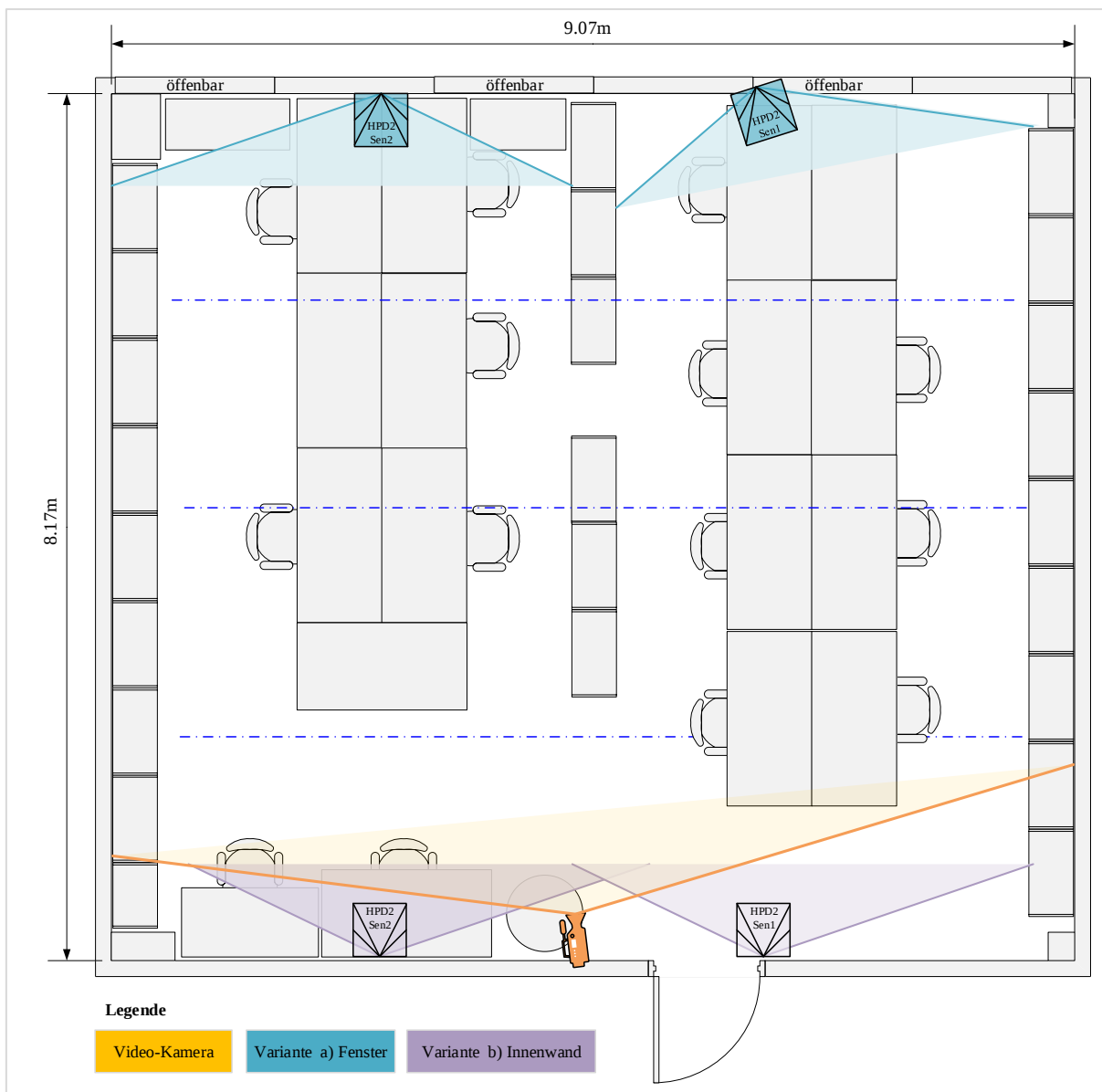


Abbildung 21. Grundriss des Grossraumbüros C312 mit Messanordnung. Es wurden zwei Varianten der erweiterten Präsenzerfassung umgesetzt: (i) Präsenzmelder an der Fensterfront montiert; (ii) Präsenzmelder an der Innenwand montiert. Bild: Hochschule Luzern.



Abbildung 22. Im Grossraumbüro C312 wurden die Messdaten mithilfe eines mobilen Messaufbaus erhoben. Dieser besteht aus zwei HDP2 Präsenzmeldern von STEINEL. Die Referenzdaten werden durch eine Videoüberwachungskamera von Bosch erhoben. Alle Messdaten werden auf einem NAS gesichert. Bild: Hochschule Luzern.

3.3.2 Vernetzung bestehender Raumsensoren

Die Versuche zur Vernetzung bestehender Raumsensoren wurden im Sitzungszimmer C401b der Hochschule Luzern durchgeführt. Die Versuchsanordnung ist im Abschnitt 3.3.1 beschrieben. Bei der Messdatenerfassung wurde das Datenlog-Konzept in Tabelle 7 befolgt. Bei der Festlegung des Konzepts wurde darauf geachtet, dass signifikante Wertänderungen lückenlos erfasst werden.

Datenpunkt	Zeitintervall (Minuten)	COS
PIR 1: Präsenz		X
PIR 2: Präsenz		X
PIR 1: Helligkeit	15	
PIR 2: Helligkeit	15	
Raumfühler: Temperatur	1	
Raumfühler: CO ₂	1	
Raumfühler: Feuchtigkeit	1	
Fensterkontakt: Oben		X



Fensterkontakt: Unten		X
Türkontakt		X

Tabelle 7. Datenlog-Konzept für das Sitzungszimmer C401b. Die Messdaten werden entweder in regelmässigen Zeitintervallen erfasst, oder bei Zustandsänderungen (*Change of State*). Quelle: Hochschule Luzern.

Die Daten der Raumsensoren wurden in verschiedenen Alltagssituationen aufgezeichnet und ausgewertet gemäss Abschnitt 3.2.1: (i) Leerstand; (ii) Arbeit am Schreibtisch (2 Personen); (iii) Sitzung (2 Personen); (iv) Aperitif (8 Personen). Von den getesteten Sensorkombinationen konnte keine Variante verlässliche Angaben zur Anzahl, Position und Tätigkeit von Personen im Versuchsraum liefern. Bei einigen Sensorkombinationen waren jedoch Trends bezüglich der Personenanzahl zu erkennen. So ist es durch die Verknüpfung der konventionellen Präsenz (PIR) mit CO₂-Luftqualitätsdaten möglich, grosse Personengruppen von Einzelpersonen zu unterscheiden. Aufgrund von PIR-Daten kann weiter die Bewegungsintensität (wenig / viel Bewegung) von Personen abgeschätzt werden.

Die gewählten Auswertungsmethoden waren einfach zu entwickeln und konnten rasch umgesetzt werden. Für den Einsatz in der Praxis erweisen sich die Ergebnisse aber als unbrauchbar, da zu ungenau und kaum reproduzierbar. Es sind also fortgeschrittene Auswertungsmethoden erforderlich, wie sie bspw. bei der Multisensor-Plattform zum Einsatz kommen (Abschnitt 3.2.2).

3.3.3 Multisensor-Plattform

Die Versuche mit der Multisensor-Plattform wurden in den Sitzungszimmern C401b und P2 durchgeführt. In einer Vorverarbeitungsphase wurden alle Messreihen auf Zeitintervalle von einer Minute vereinheitlicht (*resampling*). Zudem wurden von den Temperatur- und Feuchte-Messungen die Gradienten berechnet. Diese Messreihen dienen den neuronalen Netzen als zusätzliche, Zeit- und Jahreszeit-unabhängige Klassifizierungsfeatures. In der Trainingsphase wurden sieben verschiedene Netzwerkstrukturen verwendet und miteinander verglichen. Die Parameter zur Steuerung des Trainingsalgorithmus wurden durch eine Hyperparameteroptimierung ermittelt [17]. Zudem wurden nur diejenigen Features bei der Klassifizierung berücksichtigt, welche signifikant zur Verringerung des Vorhersagefehlers beitragen: Türkontakt, Feuchtigkeit, Temperatur, Lichthelligkeit und Präsenz.

Um die Messgenauigkeit der Multisensor-Plattform zu bestimmen, wurde die Personenzahl der Plattform verglichen mit der Anzahl der effektiv anwesenden Personen im Raum. Letztere wurde händisch bestimmt aufgrund der Aufnahmen von der Referenzkamera. Eine Messreihe aus dem Sitzungszimmer C401b ist exemplarisch dargestellt in Abbildung 23. Die Messgenauigkeit (Mean Absolute Error) liegt über die gesamte Messperiode bei MAE = 0.05 Personen. Aussagekräftiger ist jedoch die Messgenauigkeit bei Belegung. Diese liegt bei MAE = 1.40 Personen. Eine ähnliche Messgenauigkeit bei Belegung von MAE = 1.44 wurde im Sitzungszimmer P2 erreicht.

Während der Versuche wurde weiter festgestellt, dass raumklimatische Veränderungen zur erheblichen Abweichungen bei den Messergebnissen führen können. Diese Tatsache ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Feuchtigkeit und Temperatur stark in die Messergebnisse einfließen (siehe oben). Entsprechend heikel ist der Einsatz der Multisensor-Plattform in mechanisch belüfteten und klimatisierten Räumen.

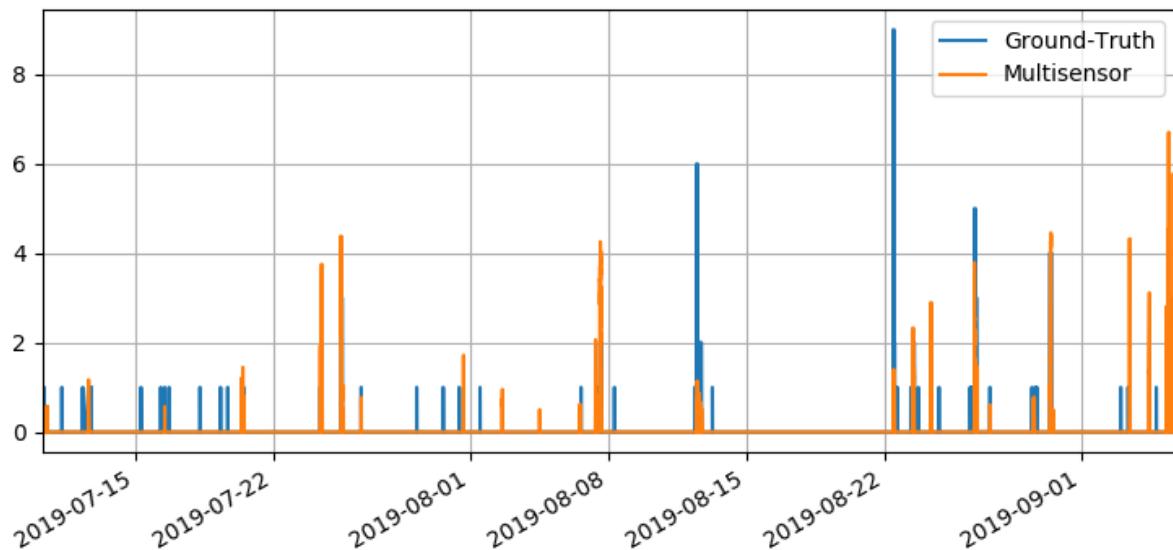


Abbildung 23. Praxisversuch zur Bestimmung der Messgenauigkeit im Sitzungszimmer C401b. Die Grafik zeigt die Anzahl der anwesenden Personen über eine Messperiode von 63 Tagen. Gelb: Messung der Multisensor-Plattform der Hochschule Luzern; Blau: Effektive Anzahl Personen. Bild: Hochschule Luzern.

3.3.4 Videobasierte Präsenzerfassung

Die Versuche mit dem optischen Präsenzmelder HPD2 von STEINEL wurden im Sitzungszimmer C401b und im Grossraumbüro C312 der Hochschule Luzern durchgeführt.

Eigenschaften des Präsenzmelders¹²

Im Sitzungszimmer C401b wurden verschiedene Eigenschaften des HPD2 Präsenzmelders untersucht:

1. **Präsenzerfassung bei wechselhaften Lichtverhältnissen** Der HPD2 wurde bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen getestet. Folgendes wurde dabei beobachtet. (i) Bei Dämmerung und vollkommener Dunkelheit werden Personen problemlos erkannt. Dies wird ermöglicht durch den Nachtmodus des Präsenzmelders, welcher sich bei Dunkelheit automatisch zuschaltet. Im Nachtmodus wird die gefilmte Szene beleuchtet mittels eingebauter Infrarot-LEDs. (ii) Bei Tageslicht und bei Kunstlicht normaler Helligkeit (ca. 500Lux am Arbeitsplatz) funktioniert das System einwandfrei. (iii) Selbst in einem sehr hellen Raum ist die Funktionstüchtigkeit nicht beeinträchtigt. Die Empfindlichkeit der Kamera wird automatisch an die Lichtverhältnisse angepasst, ohne erkennbare Beeinträchtigung der Personenerkennung.
- **Erfassung von regungslosen Personen** (i) Um überhaupt erkannt zu werden, muss sich eine Person zunächst bewegen. Anschliessend wird eine vollkommen regungslose Person während ca. 3 Minuten weitererkannt. Nach dieser Zeitkonstante wird die regungslose Person nicht mehr detektiert. Dies ist vermutlich zurückzuführen auf einen Veränderungs-Detektionsalgorithmus (Englisch: *change detection*) in der Bilderkennung – Angaben dazu sind vom Hersteller jedoch nicht verfügbar. (ii) Kleine Bewegungen (Tippen auf Tastatur, Bewegung der Computermouse) werden erkannt, sofern die entsprechenden Körperteile für die Kamera ersichtlich sind.

¹² Die Eigenschaften beziehen sich auf die zum Zeitpunkt der Versuche eingesetzte Version der Firmware. Neue Firmware-Versionen können zu entsprechenden Verbesserungen der Eigenschaften führen.



- **Erfassung von Kindern** Laut dem Hersteller werden Kinder nicht zuverlässig detektiert. Es werden jedoch keine Angaben gemacht zu Mindestgrösse oder Alter. In den vorliegenden Untersuchungen wurde eine Person mit einer Körpergrösse von 1.30m zuverlässig erkannt.
- **Erfassung von Tieren** Ein wesentlicher Vorteil von optischen Sensoren gegenüber gewöhnlichen Präsenzmeldern (PIR) besteht darin, dass Tiere nicht erfasst werden. Untersuchungen mit einem ausgewachsenen Labrador haben diesen Sachverhalt bestätigt.
- **Erfassung in Abhängigkeit der Bekleidung** In diesem Versuch wurden stark bekleidete und vermummte Personen detektiert. Dabei kam folgendes zutage. (i) Die frontale Erkennung von winterlich bekleideten Personen (Winterjacke, Baumwollmütze) ist problemlos möglich. Die Augen und der Mund müssen jedoch sichtbar sein. (ii) Steht eine winterlich bekleidete Person mit dem Rücken zur Kamera, sinkt die Zuverlässigkeit der Erfassung. Dies ist vermutlich auf das fehlende Gesicht und die nicht sichtbaren Nacken- und Schulterkonturen zurückzuführen. (iii) Vermummte Personen (Gesicht und Körper mit Baumwolltuch verhüllt) werden nicht erkannt.
- **Erfassung nebeneinanderstehender Personen** Eine gängige Schwierigkeit bei der videobasierten Präsenzerkennung ist es, nahe beieinanderstehende Personen zu unterscheiden. In solchen Fällen geht die Bilderkennung oft von einem einzelnen Objekt aus. Dies gilt auch für den HPD2: wenn die Kamera den Kopf, den Hals und die Schulterpartie einzelner Personen nicht klar erkennen kann, wird nur eine bzw. keine Person erfasst.
- **Erfassung abgewandter Personen** Normal bekleidete Personen (Innenbekleidung, keine Kopfbedeckung) werden auch mit dem Rücken zur Kamera einwandfrei erkannt. Dies ist sowohl im Sitzen als auch im Stehen möglich.

In ähnlicher Weise wurden im Grossraumbüro C312 folgende Merkmale untersucht:

- **Sensorposition.** Die Positionierung der Präsenzmelder ist entscheidend und muss bei der Planung berücksichtigt werden.
 - Die Ausrichtung gegen ein Fenster ist nicht zweckmässig, da fälschlicherweise Personen in Aussenbereichen erfasst werden können.
 - Ähnliche Probleme können auftreten, wenn die Präsenzmelder in Richtung Tür ausgerichtet werden. Bei geöffneter Tür können fälschlicherweise Personen ausserhalb des Raums erfasst werden.
 - In beiden Fällen besteht die Möglichkeit, die betroffenen Bildbereiche (d.h. Fenster und Türen) als Sperrzonen zu deklarieren. Diese werden von der Objekterkennung ausgeschlossen. Allerdings werden dadurch auch Raumbereiche ausgeschlossen, die sich in derselben Sichtlinie befinden wie die Türen / Fenster.
 - Bei starker Sonneneinstrahlung können Erfassungsprobleme auftreten wegen dem hohen Kontrastverhältnis. Betroffen sind insb. dunkle Raumbereiche.
 - Fenster und weitere, bewegliche Gegenstände verhindern u.U. die Montage an optimaler Lage.
 - Die Montagehalterung und die Kabelführung zum Sensor müssen frühzeitig berücksichtigt und mit der Architektur vereinheitlicht werden.
 - Die Präsenzerfassung funktioniert nicht zuverlässig, wenn mehrere Personen aus Sicht des Sensors hintereinander platziert sind. Im Grossraumbüro darf der Sensor deshalb bspw. nicht in der Längsachse der Arbeitstische montiert werden.



- **Einfluss vom Personenverhalten.** Gewisse Verhaltensweisen und Haltungen von Personen führen zu Fehlmessungen, bspw.:
 - Hände über den Kopf halten, um sich zu recken
→ Person wird nicht erkannt
 - Hand an den Kopf halten, um den Kinn zu stützen
→ Person wird nicht erkannt
 - Auf Stuhlkante sitzen, wenn Jacke am Stuhlrücken hängt
→ Die Jacke wird irrtümlich als zusätzliche Person erkannt
- **Firmware.** Die Firmware des HPD2 Präsenzmelders wird stetig weiterentwickelt. Im Versuchszeitraum wurden mehrere Firmware-Versionen durch den Hersteller freigegeben. Drei Versionen wurden in den Versuchen eingesetzt. Jede Aktualisierung hat zu merklichen Verbesserungen bei der Objekterkennung geführt. Es ist also erforderlich, die Geräte jeweils auf dem neusten Stand zu halten. Dieser Vorgang ist zeitintensiv und in der Praxis oft schwer umsetzbar.

Praxisversuche zur Bestimmung der Messgenauigkeit

In beiden Versuchsräumen wurden Praxisversuche durchgeführt, um die Messgenauigkeit des HPD2 Präsenzmelders abzuschätzen. Dazu wurde jeweils die Personenzahl vom Präsenzmelder verglichen mit der Anzahl der effektiv anwesenden Personen. Letztere wurde händisch bestimmt aufgrund der Aufnahmen von der Referenzkamera.

Zwei Messreihen sind beispielhaft dargestellt in Abbildung 24 und Abbildung 25. Die Messgenauigkeit liegt etwa bei ± 2 Personen. Zu beobachten ist, dass die gemessene Anzahl der Personen sich auch bei konstanter Belegung häufig ändert. Dies ist zurückzuführen auf die beschriebenen Eigenschaften des Präsenzmelders, bspw. Einfluss vom Personenverhalten, wechselhafte Lichtverhältnisse usw.

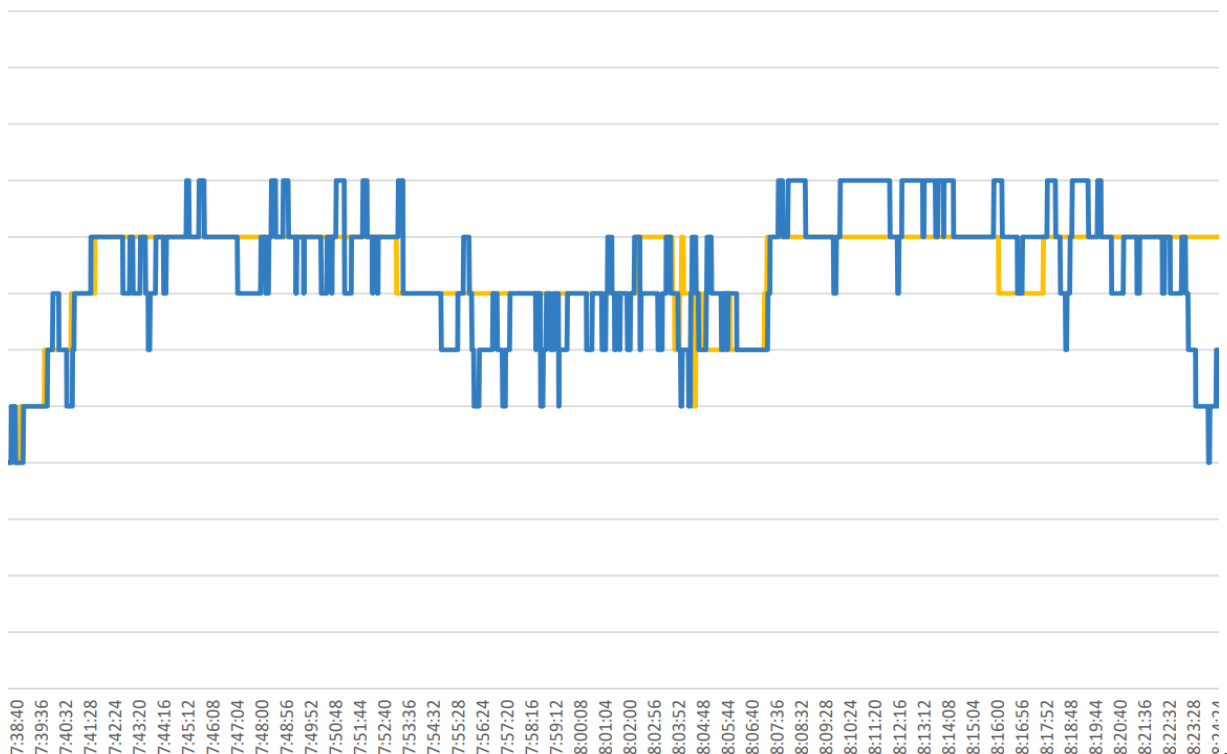




Abbildung 24. Praxisversuch zur Bestimmung der Messgenauigkeit im Sitzungszimmer C401b. Die Grafik zeigt die Anzahl der anwesenden Personen in einer einstündigen Sitzung. Blau: Messung des HPD2 Präsenzmelders; Gelb: Effektive Anzahl Personen. Bild: Hochschule Luzern.

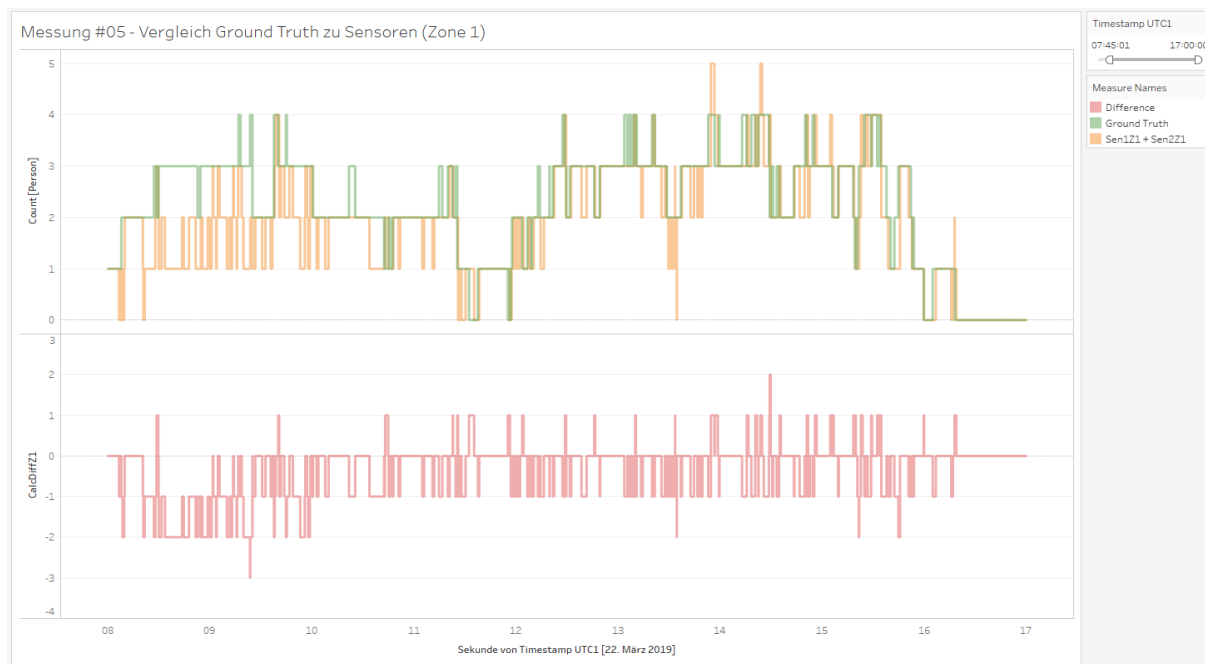


Abbildung 25. Praxisversuch zur Bestimmung der Messgenauigkeit im Grossraumbüro C312. Die obere Grafik zeigt die Anzahl der anwesenden Personen während der Arbeitszeiten (07:45 – 17:00 Uhr). Gelb: Messung des HPD2 Präsenzmelders; Grün: Effektive Anzahl Personen. Die untere Grafik zeigt den entsprechenden Messfehler. Bild: Hochschule Luzern.

3.3.5 Personenerkennung mittels Wärmebildkamera

Die Personenerkennung mittels Wärmebildkamera wurde im Sitzungszimmer C401b untersucht. Zum Trainieren des CNN wurden 585 Bildausschnitte (16 x 16 Pixel) aus 126 Wärmebildern verwendet. Davon enthalten etwa ein Drittel Personen (Kategorie 'Person'), während die restlichen Ausschnitte entweder eine andere (Kategorie 'andere Wärmequelle') oder gar keine Wärmequelle (Kategorie 'Hintergrund') zeigen. Jeder Bildausschnitt wurde zudem rotiert und gespiegelt, um die Rotations- und Spiegelungsinvarianz sicherzustellen. Insgesamt wurden auf diese Weise 7'323 Trainingsbilder erzeugt. Damit wurden verschiedene CNN-Architekturen mit unterschiedlichen Hyperparametern trainiert und bewertet. Letztendlich wurde ein CNN gewählt nach dem Vorbild des LR-CNN von Chevalier *et al.* [18]

Um die Personenerkennung mittels Wärmebildkamera in einer Praxisanwendung zu prüfen, wurden 323 Bilder (*frames*) zufällig ausgewählt aus einer Videosequenz, die den Versuchsraum C401b zeigt. Die Bilder enthalten insgesamt 718 Personen. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Im Verlauf der Versuche wurde festgestellt, dass nicht-personenbezogene Wärmequellen (z.B. Laptops, Kaffeetassen) fälschlicherweise als Person erkannt werden, wenn diese nicht in ähnlicher Form (d.h. ähnliche Grösse, Geometrie, Wärmeverteilung) antrainiert wurden. Zudem können mit der vorhandenen Methode nur sitzende Personen zuverlässig erkannt werden, weil keine Grösseninvarianz eingebaut wurde (d.h. das CNN wurde nur mit sitzenden Personen trainiert; stehende Personen kommen näher an die deckenmontierte Wärmebildkamera heran und werden entsprechend grösser abgebildet). Kopfbedeckungen wirken sich negativ auf die Personenerkennung aus, weil dadurch die Wärmestrahlung blockiert wird. Auch muss die Positionierung der Kameras an



der Decke hinterfragt werden, weil sich aus dieser Perspektive kein eindeutiges Abbild von Personen erhalten lässt.

Anzahl der verwendeten Bilder	323
Gesamtanzahl Personen in den Bildern	718
Korrekt erkannte Personen (<i>True positive</i>)	657
Inkorrekt als Person erkannte Objekte (<i>False Positive</i>)	120
Nicht erkannte Personen (<i>False Negative</i>)	61

Tabelle 8. Versuchsergebnisse der Personenerkennung mittels Wärmebildkamera im Sitzungszimmer C401b. Quelle: Hochschule Luzern.

3.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden zunächst die Anforderungen an die Sensorik zur Erfassung der erweiterten Präsenz in strukturierten Experteninterviews ermittelt. Dann wurden vier unterschiedliche Erfassungsmethoden vorgestellt. Diese wurden in zwei Sitzungszimmern und einem Grossraumbüro eingesetzt. Auf diese Weise wurden die Eigenschaften der verschiedenen Methoden bestimmt. Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind hiernach übersichtlich zusammengefasst.

Anforderungen an die Sensorik

- Zur gebräuchlichen Erfassung der erweiterten Präsenz im Gebäude werden Sensoren vorausgesetzt, die sich preislich, äusserlich und von den Messeigenschaften her nicht signifikant von konventionellen Präsenzmeldern unterscheiden (PIR o.ä.)
- Optische Sensoren sollten sich äusserlich nicht als Kamera zu erkennen geben
- Grundsätzlich ist die Preisfrage immer im System zu betrachten. Für alltägliche Anwendungen (PIR-Ersatz) müssen die Lebenszykluskosten denjenigen des ersetzten Sensors entsprechen
- Es werden die üblichen Schnittstellen vorausgesetzt: potentialfreier Kontakt für die konventionelle Präsenzausgabe, DALI, KNX, BACnet
- Die Platzierung und Ausrichtung der Geräte darf nicht anspruchsvoll sein
- Es wird ein unterbruch- und wartungsfreier Betrieb vorausgesetzt. Bei Ausfällen werden die Geräte ersetzt, nicht gewartet

Erfassungsmethoden und Versuchsergebnisse

- Vernetzung bestehender Raumsensoren: Für den Einsatz in der Praxis erweisen sich die Ergebnisse als unbrauchbar, da zu ungenau und kaum reproduzierbar. Es sind fortgeschrittene Auswertungsmethoden erforderlich, bspw. Neuronale Netze
- Multisensor-Plattform: Die Messgenauigkeit liegt etwa bei ± 2 Personen. Raumklimatische Veränderungen können zu erheblichen Abweichungen bei den Messergebnissen führen. Aus diesem Grund ist die Varianz der Ergebnisse i.d.R. grösser als mit optischen Methoden der Präsenzerfassung
- Videobasierte Präsenzerfassung: Die Messgenauigkeit liegt etwa bei ± 2 Personen. Bei der Erfassung müssen verschiedene Einflussfaktoren berücksichtigt werden: Sensorposition,



Lichtverhältnisse, Einfluss der Bekleidung. Zudem müssen die Geräte jeweils auf dem neusten Firmware-Stand gehalten werden

- Personenerkennung mittels Wärmebildkamera: Sitzende Personen wurden etwa in 90% der Fälle korrekt erkannt. Es werden aber auch andere Wärmequellen (Laptops, Kaffeetassen) fälschlicherweise erkannt. Besonders wichtig für die Genauigkeit sind angemessene Trainingsbilder



4 Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung

In diesem Kapitel wird der Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung im Gebäude untersucht. Dabei wird einerseits der Nutzen der Präsenzerfassung als Ganzes betrachtet (konventionell und erweitert), und andererseits der zusätzliche Gewinn der erweiterten Präsenz. Im Abschnitt 4.1 werden mögliche Anwendungen erörtert. Diese werden aufgegliedert in fünf Anwendungsbereiche: Energie, Komfort, Sicherheit, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Im Abschnitt 4.2 wird der Stand der Technik zur Nutzung der Präsenz zusammengetragen. Im Abschnitt 4.3 werden daraus Angaben abgeleitet hinsichtlich der Verbesserung der Energieeffizienz durch die erweiterte Präsenzerfassung.

4.1 Mögliche Anwendungen

Über die erweiterte Präsenzerfassung wird Information gewonnen zur Nutzung von Gebäuden. Konkret werden die Präsenz, Anzahl, Position, Tätigkeit und Identität von Personen in bestimmten Räumen oder Segmenten¹³ ermittelt (Abschnitt 1.3). Diese Angaben können genutzt werden, um die Energieeffizienz, den Komfort, die Sicherheit, die Funktionalität und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. In Tabelle 9 werden mögliche Anwendungen der erweiterten Präsenzerfassung übersichtlich dargestellt. Die Zusammenstellung wurde durch die Autoren der vorliegenden Studie vorgenommen und ist nicht abschliessend. In der Folge werden Anwendungen eingehender betrachtet, welche zur Verbesserung der Energieeffizienz beitragen.

		Präsenz ja / nein	Anzahl	Position	Tätigkeit	ID
ENERGIE						
Steuern nach Präsenz (anwesend / abwesend)	Die gebäudetechnischen Anlagen werden nach der Anwesenheit von Person(en) gesteuert. Bspw. Beleuchtung ein / aus.	X				
Steuern nach Belegung (Anzahl Personen)	Die gebäudetechnischen Anlagen werden nach der ermittelten Anzahl Personen gesteuert. Bspw. Volumenstrom, Zulufttemperatur.		X			
Steuern nach Position	Die gebäudetechnischen Anlagen werden nach der gegenwärtigen Position von Personen gesteuert. Bspw. Beleuchtungsstärke, Tageslicht-Eintrag.			X		
Steuern nach Tätigkeit	Die gebäudetechnischen Anlagen werden nach der Tätigkeit von Personen gesteuert. Bspw. Beleuchtungsstärke, Raumlufttemperatur, Raumluftqualität.				X	
Steuern nach Individuum (ID der Person)	Die gebäudetechnischen Anlagen werden nach der Identität von einzelnen Personen gesteuert. Bspw. Beleuchtungsstärke, Tageslicht-Eintrag, Raumlufttemperatur, Raumluftqualität.					X
Bedarfsgeführter Sollwert	Die Sollwerte gebäudetechnischer Anlagen werden nach dem tatsächlichen Bedarf geführt. Bspw. Sollwert für Beleuchtungsstärke, Raumlufttemperatur, Volumenstrom. Der Bedarf wird bestimmt aufgrund der Belegung, Position, Tätigkeit, Gruppe und/oder ID der Personen sowie weiterer	X	(X)	(X)	(X)	(X)

¹³ Das Segment wird in der Richtlinie VDI 3813 als kleinste betrachtete räumliche Einheit definiert, für die Raumautomationsfunktionen anwendbar sind. Es handelt sich also um einen Teilbereich des Raums.



	Angaben von der Gebäudeautomation.					
Reduktion der Laufzeiten	Die Laufzeiten gebäudetechnischer Anlagen werden auf das Nötigste reduziert. Die erforderlichen Laufzeiten ergeben sich aus der (vorhergesagten) Präsenz in den Räumen / Segmenten.	X		(X)		
Standby bei Nichtbelegung	Die gebäudetechnischen Anlagen werden bei der Nichtbelegung einzelner Räume / Segmente in eine energiesparende Raumbetriebsart gesetzt, bspw. Stand-By oder Economy.	X		(X)	(X)	
Vorkonditionierung	Räume / Segmente werden entsprechend der vorhergesagten Präsenz vorkonditioniert. Dadurch werden angemessene Raumkomfort-Bedingungen vor der eigentlichen Nutzung geschaffen.	X		(X)		
KOMFORT						
Individualisierte Gebäudeautomation	Die Komfort-Bedingungen werden örtlich den individuellen Präferenzen der Nutzer angepasst: Beleuchtungsstärke, Farbtemperatur, Blendschutz, Klima. Die Präferenzen werden aufgrund der Tätigkeit, Gruppe oder ID der Person bestimmt.			X	(X)	(X)
Partizipative Klimaregulierung	Die Komfort-Bedingungen im Raum werden im Konsensverfahren festgelegt. D.h., der Komfort widerspiegelt insgesamt die Vorlieben der jeweils anwesenden Nutzer. Die anwesenden Nutzer werden aufgrund ihrer ID erkannt.			(X)		X
Vorkonditionierung	Siehe weiter oben.	X		(X)		
Bedarfsgeführte Transportsysteme	Personenaufzüge und ähnliche Transportsysteme fürs Gebäude werden nach Bedarf gesteuert. D.h., die Anzahl und Position der wartenden sowie der transportierten Personen werden bei der Disposition der Fahrten berücksichtigt.		X	X		
SICHERHEIT						
Zutrittskontrolle	Der Zutritt zu bestimmten Räumen / Segmenten wird nur berechtigten Personen gestattet. Die Berechtigungen werden mithilfe der Identität geprüft.			(X)		X
Erkennung von Eindringlingen	Eindringlinge werden dadurch erkannt, dass sich in erwartungsgemäss leeren Räumen Personen befinden. Diese Anwendung macht sich die Tatsache zunutze, dass einige Verfahren zur erweiterten Präsenzerfassung Personen von anderen Objekten unterscheiden können.	X		(X)		
Smarte Evakuierung	Anstatt Gebäude nach starren Abläufen und über festgelegte Strecken zu evakuieren, werden Personenströme und Hindernisse (bspw. Brände) dynamisch berücksichtigt und optimale Fluchtwege angezeigt. Dazu muss die jeweilige Anzahl und Position von Personen ermittelt werden.		X	X		X
Active Assisted Living	Active Assisted Living bezeichnet die Unterstützung des Lebens im Alter durch technische Hilfsmittel. Bspw. automatische Erkennung von Stürzen und ungewöhnlichen Verhaltensweisen. Dazu ist die Erfassung der Position, Tätigkeit und eventuell Identität von Personen erforderlich.			X	X	(X)



Erkennung von zurückgelassenen Personen	Einige technische Räumlichkeiten (z.B. Umspannwerke, Wartungsschächte) werden selten aufgesucht und bergen ein erhöhtes Unfallrisiko. In diesen Räumen müssen zurückgelassene Personen rasch und zuverlässig erkannt werden. Dies kann durch die Präsenzerfassung sichergestellt werden.	X		(X)	(X)	
FUNKTIONALITÄT						
Visualisierung der Belegung	Die Belegung von Räumen (Präsenz, Personendichte, Position, Tätigkeit, ID) wird zu unterschiedlichen Zwecken dargestellt. Bspw. Visualisierung der Belegung von Sitzungszimmern und Arbeitsplätzen, Kundenverteilung im Supermarkt, Zimmerbelegung im Hotel.	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Grundlagen für die Planung	Daten zur Belegung und Nutzung bestehender Gebäude können genutzt werden um die Planung weiterer, ähnlicher Objekte auf die zu erwartende Nutzung abzustimmen. Bspw. können Nutzungsprofile (Häufigkeit, Art der Nutzung) berücksichtigt werden bei der Dimensionierung und Auslegung von Räumen.		(X)	(X)	(X)	
WIRTSCHAFTLICHKEIT						
Hotdesking	Beim Hotdesking teilen sich verschiedene Nutzer zu unterschiedlichen Zeiten gemeinsame Ressourcen (bspw. Arbeitsplätze). Die jeweiligen Ressourcen werden bei der Ankunft des Nutzers zugewiesen. Im Vergleich zu fest zugeordneten Ressourcen werden dadurch Kosten eingespart. Die Vergabe der Ressourcen basiert auf deren Belegung sowie den Vorlieben einzelner Nutzer oder Nutzergruppen.		X	X		(X)
Ergebnisorientiertes Facility Management	Anstatt eines starren Putzablaufs werden beim ergebnisorientierten Facility Management die Nutzung der Räume und die dadurch entstehenden Verunreinigungen berücksichtigt. Geputzt wird nur, was tatsächlich genutzt wurde. Die Nutzung der Räume ist gegeben durch die Anzahl, Position und Tätigkeit von Personen.		X	X	(X)	
Verringerung der Abnutzung von Komponenten	Durch die Reduktion der Laufzeiten, bedarfsgeführte Sollwerte und den Betrieb in energiesparenden Raumbetriebsarten bei Nichtbelegung (siehe oben) wird die Abnutzung von gebäudetechnischen Komponenten verringert. Damit wird deren Lebensdauer erhöht.	X	(X)	(X)	(X)	(X)

Tabelle 9. Mögliche Anwendungen der erweiterten Präsenzerfassung im Gebäude.

4.2 Stand der Technik

Damit der Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung hinsichtlich der Energieeffizienz beziffert werden kann (Abschnitt 4.3), muss zunächst der entsprechende Stand der Technik bestimmt werden. Nachfolgend werden relevante Studien untersucht.

4.2.1 Allgemeines

Gebäudetechnische Anlagen stellen sicher, dass in Anwesenheit von Personen komfortable Raumbedingungen herrschen. In unbelegten Räumen müssen diese Bedingungen nicht eingehalten werden [19]. Gemäss der europäischen Norm EN 15232 ist zum Erreichen der GA-Effizienzklassen A und B Präsenzinformationen erforderlich [2]: «Die Raum-Regelrichtungen müssen einen bedarfsgeführten Betrieb von HLK-Anlagen ermöglichen können (z.B. sollwertgesteuerte Regelung in Abhängigkeit von Belegungsgrad, Luftqualität usw.) ». Die Norm definiert nicht näher, was unter dem



Belegungsgrad zu verstehen ist. In der Praxis werden jedoch mehrheitlich PIR-Präsenzmelder verbaut [20]. Entsprechend wird als Messgrösse für den Belegungsgrad i.d.R. die Anwesenheit (ja / nein) von Personen im Raum verwendet.

Bedarfsgeführte Regelstrategien sollen in unbelegten Räumen die Heiz- oder Kühltemperatur-Sollwerte reduzieren und die Räume nur bei Belegung auf einem Komfortniveau halten. Die VDI-Richtlinie 3813 [21] definiert zu diesem Zweck vier unterschiedliche Energieniveaus (Tabelle 10). Diese dienen der Anpassung der Energieabgabe an die Nutzung des Raums.

Energieniveau / Raumbetriebsart	Beschreibung	Zustandswechsel
COMFORT Komfortniveau	Belegter Raum, Raumtemperatur im Behaglichkeitsbereich.	Präsenzerkennung oder manuelle Anmeldung im Raum
PRE COMFORT Bereitschaftsniveau	Unbelegter Raum. Anhebung bzw. Absenkung der Behaglichkeitsgrenzen, so dass innerhalb kurzer Zeit das Komfortniveau erreicht werden kann.	Zeitschaltprogramm
ECONOMY Absenkniveau	Ökonomiebetrieb ausserhalb der Belegungszeiten z.B. Nacht/Wochenendbetrieb.	Zeitschaltprogramm
PROTECTION Gebäudeschutzniveau	Schutzbetrieb für Frost-, Überhitzungs- und Betauungsschutz.	Manuelle Umschaltung bei zeitweiliger Nichtnutzung oder offenen Fenstern im Normalbetrieb

Tabelle 10. Energieniveaus zur Anpassung der Energieabgabe an die Nutzung von Räumen, gemäss VDI 3813 Blatt 2 [21].

Zu jedem Energieniveau werden in GA-Systemen spezifische Sollwerte hinterlegt. So betragen die Heiz- und Kühlsollwerte für COMFORT bspw. 21°C und 24°C, für PRE COMFORT 20°C und 25°C, usw. Zusätzlich Sollwerte können ebenfalls hinterlegt werden, bspw. die CO₂-Konzentration, Feuchte, Luftvolumenströme, Helligkeitssollwerte. Die VDI-Richtlinie regt weiter an, die Umstellung von PRE COMFORT auf COMFORT über die Präsenz zu steuern, die restlichen Umstellungen jedoch über Zeitschaltprogramme (Ausnahme: PROTECTION wird manuell angewählt). Da Temperaturanpassungen nur verzögert zum Tragen kommen, wird bei der Umstellung i.d.R. mit Einschaltverzögerungen gearbeitet. Z.B. um den Raum beim Betreten durch den Nachtwächter nicht sofort in den Komfortzustand zu bringen.

Gegenwärtig werden Primäranlagen meist nach festgelegten Zeitschaltprogrammen gesteuert. Diese sollen die erwartete Belegung abbilden. Die energiewirtschaftlichen Auswirkungen der Einstellungen sind den Betreibern der Anlage i.d.R. bekannt. Trotzdem werden Zeitschaltprogramme selten an wechselnde Nutzungen angepasst [22], obwohl dies durch die Norm gefordert wird [2].

Weitere Angaben zum Einfluss des Nutzerverhaltens auf die Energieeffizienz sind zu finden in einer Metastudie von Nguyen und Aiello [23].



4.2.2 Steuern nach Präsenz

Bei der Steuerung nach Präsenz wird die konventionelle Präsenzinformation berücksichtigt: Person(en) anwesend oder abwesend.

Präsenz im Wohnbau

Im Wohnbau sind PIR-Sensoren oft unerwünscht und entsprechend selten vorzufinden. Kontrollierte Wohnungslüftungsgeräte beispielsweise arbeiten üblicherweise mit fixen Wochenzeitschaltprogrammen. Mutmassliche Gründe sind ästhetische Vorbehalte und Bedenken bezüglich des Persönlichkeitsschutzes. Dennoch ist die Erkennung von Präsenz im Wohnbau aus energetischen Gründen wichtig. In der Folge werden zwei Lösungen vorgestellt, die einen besonders geringen Aufwand bei der Umsetzung erfordern.

In der ersten Studie werden zur Bestimmung der Präsenz keine dedizierten Sensoren eingesetzt, sondern bereits bestehende Infrastruktur genutzt [24]. Die Autoren zeigen auf, wie anhand von Viertelstundenwerten eines klassischen Smart Meters bestimmt werden kann, ob jemand in der Wohnung anwesend ist. Dabei werden Genauigkeiten von 80% erreicht. Diese Lösung bringt im Wohnbau einen grossen Mehrwert mit sich, weil Installation, Inbetriebnahme und Unterhalt von Präsenzmeldern entfallen.

In der zweiten Studie [25] wird für das Erkennen der Präsenz ein einziger PIR-Sensor im Eingangsbereich eingesetzt, sowie ein CO₂-Sensor. Die Anwesenheit wird dabei durch den PIR-Sensor erkannt, während die Erkennung der Abwesenheit über den Luftqualitätssensor erfolgt.

Nennenswert ist weiter die Studie [26]. Hier wird anstatt der herkömmlichen PIR-Sensoren eine Multisensor-Plattform benutzt, um das Belegungsprofil von Räumen zu bestimmen. Gemessen werden Schallpegel, Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, CO₂-Konzentration, Helligkeit und Beschleunigung. Mithilfe von thermischen Simulationen wird das Energiesparpotential berechnet, das sich aus der Berücksichtigung der Belegungsprofile bei der HLK-Automatisierung ergibt. Die Autoren konnten ein Energiesparpotential von 30% nachweisen bei gleichbleibendem Komfort.

Vorhersage der Präsenz

Aufgrund vergangener Präsenzdaten kann eine Vorhersage gemacht werden zum weiteren Verlauf der Präsenz. Die Autoren der Studie [27] messen der Vorhersage der Präsenz bei HLK-Anlagen eine grosse Bedeutung zu: «Es wird Zeit benötigt, bis die Räume auf angemessene Temperaturen gebracht werden. Daher müssen wir in der Lage sein, die Raumnutzung vorherzusehen, um mit der Konditionierung von Räumen früh genug zu beginnen.» Infolge dieser Einschätzung lassen sich zahlreiche Studien finden zur Vorhersage der Präsenz [19], [27–30].

Der Einfluss der Präsenz auf den Energieverbrauch einer integralen Raumautomationslösung wird untersucht in der Studie [30]¹⁴. Unterschiedliche Belegungsprofile (d.h. Häufigkeit der Leerstandstage und Anwesenheitszeiten) werden mittels Simulationen für zwei unterschiedliche Gebäudehüllen (Schweizer Durchschnitt und Passivhaus) hinsichtlich des Energieverbrauchs im Winter und Sommer untersucht. Die Studie verwendet theoretische Belegungsprofile. In einer nachfolgenden Studie [33] wurden die Ergebnisse aus [30] mit realen Präsenzdaten aus einem modernen Bürogebäude in der Schweiz validiert. Daraus ergaben sich ähnliche Ergebnisse.

¹⁴ Dieser Studie ist hinsichtlich der energetischen Aussage für den Schweizerischen Neubau eine hohe Relevanz beizumessen. Es handelt sich um die einzige Studie, welche von einer integralen Raumautomation ausgeht. Andere Studien fokussieren auf einzelne Disziplinen, beispielsweise VAV [31]. Die verschiedenen Disziplinen beeinflussen sich im Raum gegenseitig, deshalb ist der integrale Ansatz wesentlich [32].



Die Studie zeigt auf, dass das Energiesparpotential durch die Nutzung von Präsenzinformation bei hochisolierten, modernen Gebäuden abnimmt. Hier reichen die solaren Einträge im Winter oft aus, während im Sommer übermässige Sonneneinstrahlung durch den automatischen Sonnenschutz verhindert wird. Der Energiebedarf für das Heizen- und Kühlen ist somit kleiner oder gar null. Weiter wird aufgezeigt, dass das Sparpotential sinkt, wenn die durchschnittliche Anwesenheitszeit der Personen abnimmt¹⁵. Ist die Belegung über das gesamte Gebäude hinweg homogen verteilt, so sind Energieeinsparungen von bis zu 34% möglich. Bei nicht homogener Belegung (d.h. belegte Räume grenzen an leerstehende Räume) halbiert sich das Sparpotential auf etwa 17%.

Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Vorhersage der konventionellen Präsenz bereits beträchtliche Energieeinsparungen mit sich bringt. Deshalb birgt aus ihrer Sicht die erweiterte Präsenzerfassung im Bereich der Raumautomation nicht viel zusätzliches Potential.

Zu ähnlichen Schlussfolgerungen gelangen die Autoren der Studien [29, 31]. Studie [31] äussert zudem Bedenken bezüglich der Umsetzung und Wirtschaftlichkeit komplexerer Erfassungsmethoden (in vorliegendem Fall: MPC). Es sei aufwändig, solche Methoden zu entwickeln und fallspezifisch zu kalibrieren und validieren. Allerdings betonen beide Studien, dass die Anzahl der Personen entscheidend ist für die Bestimmung variabler Luftvolumenströme.

4.2.3 Steuern nach Belegung

Bei der Steuerung nach Belegung wird die Anzahl der anwesenden Personen berücksichtigt.

Erkennung am Einzelarbeitsplatz mittels PIR

Gebräuchliche PIR-Sensoren haben den Nachteil, dass keine Angaben zur Anzahl der anwesenden Personen gemacht werden können. Einige Lösungen umgehen diesen Nachteil, indem ein dichtes Netz an PIR-Sensoren aufgebaut wird. Damit wird bspw. an jedem Einzelarbeitsplatz erkannt, ob eine Person anwesend ist. So kann die totale Zahl der Anwesenden Personen bestimmt werden. Zudem sind Aussagen möglich zur gegenwertigen Position einzelner Personen (unter der Voraussetzung, dass sich jede Person an ihrem eigenen Arbeitsplatz befindet).

CO₂-Konzentration als Indikator

Der CO₂-Gehalt der Raumluft korreliert mit der Anzahl der anwesenden Personen. Dementsprechend wird in mehreren Studien die Anzahl der Personen aufgrund der CO₂-Konzentration bestimmt [35, 36]. Weitere Studien [29], [27], [37], [38] nennen diesbezüglich unterschiedliche Herausforderungen: Bedarf nach Kalibration, aufwändiger Unterhalt, heikle Positionierung, lange Reaktionszeiten. In der Studie [39] wird die Genauigkeit von 44 CO₂-Sensoren in Feldmessungen untersucht. Dabei wurden absolute Messfehler im Bereich von -378ppm bis 1'013ppm festgestellt. Sämtliche Studien kommen zum Schluss, dass entweder genauere und weniger wartungsintensive CO₂-Sensoren eingesetzt werden müssen, oder für die Regelungen von VAV-Systemen eine «echtzeit-Belegungsüberwachung» zum Einsatz kommen sollten. Also beispielsweise die erweiterte Präsenzerfassung. In einer weiteren Studie wurde eine Kombination aus Präsenzmeldern, Personenzähleinrichtungen bei den Türen und einem CO₂-Sensor geprüft [38].

Vernetzung mehrerer Sensoren

Eine andere Strategie besteht in der Vernetzung mehrerer Sensoren. Diese Methode wird in der ThermoSense-Studie angewendet [40]. PIR-Sensordaten werden mit Bildern von Wärmebildkameras vereint, um die Anzahl der Personen in Räumen zu bestimmen. Die Autoren weisen darauf hin, dass Wärmebildkameras gegenüber Kameras im sichtbaren Lichtbereich weniger anfällig auf plötzliche

¹⁵ Zum ähnlichen Schlüssen gelangen auch die Studien [27] und [34].



Beleuchtungs- und Hintergrundänderungen reagieren. Der PIR-Sensor wurde integriert, um leerstehende Räume zuverlässig zu erkennen und dadurch die Genauigkeit des Gesamtsystems zu verbessern.

Eine andere Vorgehensweise stellt die Studie DCount [41] vor. Hier werden über 3D-Kameras sämtliche Personen erfasst, die den Gebäudeperimeter betreten. Durch die Verbindung dieser Angaben mit Daten von PIR-Sensoren in den Räumen, wird die Anzahl der anwesenden Personen im Gebäude auf die einzelnen Räume heruntergebrochen. Dazu sind zusätzlich Informationen über die maximale Belegungskapazität und den Grundriss der Räume erforderlich. Um die Genauigkeit weiter zu steigern, könnte der Algorithmus weitere CO₂-Werte, Stromverbrauchsdaten, WiFi-Verkehrsdaten usw. berücksichtigen. Mit dieser Methode konnten Genauigkeiten besser als ± 1 Person nachgewiesen werden.

Vorhersage der Belegung

Analog zur Präsenz (Abschnitt 0) kann für die Belegung eine Vorhersage aus historischen Daten berechnet werden. Eine solche Vorhersage kam bei der ThermoSense-Studie [40] zum Einsatz. Verglichen wurden die energetischen Aufwände für das Heizen und Kühlen von vier Steuerungsvarianten:

B) Baseline mit fixem Zeitschaltprogramm

Überventilation von ca. 230%

I) Binäre Raumpräsenz aus PIR und Wärmebildkamera, inkl. Präsenzvorhersage

19.7% Energieeinsparung, 170% Überventilation

T) Anzahl Personen aus PIR- und Wärmebildkamera, inkl. Belegungsvorhersage

24.8% Energieeinsparung, Überventilation von 3.25%

R) Reaktiv. Binäre Präsenzinformationen direkt von PIRs, ohne Vorhersage

29.6% Energieeinsparung, 170% Überventilation

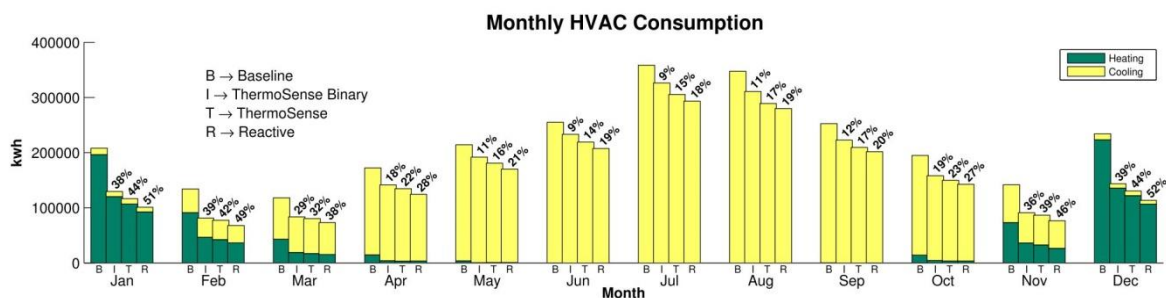


Abbildung 26. Vergleich der monatlichen Heiz- und Kühlenergie für verschiedene Steuerungsvarianten. Quelle: [40, p. 7].

Die Ergebnisse sind aufgeschlüsselt nach Monat dargestellt in Abbildung 26. Zu beachten ist, dass die reaktive Variante R) (d.h. ohne Vorhersage) über das ganze Jahr am wenigsten Energie benötigt. Die Autoren weisen diesbezüglich darauf hin, dass mit dieser Variante die Räume nicht vorkonditioniert werden und der Raumkomfort deshalb oft nicht eingehalten werden kann.

In der Studie [27] wird ein videobasiertes System untersucht. Das System ermittelt die Belegung eines Raums, sagt dessen Belegung voraus, und berechnet den damit verbundenen Energiebedarf mit dem Ziel, proaktiv den Energieverbrauch zu optimieren. Räume werden auf diese Weise bedarfs- und zeitgerecht konditioniert. Die Autoren verkünden Energieeinsparungen von 8.8% bei Gebäuden mit normalem Belegungsgrad und 20% bei tiefem Belegungsgrad.



Integration von Daten aus Zeitplanmanagement-Systemen

In der Studie [26] wurden u.A. Outlook-Kalender-Daten verwendet, um Sitzungszimmer entsprechend der erwarteten Auslastung zu konditionieren. Das Einsparpotential bei der Kühlung und Beleuchtung, im Verhältnis zu einem fixen Zeitschaltprogramm, wird mit 25.7% beziffert. Die kalenderbasierte Variante schneidet, im Vergleich zu einer Variante mit PIR, um 4% schlechter ab. Die Autoren vermuten, dass die kalenderbasierte Variante nicht zufriedenstellend ist, weil Sitzungen oft abgesagt und die Räume nicht dem Kalender entsprechend genutzt werden. Weiter wurde die Anzahl Stunden pro Tag ermittelt, wo die Komfortvorgaben nicht eingehalten werden. Auch hier schneidet die PIR-Variante besser ab mit 2.38h/d. Die kalenderbasierte Variante erreicht 3.26h/Tag.

In der Praxis werden Zeitplanmanagement-Systeme schon heute eingesetzt zur Steuerung der Gebäudetechnik, beispielsweise in der Hotellerie oder in Schulen. Die Studie [42] untersuchte das Einsparpotential einer am Markt verfügbaren Lösung, welche die Integration von Kalender-Daten in BACnet ermöglicht. Simuliert wird in der Studie ein kleines, fiktives Schulgebäude. Das Einsparpotential wird im Vergleich zu einem fixen Zeitschaltprogramm ermittelt und beläuft sich auf 8.3% für ein unsaniertes Gebäude bzw. auf 16.4% für ein saniertes Gebäude.

4.2.4 Steuern nach Position

Bei der Steuerung nach Position wird der Standort der anwesenden Personen berücksichtigt. Die Studie [43] schlägt ein smartes Beleuchtungssystem für den Wohnbau vor. Zur Erkennung der Position werden 3D-Kamerasysteme eingesetzt. Die Beleuchtung wird anhand der Position und Blickrichtung von Personen gesteuert. Bspw. werden in Anwesenheit von gehenden Personen nur Leuchten in der unmittelbaren Umgebung der Personen eingeschaltet, sowie Leuchten in den jeweiligen Blickrichtungen. Leuchten, die sich hinter den Personen befinden, werden verdunkelt. Da dieses Verhalten nur beim Gehen erwünscht ist, erkennt das System zusätzlich die Aktivität der Personen (Abschnitt 4.2.5).

4.2.5 Steuern nach Tätigkeit

Bei der Steuerung nach Tätigkeit wird die Aktivität der anwesenden Personen berücksichtigt. Dabei kann es sich bspw. um eine Gangart (gehen, laufen, sitzen) oder um eine Beschäftigung (sprechen, schreiben, denken) handeln.

Wohnbau

In der bereits erwähnten Studie [43] wurde zusätzlich zur Position (Abschnitt 4.2.4) auch die Tätigkeit anhand von 3D-Kameras erkannt. Damit werden die Helligkeit und Farbtemperatur der Beleuchtung verändert: Lesen (650lx, 7'000K), Diskussion (400lx, 5'000K), Fernsehen (Anpassung ans Fernsehbild), Gehen (Anpassung an Position und Blickrichtung), Ruhen (300lx, 4'000K). Die Autoren weisen, je nach Tätigkeit, Energieeinsparungen zwischen 37-51% aus.

Die Autoren von [44] zeigen auf, wie über PIR-Sensoren und Türkontakte verschiedene Tätigkeiten erkannt werden können. Damit lassen sich im Wohnbau etwa 28% Heiz- und Kühlenergie einsparen.

Zweckbau

Die Studien [28, 45] konzentrieren sich auf den Dienstleistungssektor. Mittels PIR-Sensoren und Strommessungen des Computer-Bildschirms werden pro Arbeitsplatz drei Zustände (langfristig Abwesend, temporär Abwesend, Anwesend) und zwei Tätigkeiten (Schreibtischarbeit, Computerarbeit) ermittelt. Die Tätigkeit wird dabei über den Stromverbrauch des Bildschirms (Standby oder Normalbetrieb) erkannt. Weiter liefert das System eine Personenzählung pro Raum. Die Studie weist die Erfassungsgenauigkeit für jeden Zustand aus und zeigt auf, dass das System nach einer



Lernphase von etwa zwei Tagen verlässliche Resultate liefert. Bei der Beleuchtung zeigen die Autoren, dass im Vergleich zu einer klassischen Präsenzsteuerung auf Raumebene mit einer Einzelplatzsteuerung 63.2% Energie eingespart werden kann. Weitere 21.9% Energie lassen sich einsparen, wenn die Tätigkeit der Personen mitberücksichtigt wird. Dadurch wird der Helligkeitssollwert am Arbeitsplatz entsprechend der Aktivität verändert.

Auch mögliche Einsparungen bei der HLK-Technik wurden in den Studien [28, 45] untersucht. Dazu wurde der Versuchsraum durch Gebläsekonvektoren konditioniert. Die Simulationen zeigen, dass die Einsparungen zwischen einer Ansteuerung mittels Raumpräsenzmeldern (Ventilator 0% oder 100%) und einer stetigen Ansteuerung mittels Personenzählung etwa 19% betragen. Dieses Ergebnis ist jedoch mit Vorsicht zu geniessen, da kein Vergleich gemacht wird mit einer Luftqualitätsgeführten Regelung.

In der Studie [46] wird die Personenerfassung über RFID-Tags sichergestellt. In jeder thermischen Gebäudezone wird die Anzahl der anwesenden Personen gezählt. Aufgrund dieser werden die HLK-Systeme optimiert. Energetische Aussagen sind in der Studie nicht zu finden. Es ist aber erwähnenswert, dass aufgrund der RFID-Daten die Tätigkeiten Laufen, Stehen und Sitzen bestimmt werden konnten.

4.2.6 Steuern nach Individuum

Bei der Steuerung nach Individuum wird die Identität der anwesenden Personen berücksichtigt. Es wird also erkannt, wer sich gegenwärtig im Raum befindet.

Personalisiertes Raumklima

In der Studie [47] wird ein System vorgeschlagen, das Raumsollwerte dynamisch anhand eines Modells und der aktuellen Raumkonditionen bestimmt. Dabei soll einerseits der Energieaufwand minimal sein, und gleichzeitig der individuelle Komfortanspruch der Raumbenutzer eingehalten werden. Die Studie zeigt an einem Praxisbeispiel, dass das Komfortempfinden sehr individuell ist. Es wurde zudem ein Modell entwickelt, womit das Komfortempfinden quantifiziert werden kann. Die Nutzer konnten damit eine Rückmeldung abgeben zu ihrem jeweiligen Komfortempfinden. Im Endeffekt sollten die Sollwerte von gebäudetechnischen Komponenten entsprechend dem Feedback angepasst werden (d.h. so, dass das Komfortempfinden maximal ausfällt). Für jede Person konnte auf diese Weise ein individuelles Energiesparpotential berechnet werden.

Aufgrund der Identität der Anwesenden Personen können Räume oder Segmente spezifisch auf die Komfortbedürfnisse der Nutzer abgestimmt werden. Bewegt sich ein Nutzer durch verschiedene Segmente, so werden die entsprechenden Komfoteinstellungen nachgeführt¹⁶. Bei grösseren Nutzflächen, bspw. Grossraumbüros, muss jeweils ein Kompromiss ermittelt werden. Ein ähnliches Modell wurde in der Studie [48] verfolgt. Hier wirken sich individuelle Rückmeldungen aus auf die Beschattungssteuerung. Je nach persönlichen Präferenzen kann die Steuerung beispielsweise im Winter zusätzliches Tageslicht im Raum zulassen.

4.2.7 Nachlaufzeiten

Die Nachlaufzeiten von PIR-Sensoren und deren Einfluss auf den Energieverbrauch der geschalteten Anlagen sind Bestandteil mehrerer Studien. Die Autoren der Studie [49] haben den Energieverbrauch der Beleuchtung mit unterschiedlichen Zeitverzögerungseinstellungen untersucht. In Abhängigkeit der Zeitverzögerung (zwischen 5 - 20 Minuten), konnten Einsparungen bis zu 50% in Einzelraumbüros und bis zu 86% in WC-Anlagen erreicht werden. Ein anderer Lösungsansatz ist die dynamische Anpassung der Nachlaufzeiten an die Nutzung. In der Studie [50] wird die Verbindung von PIR-Daten

¹⁶ Die Nachführung in Echtzeit der Komfoteinstellungen ist nur bei Systemen mit geringer Trägheit möglich.



mit einem RFID-basierten Tracking-System vorgeschlagen. Letzteres ermittelt den Laufweg der Personen im Raum. Mit dieser Lösung wurden Energieeinsparungen um 13% nachgewiesen.

4.3 Verbesserung der Energieeffizienz durch die erweiterte Präsenzerfassung

In diesem Abschnitt werden unterschiedliche Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz durch die erweiterte Präsenzerfassung vorgestellt. Die Ergebnisse sind nach Disziplin strukturiert und stützen sich ab auf dem Stand der Technik (Abschnitt 4.2).

4.3.1 Allgemeines

Das Energiesparpotential im Gebäude hängt von zahlreichen Faktoren ab. Der Nachweis von Energieeinsparungen mit Hilfe von Simulationen oder Praxisversuchen ist aufwändig und komplex [32]. Die Einsparungen hängen ab vom untersuchten Gebäude (Typ, Nutzung, Standort, Hülle usw.), der Gebäudetechnik, der Regelung und dessen Funktionen / Einstellungen sowie dem Nutzerverhalten. Entscheidend ist zudem, welche Werte als Vergleichsbasis dienen. Die Recherche im Abschnitt 4.2 hat aufgezeigt, dass in zahlreichen Studie klassische Zeitschaltprogramm oder die manuelle Bedienung als Vergleichsgrundlage dienen. So lassen sich zunächst einmal beträchtliche Einsparungen ausweisen. Allerdings widerspiegeln diese Annahmen nicht unbedingt den aktuellen Stand der Technik der Gebäudeautomation. Dieser ist wiederum in unterschiedlichen Ländern verschieden.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass in Publikationen das Energiesparpotenzial oft ausgedrückt wird als Prozentsatz der aufgewendeten Energie. Ohne Kenntnis der zugrundeliegenden, absoluten Werte ist der Vergleich von unterschiedlichen Studien damit schwierig. Zudem sind keine Rückschlüsse möglich auf die absoluten Einsparungen (in kWh). Weiter werden in den Studien nur selten unterschiedliche Gebäudestandards berücksichtigt, bspw. Altbau und Neubau. Im Endeffekt ist es äusserst schwierig, die Ergebnisse aus unterschiedlichen Studien quantitativ zu vergleichen und deren Praxisrelevanz abzuschätzen. Trotzdem können Bereiche und Anwendungen identifiziert werden, die ein Potential aufweisen bezüglich der Energieeffizienz.

Nutzereinfluss

Je besser Gebäude gebaut werden, desto stärker wirkt sich das Nutzerverhalten im Betrieb auf den Energieverbrauch aus. Wie gross dieser Einfluss tatsächlich ist, hat ein Bericht des World Business Council for Sustainable Development aufgezeigt [51]. Unachtsames Verhalten führt zu einem Drittel mehr Energieverbrauch im Vergleich zum Planungswert, während sich durch ein energiebewusstes Verhalten bis zu einem Drittel der Energie einsparen lässt (Abbildung 27).

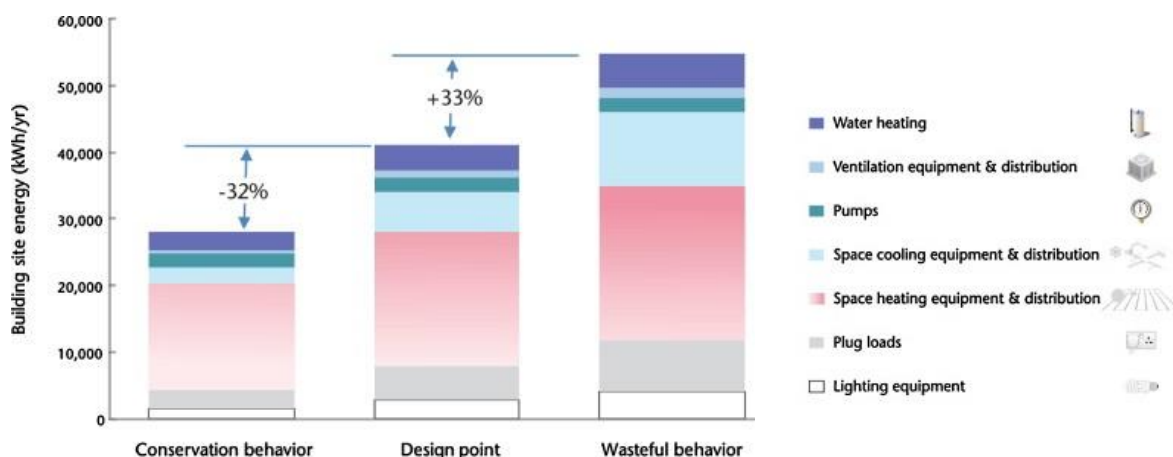


Abbildung 27: Auswirkung des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch im Wohnbau. Quelle [51].

Diese Beobachtung trifft besonders stark auf Geschäftsgebäude zu, wo die Nutzer nicht unmittelbar für die Energiekosten aufkommen [11]. Ein interessantes Beispiel liefert ein Experiment der Firma 3M in einem eigenen Bürogebäude [52]. Die Büroangestellten wurden per Email regelmässig aufgefordert, alle unbenutzten Geräte, Leuchten usw. auszuschalten. Das Ergebnis dieser einfachen Massnahme ist beeindruckend: nach dem Versand der Emails sank die bezogene, elektrische Leistung innerhalb von 15 Minuten von 15 MW auf 13 MW, und weiter auf 11 MW in den folgenden zwei Stunden.

Verschiedene Studien haben aufgezeigt, dass das Energiesparpotential von wenig frequentierten Räumen / Segmenten grösser ist als an stark frequentierten Orten [30, 34]. Einerseits hängt dies mit der Tatsache zusammen, dass auch wenig besuchte Räume oft ganztags auf Komfortsollwerten betrieben werden. Andererseits haben die Autoren von [34] und [53] aufgezeigt, dass unnötige Energiebezüge vor allem durch Geräte verursacht werden, die bei Leerstand in Betrieb bleiben (bspw. PC, Beamer).

Diese Beispiele zeigen das Sparpotential der erweiterten Präsenzerfassung auf. Zwar führen Investitionen in die Sanierung und den Ersatz von älteren Anlagen und Geräten zu grösseren Einsparungen als Nutzerverhaltensänderungen [54]. Die erweiterte Präsenzerfassung erlaubt es aber, dem Nutzer Entscheidungen abzunehmen und mit Hilfe von bedarfsgesteuerten Systemen die Energieeffizienz und Leistungsfähigkeit von Gebäuden automatisiert zu verbessern. So kann auf aufwändige Nutzerinterventionen (d.h. Beeinflussung des Nutzerverhaltens, bspw. über Vorschriften) verzichtet werden, und die Gefahr eines Rebound-Effektes¹⁷ besteht nicht [54].

Weiter ist vielen Gebäudenutzern im Dienstleistungs- wie auch im Wohnsektor der Einfluss des eigenen Handelns auf den Energieverbrauch noch zu wenig bewusst. In Abwesenheit dieses Bewusstseins können keine Verhaltensänderungen herbeigeführt werden [54]. Eine Reihe von Studien befasst sich deshalb mit Lösungen, um den Energieverbrauch von Beleuchtungs- und HLK-Anlagen mit Hilfe von Präsenzdaten automatisch zu reduzieren. Bspw. wird beim Verlassen des Arbeitsplatzes der Computer automatisch in den Standby-Modus versetzt. Entsprechend muss der Nutzer sein Verhalten nicht verändern, um Energie einzusparen.

¹⁷ Der Rebound-Effekt bezeichnet die Tatsache, dass eine verbesserte Energieeffizienz zu Veränderungen des Nutzerverhaltens führen kann, welche ihrerseits den Energieverbrauch erhöhen. Im Extremfall werden dadurch die Einspareffekte komplett zunichtegemacht.



Energiesparmöglichkeiten

Energieeinsparungen können bei HLK-Anlagen erreicht werden, indem Temperaturunterschiede zwischen den klimatisierten Bereichen und dem Aussenklima verringert, Luftvolumenströme reduziert und Betriebszeiten verkürzt werden [19].

Bei der Beleuchtung können die Helligkeitssollwerte an die jeweilige Tätigkeit angepasst werden, und es sollten nur belegte Arbeitsbereiche beleuchtet werden [12]. Zudem können tageslichtabhängige Steuerungen die Beleuchtung in jenen Bereichen dimmen oder ganz ausschalten, wo genügend Tageslicht vorhanden ist (Konstantlichtregelung).

Die Metastudie [23] bietet einen umfassenden Überblick über Forschungsanstrengungen im Bereich der intelligenten Gebäudetechnik, mit dem Fokus auf Energieeinsparung und die Erkennung von Nutzeraktivitäten. Für HLK-, Licht- und Elektroanlagen (Steckdosen) werden die wichtigsten Lösungsansätze und deren Energiesparpotenzial aufgezeigt.

4.3.2 Heizung, Kühlung

Temperaturabsenkung

In der Studie [55] wird die präsenzabhängige Temperaturabsenkung in einem Gebäude mit Kühlanlage untersucht. Im Sommer wird ein Kühlsollwert bei Anwesenheit von 22°C und bei Abwesenheit von 26°C vorgegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass Einsparungen von 10-15%, je nach Parametrisierung des Algorithmus, möglich sind. Die Studie [32] berechnet für verschiedene Gebäudetypen mit integralen Raumautomationssystemen die Ersparnis, die durch eine Spreizung der Heiz- und Kühlsollwerte um ca. 1.5°C erreicht werden kann. Dabei werden Werte von 6-16% erreicht.

Wohnbau

Im Wohnbau wird viel Energie aufgewendet zur Erzeugung von Raumwärme (Tabelle 3). Präsenzmelder werden dagegen nur selten eingesetzt. Eine Übersicht möglicher Algorithmen und Systeme zur Berücksichtigung der Präsenz im Wohnbau ist der Studie [19] zu entnehmen. Mit der konventionellen Präsenz lassen sich jährliche Energieeinsparungen von 6-17% erreichen (in Abhängigkeit vom Gebäudetyp).

Die Problematik der nicht aktualisierten Zeitschaltprogramme (Abschnitt 4.2.1) existiert auch im Wohnbau, u.A. bei Heizthermostaten und Lüftungsgeräten. Bei der Inbetriebsetzung solcher Geräte werden häufig die Standardeinstellungen des Herstellers beibehalten, anstatt die Geräte der Nutzung entsprechend einzustellen [56]. Daten aus der erweiterten Präsenzerfassung und die Vorhersage der Präsenz (Abschnitt 0) können dazu beitragen, Zeitschaltprogramme und weitere Parameter an die Gegebenheiten anzupassen.

Die Temperaturabsenkung bei Abwesenheit wird im Wohnbau aktuell nur durch Smart Home-Systeme oder smarte Thermostaten unterstützt. Die häufig eingesetzten Thermostatventile bzw. Raumthermostaten arbeiten hingegen unabhängig von der Belegung. Die Temperaturabsenkung bei Abwesenheit bietet ein grosses Energiesparpotential. Dazu sind nicht zwingend komplexe Sensorsysteme nötig. Zwei einfache Lösungen zur Präsenzerkennung in Wohngebäuden wurden im Abschnitt 0 vorgestellt. Der Einfluss der Temperaturabsenkung nimmt allerdings im Neubau, wo i.d.R. gut isolierte Gebäude vorzufinden sind, stetig ab aufgrund der hohen Trägheit.

Zweckbau

Bei Neubauten mit einer integralen Raumautomation hat die erweiterte Präsenz nur einen geringen Einfluss auf den Energiebedarf der Heizung und Kühlung (Abschnitt 4.2.1). Ein höherer Stellenwert kommt der Vorhersage der Präsenz zu (Abschnitt 0). Dadurch wird selbst in trägen Gebäuden eine



dynamische Anpassung des Energieniveaus (Tabelle 10) an die Belegung möglich. Entsprechende Vorhersagen lassen sich auch aufgrund konventioneller Präsenzdaten treffen.

Die Firma Locatee, ein Anbieter von Lösungen zur Analyse der Arbeitsplatzbelegung, gibt an, dass Büroflächen im Mittel nur zu 50% genutzt werden. Folglich ist ein grosses Energiesparpotential gegeben durch die Abschaltung von einzelnen Gebäudeteilen oder Stockwerken. Dieser Umstand sollte bereits in der Planung berücksichtigt werden, indem die Abschaltung ganzer Anlagenteile ermöglicht wird.

Integration von Kalenderdaten

In Abbildung 9 ist ersichtlich, dass in Schulen ein überdurchschnittlich hoher Anteil des spezifischen Endenergieverbrauchs auf die Heizung zurückzuführen ist. Gemäss der Studie [42] ist dies durch den Umstand bedingt, dass i.d.R. fixe Zeitschaltprogramme verwendet und die Gebäude damit unabhängig von der effektiven Unterrichtstätigkeit beheizt werden. Die Berücksichtigung von Kalenderdaten und die Umrüstung auf eine Einzelraumregulierung ermöglicht in solchen Objekten, je nach Sanierungsstand des Gebäudes, zwischen 8-16% Einsparung.

Ähnlich sieht die Ausgangslage bei Sitzungszimmern aus. Sitzungen werden allerdings oft nicht abgehalten oder spontan in andere Räume verlegt. Die Nutzung von Kalenderdaten ist in diesem Fall deshalb kritischer zu betrachten. Die Autoren der Studie [22] schlagen ein System zur Optimierung der Nutzung von Sitzungszimmern vor. Dabei werden den Sitzungsteilnehmern jeweils Räume zugeteilt, deren Kapazität der Anzahl Teilnehmer entspricht und wo nach Möglichkeit durchgehend Sitzungen abgehalten werden können. Im Mittelpunkt der Optimierung steht die Energieeffizienz. Nutzerpräferenzen bezüglich der Raumtemperatur und Beleuchtungsstärke werden ebenfalls berücksichtigt. In der Studie konnten in Praxistests Energieeinsparungen von 12% sowie ein um 5% gesteigertes Komfortempfinden nachgewiesen werden.

4.3.3 Lüftung

Wohnbau

Wohnungslüftungsgeräte werden meist über Zeitschaltprogramme gesteuert. Diese sind, wie bereits erwähnt, oft nicht an die tatsächliche Nutzung angepasst. Um diesen Nachteil zu umgehen, können die Lüftungsgeräte aufgrund von Präsenzinformation gesteuert und optimiert werden. Dies ist jedoch nicht erforderlich, weil sich ein gleichartiges Verhalten vermutlich durch die CO₂-geführte Regelung erreichen lässt – entsprechende Studien konnten leider nicht gefunden werden. Deshalb ist die Nutzung der erweiterten Präsenz für die kontrollierte Wohnungslüftung aus Sicht der Autoren nicht sinnvoll.

Zweckbau

Mehrere Studien kommen zum Ergebnis, dass die Messung in Echtzeit des Belegungsgrads (d.h. Anzahl Personen) im Falle der Lüftung sinnvoll ist und eine CO₂-geführte Regelung ergänzen sollte [27, 29, 30]. Allerdings werden in den Studien die Einsparungen der CO₂-geführten Regelung nicht quantitativ mit denjenigen der präsenzgeführten Steuerung verglichen. Es ist zu vermuten, dass mit der präsenzgeführten Variante geringfügige, zusätzliche Einsparungen möglich sind, weil sich damit der Betrieb noch genauer auf den Bedarf abgestimmt wird.

In der Studie [40] werden Luftvolumenströme verglichen, die sich aufgrund von verschiedenen Präsenzerfassungsverfahren ergeben (Abbildung 28). Mit einer herkömmlichen, reaktiven Strategie basierend auf PIR-Daten liegt der Luftvolumenstrom im Durchschnitt 170% über dem effektiv notwendigen Luftvolumenstrom. Bei der zusätzlichen Berücksichtigung der Anzahl Personen fällt dieser Wert auf 3.25%. Allerdings wird in der Studie kein Vergleich angestellt mit einer CO₂-geführten



Strategie. Auch wird der Einfluss des überschüssigen Volumenstroms auf die aufgewendete Energie nicht untersucht.

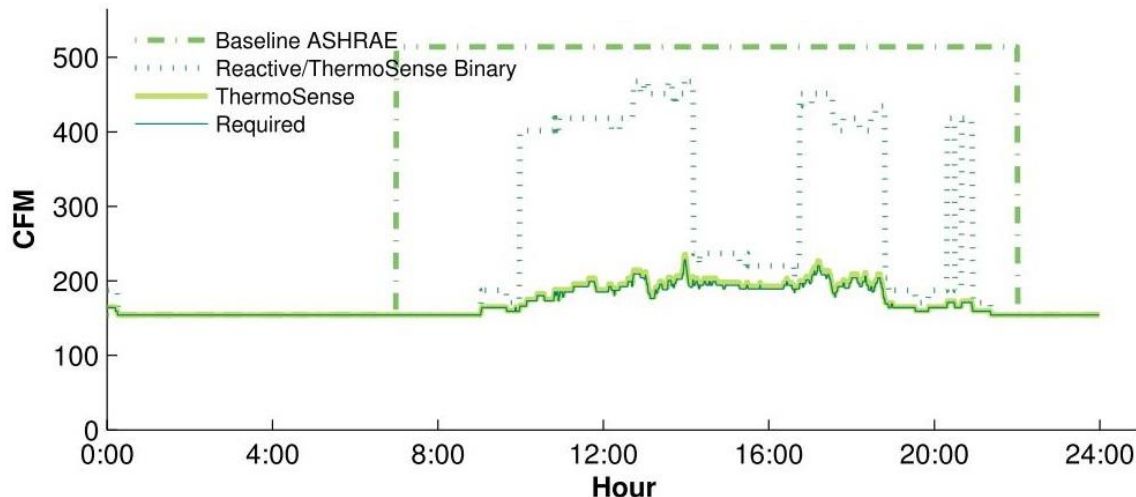


Abbildung 28. Vergleich von Volumenströmen aufgrund von verschiedenen Präsenzerfassungsverfahren. Baseline ASHRAE = fixes Zeitschaltprogramm; Reactive / ThermoSense Binary = konventionelle Präsenz mit Präsenzvorsage; ThermoSense = Anzahl Personen mit Belegungsvorsage; Required = effektiv notwendiger Luftvolumenstrom. Quelle: [40, p. 8].

Grossraumbüros

Die bisherigen Betrachtungen der Energieeinsparungen im HLK-Bereich beziehen sich auf die Gebäude- oder Raumebene. Weitläufige Grossraumbüros haben grosse, thermische Zonen zur Folge. Mit einer klassischen Raumregulierung können Teilbereiche dieser Zonen nicht unabhängig voneinander geregelt werden. Deshalb wird oft der Mittelwert aller vorhandenen Messungen verwendet zur Regelung des gesamten Raums. Die Autoren der Studie [57] schlagen einen anderen Weg ein. Sie zeigen auf, dass es möglich ist in grossen Freiflächen isolierte, thermische Umgebungen zu schaffen mittels Lüftungs-Schlitzauslässen und zentralen Abluftöffnungen. So gewinnen die Nutzer mehr Kontrolle über ihre Umgebung, und die bedarfsorientierte HLK-Regelung / Steuerung wird auch in grossen Räumen sinnvoll (Abschnitt 4.2.6). In Simulationen (Thermik und Luftströmung) errechnen die Autoren Energieeinsparungen bei der Kühlung von 12%. Diese werden dadurch erreicht, dass in unbelegten Zonen der Sollwert um 2°C angehoben wird. Um diese Lösung, sind die Personen im Raum zu lokalisieren mittels erweiterter Präsenz. Zudem sollten bei der Sollwertvorgabe individuelle Nutzerbedürfnisse berücksichtigt werden.

4.3.4 Beleuchtung

In einer Metastudie [12] werden unterschiedliche Beleuchtungssysteme miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits die Verbindung einer tageslichtabhängigen Steuerung (Konstantlichtregelung) mit der konventionellen Präsenzerfassung zu Einsparungen von 35-68% führen kann, im Vergleich zur manuellen Steuerung der Beleuchtung. Der Einfluss der erweiterten Präsenz wurde in dieser Studie nicht untersucht.

Stehleuchten am Arbeitsplatz

In Büroräumlichkeiten kommen zunehmend Stehleuchten mit integrierten Helligkeits- und Präsenz-Sensoren zum Einsatz. Die gelieferte Information kann zur Bestimmung der erweiterten Präsenz verwendet werden. In der Studie [28] wird die Erkennung von Personen und deren Aktivität an einzelnen Arbeitsplätzen untersucht. Das Licht am Arbeitsplatz wird entsprechend der Tätigkeit



gedimmt: bei Computerarbeit weniger hell als bei Schreibtischarbeit¹⁸. Auch werden verschiedene Regelstrategien untereinander verglichen. Die energetischen Einsparungen der Beleuchtung bei der Umschaltung von der Strategie «Präsenz pro Raum» nach «Präsenz pro Arbeitsplatz» liegt bei 63%. Weitere 21% können eingespart werden, wenn zusätzlich die Tätigkeit erfasst und der Helligkeitssollwert dementsprechend angepasst wird.

In einer anderen Studie [58] wird der Einfluss der Schwarmintelligenz auf den Energieverbrauch bei der Beleuchtung untersucht. Dabei werden Arbeitsplatzbeleuchtungen untereinander vernetzt und so betrieben, dass die belegten Arbeitsplätze jeweils mit voller Leistung und die angrenzenden Arbeitsplätze mit reduzierter Leistung beleuchtet werden. Dadurch entsteht ein angenehmer «Lichtinsel-Effekt», bei gleichzeitig reduziertem Energiebedarf. Leider wird der Energieverbrauch der Schwarmintelligenz in der Studie nicht verglichen mit konventionellen Lösungen (bspw. Präsenz pro Raum oder Segment). Es lassen sich also keine quantitativen Aussagen machen diesbezüglich.

Generell werden in zunehmendem Masse individuelle Arbeitsplatzleuchten benutzt und entsprechend den persönlichen Vorlieben der Nutzer eingestellt. In einer weiteren Metastudie [59] werden 88 Papers untersucht auf das Einsparpotential von personalisierten Einstellungen, im Vergleich zu Standardwerten. Es werden Einsparungen von 31% ausgewiesen. Allerdings wird nicht im Detail beschrieben, wie die Vergleiche angestellt wurden.

4.3.5 Beschattung

Aussenliegende Beschattungseinrichtungen (bspw. Jalousien) werden sowohl zum Schutz vor thermischer Einstrahlung als auch als Blendschutz eingesetzt. Aus Sicht des Energieverbrauchs sind innenliegende Elemente (bspw. lichtdurchlässige Vorhänge, Rollos) für den Blendschutz jedoch besser geeignet. Damit kann im Winter die solare Strahlung in den Raum gelangen und dieser dadurch aufgeheizt werden kann.

Beschattungsstrategien

Gemäss der Norm SIA 180/1 [60] müssen Beschattungselemente bei einer Solarstrahlung höher als 200 W/m^2 geschlossen werden. Allerdings akzeptieren Raumnutzer diese Praxis oft nicht und übersteuern stattdessen die Jalousiesteuerung, damit zusätzliche Sicht nach Aussen gewährleistet wird [61]. Zudem werden in Mitteleuropa Jalousien in Zweckbauten oft gleichzeitig als Blendschutz verwendet [62]. Aus diesen Gründen wird bei der Gebäudeautomation i.d.R. zwischen einer Blendschutz-optimierten und einer thermisch-optimierten Steuerung unterschieden¹⁹. Die Blendschutz-optimierte Steuerung ist nur erforderlich, wenn der Raum belegt ist. Bei Abwesenheit sollte stattdessen die thermisch-optimierte Steuerung eingesetzt werden. Eine Lösung, die beide Steuerstrategien miteinander verbindet, wird in der Studie [63] vorgestellt (Abbildung 29). Damit ist es möglich, Beschattungselemente in belegten Segmenten Blendschutz-optimiert anzusteuern. Gleichzeitig werden unbelegte Bereiche thermisch-optimiert angesteuert. Die Raumbellegung (d.h. Position der Personen) kann über die erweiterte Präsenzerfassung bestimmt werden.

¹⁸ . In dieser Arbeit wird die Norm SN/EN 12464-1 [58] folgendermassen interpretiert: Bei Bildschirmarbeit darf die Beleuchtung am Arbeitsplatz reduziert werden.

¹⁹ Diese Thematik wird in der Studie [61] im Detail behandelt.



Abbildung 29. Optimale Tageslichtnutzung mit Blendschutz. Bild: [64, p. 1517].

Proaktive Umschaltung der Steuerung

Die Umschaltung von der thermisch-optimierten zur Blendschutz-optimierten Steuerung bei Belegung wird durch moderne Automationssysteme bereits unterstützt. Als Auslöser für die Umschaltung wird die Präsenz in Räumen bzw. Segmenten verwendet. Diese wird durch konventionelle Präsenzmelder ermittelt.

Diese Lösung stösst aber in der Praxis auf wenig Akzeptanz. Ein möglicher Grund ist gemäss den Autoren der Studie [62] die fehlende Sicht nach Aussen im Falle der Blendschutz-optimierten Steuerung. Ein weiterer Grund können Verzögerungen sein: wenn eine Person den Raum betritt und sich daraufhin die Beschattungselemente bewegen, kann dies als störend empfunden werden. Diesen Umständen könnte durch die Berücksichtigung der erweiterten Präsenz Rechnung getragen werden. So kann die Position von Personen genutzt werden, um deren Laufweg durchs Gebäude vorauszusagen und die Umschaltung der Steuerung schon vor Betretung des Raums einzuleiten.

Schattenkantennachführung aufgrund der Position

Die Nutzung von Tageslicht rückt zunehmend in den Fokus der Gebäudeautomation. Entsprechend werden die Beschattungsanlagen immer öfter mit der Beleuchtung, Heizung und Kühlung kombiniert. Die Aufgabe dieser integralen Systeme ist es, Stellungen (Position und ggf. Winkel der Beschattungselemente) zu bestimmen, die den Energieverbrauch der Heizung, Kühlung und Beleuchtung gemeinsam minimieren. Eine entsprechende Methode wird in der Studie [64] vorgestellt. Solche Methoden können mit der erweiterten Präsenzerfassung kombiniert werden, um die Regelung noch feiner auf die Nutzerbedürfnisse abzustimmen.



4.3.6 Elektro

Die Autoren von [65] setzten ein hochpräzises Lokalisationssystem ein, um während einer 60-tägigen Versuchsperiode die Computer von 40 Personen anhand deren Position automatisch in den Standby-Modus zu versetzen. Die Ergebnisse zeigen, dass damit pro Tag und Computer 140 Wh Energie eingespart werden können. Die Autoren bemerken weiter, dass die Nutzer von einer solchen Lösung nichts mitbekommen dürften und der Computer beim Erreichen des Arbeitsplatzes bereits einsatzbereit sein muss.

4.3.7 Sanitär

Die Auswirkungen der erweiterten Präsenzerfassung auf Anwendungen im Sanitärbereich wurden nicht untersucht.

4.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde der Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung untersucht. Zunächst wurden mögliche Anwendungen erörtert. Diese können aufgegliedert werden in fünf Anwendungsbereiche: Energie, Komfort, Sicherheit, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Anschliessend wurde der Stand der Technik zur Nutzung der Präsenz zusammengefasst. Daraus wurden Angaben abgeleitet zur Verbesserung der Energieeffizienz durch die erweiterte Präsenzerfassung. Die wesentlichen Schlussfolgerungen sind in der Folge zusammengefasst.

Wohnbau

- Die Erfassung der erweiterten Präsenz ist im Wohnbau für die Raumheizung nicht sinnvoll, weil sie keinen energetischen Nutzen mit sich bringt und im Hinblick auf Komfort, Sicherheit, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit wenig Vorteile bietet. Für kontrollierte Wohnungslüftungen ist der Einsatz zu prüfen
- Umgekehrt ist die konventionelle Präsenzerfassung im Wohnbau aus energetischer Sicht sehr sinnvoll. Damit lassen sich, im Vergleich zu Zeitschaltprogrammen und der manuellen Ansteuerung der Anlagen, signifikante Einsparungen erzielen
- Es existieren einfache und unaufdringliche Lösungen zur Erfassung der Präsenz im Wohnbereich, bspw. über elektrische Smart Meter
- Der Einsatz smarter Thermostaten wird ebenfalls als sinnvoll erachtet, weil diese das Nutzerverhalten berücksichtigen und dadurch Energieeinsparungen erzielen

Zweckbau

- Die präsenzabhängige Anpassung von Sollwerten (d.h. Absenkung bei Nichtbelegung) ist aus energetischer Sicht sehr wichtig. Diese kann über die konventionelle Präsenz gelöst werden
- Bei der Heizung und Kühlung ist die Vorhersage der Anwesenheit wichtig für die komfortgerechte Vorkonditionierung von Räumen. Die erweiterte Präsenz bringt diesbezüglich keinen signifikanten Mehrwert
- Bei der Lüftung (VAV) stellt der Belegungsgrad eine nützliche Zusatzinformation dar als Ergänzung zur geläufigen, luftqualitätsgeführten Regelung
- Im Grossraumbüro macht die Konditionierung von einzelnen Raumteilen aus energetischen und Komfortgründen Sinn, sofern umsetzbar
- Die effiziente Nutzung von Räumlichkeiten (d.h. Kapazität von Räumen optimal ausschöpfen) ist aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht wichtig



- Die Abschaltung von elektronischen Geräten (Steckleisten, PC) bei Abwesenheit ist wichtig
- Innenraum-Positionierungssysteme könnten sinnvoll eingesetzt werden, um gewisse Handlungen auszulösen, bevor eine Person den Raum oder ihren Arbeitsplatz betritt: PC hochfahren, Jalousien in Blendschutz-Position bringen usw.
- Die Arbeitsplatzbeleuchtung im Grossraumbüro soll nach der Belegung gesteuert werden
- Ein personalisiertes Raumklima (Temperatur, Beschattungsposition, Beleuchtungsstärke) ist wichtig für den Komfort

Schulen

- An Schulen lässt sich durch die Berücksichtigung der Belegung (bspw. über Kalender) besonders viel Heizenergie einsparen
- Die Erkennung der Anzahl Personen in Schulzimmern und entsprechende Anpassung der Lüftungsintensität würde aus gesundheitlichen Gründen Sinn machen

Dienstleistungssektor

- Zum Detailhandel wurden kaum Studien gefunden, obwohl nationale Daten zum Gebäudepark sowie internationale Verbrauchsdaten für diesen Sektor sehr hohe, spezifische Verbräuche ausweisen

Nicht energierelevante Nutzungen der erweiterten Präsenz

- Zahlreiche Anwendungen der erweiterten Präsenz sind möglich. Siehe Tabelle 9



5 Handlungsempfehlungen

Gestützt auf den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit werden in diesem Kapitel Handlungsempfehlungen abgegeben zur Weiterentwicklung von Präsenzmeldern und zum Einsatz der erweiterten Präsenz im Gebäude. Die Empfehlungen richten sich an Hersteller von Präsenzmeldern und an Fachplaner bzw. Elektrounternehmer.

Für Hersteller

- Sensoren zur Erfassung der erweiterten Präsenz dürfen sich nicht massgeblich unterscheiden von konventionellen Sensoren (z.B. PIR). Dies gilt insb. in Bezug auf Preis, Aussehen, Schnittstellen, Messeigenschaften, Installation, Inbetriebnahme, Wartung und Betrieb
- Es sollen die in der Gebäudeautomation üblichen Schnittstellen verwendet werden: potentialfreie Kontakte, DALI, KNX, Modbus, BACnet, LON usw.
- Die Platzierung, Ausrichtung und Einstellung der Sensoren darf nicht anspruchsvoll sein. Personen ohne produktspezifische Schulung müssen in der Lage sein, die Installation und Inbetriebnahme durchzuführen
- Es muss ein unterbruch- und wartungsfreier Betrieb der Sensoren sichergestellt werden. Der Ersatz von Batterien in langen Zeitabständen (>1 Jahr) ist u.U. zulässig
- Zur Erfassung der erweiterten Präsenz ist immer die am wenigsten invasive Methode zu wählen. D.h. diejenige Methode, die am wenigsten Aussagen erlaubt zu einzelnen Personen
- Nach Möglichkeit sollen Firmware-Updates vermieden werden. Sind diese unumgänglich muss es möglich sein, Updates vollautomatisiert und ferngesteuert durchzuführen (bspw. über LAN oder WLAN)
- Optische Sensoren sollen sich äusserlich nicht als Kamera zu erkennen geben
- Bei optischen Sensoren sollen nur nicht-personenbezogene oder anonymisierte Daten ausgegeben werden. Die erfassten Bilddaten dürfen i.d.R. nicht ausgegeben werden²⁰
- Invasive Messmethoden (z.B. Wearables) sind für den Einsatz in der Gebäudetechnik nicht geeignet

Für Fachplaner und Elektrounternehmer

- Die Erfassung der erweiterten Präsenz ist im Wohnbau für die Raumheizung nicht sinnvoll. Für kontrollierte Wohnungslüftungen ist der Einsatz zu prüfen
- Die Anzahl Personen kann bei der Lüftung als Ergänzung zu einer CO₂-Messung eingesetzt werden
- Die konventionelle Präsenzerfassung soll im Wohnbau wann immer es sinnvoll ist anstelle von Zeitschaltprogrammen eingesetzt werden. Dasselbe gilt für smarte Thermostaten
- Sollwerte sollen bei Abwesenheit abgesenkt werden. Die Abwesenheit kann über die konventionelle Präsenzerfassung festgestellt werden
- Im Grossraumbüro macht die Konditionierung von Raumteilen Sinn, sofern umsetzbar
- Die effiziente Nutzung von Räumen ist wichtig. Diese kann sichergestellt werden durch die dynamische Zuweisung von Räumen und durch eine bedarfsgerechte Planung

²⁰ Lokal und zum Zweck der Inbetriebnahme ist die Ausgabe von Bilddaten zulässig.



- Am Arbeitsplatz soll die automatische Abschaltung von elektronischen Geräten (Steckleisten, PC) bei Abwesenheit vorgesehen werden
- An Schulen soll die Raumbellegung (gemäss Kalender oder effektiv) durch das Heizsystem berücksichtigt werden
- Die Arbeitsplatzbeleuchtung im Grossraumbüro soll nach der Anwesenheit gesteuert werden
- Die Daten von erweiterten Präsenzmeldern sollen nach Möglichkeit allen Disziplinen (Beleuchtung, Beschattung, HLKSE) und gebäudetechnischen Systemen (GA, Sicherheit, IoT) gemeinsam zur Verfügung gestellt werden. Zu diesem Zweck ist eine API bzw. Ethernet/IP Schnittstelle den geläufigen GA-Protokollen vorzuziehen
- Die Rohdaten der erweiterten Präsenzerfassung (Präsenz, Anzahl, Position, Tätigkeit, ID) sollten immer ausgegeben und abgespeichert werden. Dadurch können unterschiedliche Anwendungen jeweils auf die erforderlichen Daten zurückgreifen



6 Schlussfolgerungen und Ausblick

In diesem Kapitel wird das Fazit der vorliegenden Arbeit gezogen. Im Abschnitt 6.1 sind die wichtigsten Schlussfolgerungen zusammengefasst. Im Abschnitt 6.2 werden mögliche Folgearbeiten angeregt.

6.1 Schlussfolgerungen

Diese Forschungsarbeit hat den Autoren die Möglichkeit gegeben, sich eingehend mit einer vergleichsweise jungen Disziplin der Gebäudetechnik zu beschäftigen: der erweiterten Präsenzerfassung. Dabei wurden Grundlagen zusammengestellt, unterschiedliche Lösungen zur Erfassung untersucht, und der Nutzen im Gebäude anhand einer Literaturrecherche bestimmt. Im Verlauf der Arbeit wurden zahlreiche, teils auch unerwartete, Erkenntnisse gewonnen. Diese sind in der Folge zusammengefasst.

- Obschon der Begriff der erweiterten Präsenzerfassung in der Gebäudetechnikbranche noch nicht etabliert ist, werden bereits an unterschiedlichen Stellen entsprechende Lösungen eingesetzt. Bspw. erfassen einige Firmen in Echtzeit die Position ihrer Mitarbeitenden (bzw. deren mobilen Geräte), um die Belegung von Arbeitsplätzen und Sitzungszimmern zu visualisieren und optimieren. Auch das ergebnisorientierte Facility Management, wo die tatsächliche Nutzung von Räumen und die dadurch entstehenden Verunreinigungen berücksichtigt werden, wurde schon umgesetzt.
- In der Gebäudeautomation (d.h. Steuerung, Regelung, Überwachung und Optimierung von gebäudetechnischen Anlagen) wird die erweiterte Präsenzerfassung bisher kaum eingesetzt. Entsprechend sind keine Erfahrungswerte vorhanden bezüglich des Nutzens, insb. in Bezug auf den Energieverbrauch.
- Bei der Bestimmung des Nutzerverhaltens im Allgemeinen, und bei der erweiterten Präsenzerfassung insbesondere, werden hohe Erwartungen und Anforderungen an den Persönlichkeitsschutz gestellt. Diese müssen bei der Auswahl und Planung der Lösungen berücksichtigt werden.
- Zur Erfassung der erweiterten Präsenz existieren unterschiedliche, technische Lösungen. Weitverbreitet sind Zeitplanmanagement-Systemen, bspw. Microsoft Outlook. Selten sind heute zweckbestimmte Produkte.
- Die Eigenschaften (Einzelgerät oder verteilte Systeme, Formgebung, Installation usw.) und Messgenauigkeit unterschiedlicher Lösungen unterscheiden sich stark voneinander. Von allen Lösungen wird jedoch erwartet, dass sich diese nicht grundlegend von konventionellen Lösungen unterscheiden (bspw. PIR).
- Der energetische Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung ist schwer zu bestimmen und bisher nicht eindeutig nachgewiesen. Im Zweckbau wurde ein signifikantes Einsparpotential festgestellt. Im Wohnbau ist die konventionelle Präsenzerfassung zu bevorzugen.
- Ein wesentlicher Nutzen ist zu erwarten bezüglich der Funktionalität (bspw. Erstellung von Grundlagen für die Planung) und Wirtschaftlichkeit (Optimierung der Raumbelegung). Ebenfalls ein nachweislicher Nutzen ergibt sich beim Komfort (individualisierte Gebäudeautomation) und bei der Sicherheit (Active Assisted Living).
- Die Validierung der Schlüsselaussagen dieser Arbeit in Praxisanwendungen ist erforderlich.



6.2 Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat zahlreiche Perspektiven eröffnet für weitere Untersuchungen. Diese betreffen sowohl die Anwendungen und der Nutzen der erweiterten Präsenzerfassung, als auch deren Erfassung.

- In den Baunormen wird die erweiterte Präsenz heute nicht explizit berücksichtigt. Anwendungsfälle dafür sind aber vorhanden. Entsprechend sollen die Ergebnisse dieser Arbeit Eingang finden in die Norm.
- Durch Forschende sollen Messprinzipien entwickeln werden, die sich einfach und in allen gebäudetechnischen Anwendungen unkompliziert durch den Laien installieren, in Betrieb setzen und betreiben lassen. Zudem soll der Persönlichkeitsschutz sichergestellt werden.
- Produkthersteller sollen ihrerseits Produkte auf den Markt bringen, die sich mit den Anforderungen an die erweiterte Präsenzerfassung vereinbaren lassen. Insb. gleichwertiger Ersatz für konventionelle Lösungen.
- Der Nutzen der erweiterten Präsenz im Allgemeinen, und deren Einfluss auf den Energieverbrauch insbesondere, müssen in Praxisanwendungen untersucht werden. Dazu sind Simulationen und closed-loop Experimente²¹ erforderlich für verschiedene Gebäudetypen, Disziplinen, Anwendungen.
- Die Handlungsempfehlungen müssen im beruflichen Alltag überprüft und umgesetzt werden.
- Das Einsparpotential der Lüftung muss genauer untersucht werden: Bringt die erweiterte Präsenzerfassung Vorteile gegenüber einer CO₂-geführten Strategie?
- Der Fokus von Folgearbeiten soll, auch bei der Energie, vor allem auf der effizienten Nutzung von Räumen (d.h. Optimierung der Belegung) liegen. Hier ist das Einsparpotential besonders gross.

7 Danksagung

Die Autoren möchten sich ganz herzlich bei folgenden Personen und Institutionen bedanken für ihre grosszügige Unterstützung.

Beim Bundesamt für Energie und den Projektbegleitern Dr. Michael Moser und Roland Brüniger für die Förderung und freundliche Begleitung des Projekts.

Beim Amt für Hochbauten der Stadt Zürich für die Projektförderung.

Bei den Firmen Puag AG und Steinel Vertrieb GmbH für das Bereitstellen der optischen Präsenzmelder HPD2 von STEINEL und die kompetente, technische Beratung.

Bei der Projektbegleitgruppe (Stefan Chappuis von der Post Immobilien Management und Services AG; Marlène Fretz und Christian Eugster von Basler & Hofmann AG) für die wertvollen Inputs.

Bei Martin Camenzind von der Hochschule Luzern für die Überprüfung des vorliegenden Berichts.

Bei allen Projektbeteiligten für ihre Beiträge und die freundliche Zusammenarbeit.

²¹ Closed-loop Experimente bezeichnen Versuche, wo die erweiterte Präsenz als Regelgrösse dient für die gebäudetechnischen Anlagen (HLKSE, Beleuchtung).



8 Literaturverzeichnis

- [1] A. Kemmler, T. Spillmann und S. Koziel, "Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2017 nach Verwendungszwecken", Okt. 2018.
- [2] "Energieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement", SN/EN SIA 386.111 / EN 15232-1, 2017.
- [3] T. Teixeira, G. Dublon und A. Savvides, "A survey of human-sensing: Methods for detecting presence, count, location, track and identity", 2010.
- [4] Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK), "Energieverbrauch von Gebäuden: Fact Sheet", Aug. 2014.
- [5] M. Jakob *et al.*, "Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik: Grundlagen für ein Potenzial- und Massnahmenkonzept der Gebäudetechnik zur Reduktion von Endenergie, Primärenergie und Treibhausgasemissionen", Jan. 2016.
- [6] Bundesamt für Statistik (BfS), "Volkszählung, Gebäude- und Wohnungsstatistik", Nov. 2018.
- [7] A. Kemmler, T. Spillmann und S. Koziel, "Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2017: nach Bestimmungsfaktoren" Synthesebericht, Okt. 2018.
- [8] A. Kemmler, T. Spillmann und S. Koziel, "Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000 – 2017: Ex-Post-Analyse nach Verwendungszwecken und Ursachen der Veränderungen", Okt. 2018.
- [9] M. Jakob *et al.*, "Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie: Schlussbericht", Jun. 2016.
- [10] "SIA-Effizienzpfad Energie", SIA-Merkblatt 2040, 2017.
- [11] T. Labeodan *et al.*, "Occupancy measurement in commercial office buildings for demand-driven control applications - A survey and detection system evaluation", *Energy and Buildings*, 2015, Nr. 93, S. 303–314.
- [12] M. A. u. Haq *et al.*, "A review on lighting control technologies in commercial buildings, their performance and affecting factors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, Nr. 33, S. 268–279.
- [13] Jon Hutchins, Alexander Ihler und Padhraic Smyth, "Modeling count data from multiple sensors: A building occupancy model", IEEE Operations Center, 2007.
- [14] Y. Fu, "Human activity recognition and prediction", Springer International Publishing, 2015.
- [15] L. Chen und C. D. Nugent, "Human activity recognition and behaviour analysis: For cyber-physical systems in smart environments", Springer International Publishing, 2019.
- [16] H. Liu *et al.*, "Human motion sensing and recognition: A fuzzy qualitative approach", Springer Berlin Heidelberg, 2017.
- [17] J. Bergstra *et al.*, "Hyperopt: A python library for model selection and hyperparameter optimization", *Computational Science & Discovery*, 2015, Nr. 8, S. 14008.
- [18] M. Chevalier *et al.*, "Low resolution convolutional neural network for automatic target recognition", Jun. 2016.
- [19] W. Kleiminger, F. Mattern und S. Santini, "Predicting household occupancy for smart heating control: A comparative performance analysis of state-of-the-art approaches", *Energy and Buildings*, 2014, Nr. 85, S. 493–505.



- [20] Y. Benezeth *et al.*, "Towards a sensor for detecting human presence and characterizing activity", *Energy and Buildings*, 2011, Nr. 43, S. 305–314.
- [21] "Gebäudeautomation - Raumautomationsfunktionen", VDI 3813 Blatt 2, 2011.
- [22] L. Klein *et al.*, "Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multi-agent systems", *Automation in Construction*, 2012, Nr. 22, S. 525–536.
- [23] T. A. Nguyen und M. Aiello, "Energy intelligent buildings based on user activity: A survey", *Energy and Buildings*, 2013, Nr. 56, S. 244–257.
- [24] W. Kleiminger *et al.*, "Occupancy detection from electricity consumption data" in *Proceedings of the 5th ACM Workshop on Embedded Systems For Energy-Efficient Buildings - BuildSys*, 2013, S. 1–8.
- [25] T. H. Pedersen, K. U. Nielsen und S. Petersen, "Method for room occupancy detection based on trajectory of indoor climate sensor data", *Building and Environment*, 2017, Nr. 115, S. 147–156.
- [26] D. Bing und A. Burton, "Sensor-based occupancy behavioral pattern recognition for energy and comfort management in intelligent buildings"
- [27] V. L. Erickson und A. E. Cerpa, "Occupancy based demand response HVAC control strategy" in *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building - BuildSys*, 2010, S. 7.
- [28] M. Milenkovic und O. Amft, "An opportunistic activity-sensing approach to save energy in office buildings". New York, New York, USA, ACM Press, 2013.
- [29] S. Jain und N. Madamopoulos, "Ahorrar: Indoor occupancy counting to enable smart energy efficient office buildings" in *IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing*, 2016, S. 469–476.
- [30] F. Oldewurtel, D. Sturzenegger und M. Morari, "Importance of occupancy information for building climate control", *Applied Energy*, 2013, Nr. 101, S. 521–532.
- [31] S. Goyal, H. A. Ingley und P. Barooah, "Occupancy-based zone-climate control for energy-efficient buildings: Complexity vs. performance", *Applied Energy*, 2013, Nr. 106, S. 209–221.
- [32] D. Gyalistras *et al.*, "Analysis of energy savings potentials for integrated room automation", 2010.
- [33] D. Sturzenegger, F. Oldewurtel und M. Morari, "Importance of long-term occupancy information – A validation with real occupancy data", ETH Zürich, 2013.
- [34] Y. Peng *et al.*, "Occupancy learning-based demand-driven cooling control for office spaces", *Building and Environment*, 2017, Nr. 122, S. 145–160.
- [35] C. Jiang *et al.*, "Indoor occupancy estimation from carbon dioxide concentration", *Energy and Buildings*, 2016, Nr. 131, S. 132–141.
- [36] M. Gruber, A. Trüschel und J.-O. Dalenbäck, "CO₂ sensors for occupancy estimations: Potential in building automation applications", *Energy and Buildings*, 2014, Nr. 84, S. 548–556.
- [37] B. Dong *et al.*, "An information technology enabled sustainability test-bed (ITEST) for occupancy detection through an environmental sensing network", *Energy and Buildings*, 2010, Nr. 42, S. 1038–1046.
- [38] J. Kuutti, K. Blomqvist und R. Sepponen, "Evaluation of visitor counting technologies and their energy saving potential through demand-controlled ventilation", *Energies*, 2014, Nr. 7, S. 1685–1705.
- [39] W. J. Fisk, D. Faulkner und D. P. Sullivan, "Accuracy of CO₂ sensors in commercial buildings: a pilotstudy", 2006.



- [40] A. Beltran, V. L. Erickson und A. E. Cerpa, "ThermoSense: Occupancy thermal based sensing for HVAC control" in *BuildSys'13 Proceedings of the 5th ACM Workshop on Embedded Systems For Energy-Efficient Buildings*, 2013, S. 1–8.
- [41] M. B. Kjargaard *et al.*, "DCount - A probabilistic algorithm for accurately disaggregating building occupant counts into room counts" in *IEEE 19th International Conference on Mobile Data Management*, 2018, S. 46–55.
- [42] S. Wolfram und F. Mario, "Beurteilung der Energieeinsparung an Heizenergie in Schulen durch eine innovative Zeitplansteuerung", Institut für Energie und Gebäude (ieg), 2013.
- [43] S. Chun, C.-S. Lee und J.-S. Jang, "Real-time smart lighting control using human motion tracking from depth camera", 2014.
- [44] J. Lu *et al.*, "The smart thermostat: Using occupancy sensors to save energy in homes" in *Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems - SenSys*, 2010, S. 211.
- [45] M. Milenkovic und O. Amft, "Recognizing energy-related activities using sensors commonly installed in office buildings", *Procedia Computer Science*, 2013, Nr. 19, S. 669–677.
- [46] N. Li, G. Calis und B. Becerik-Gerber, "Measuring and monitoring occupancy with an RFID based system for demand-driven HVAC operations", *Automation in Construction*, 2012, Nr. 24, S. 89–99.
- [47] Q. Zhao *et al.*, "A data-driven method to describe the personalized dynamic thermal comfort in ordinary office environment: From model to application", *Building and Environment*, 2014, Nr. 72, S. 309–318.
- [48] D. Daum, F. Haldi und N. Morel, "A personalized measure of thermal comfort for building controls", *Building and Environment*, 2011, Nr. 46, S. 3–11.
- [49] E. E. Richman, A. L. Dittmer und J. M. Keller, "Field analysis of occupancy sensor operation: Parameters affecting lighting energy savings", *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 1996, Nr. 25, S. 83–92.
- [50] F. Manzoor, D. Linton und M. Loughlin, "Occupancy monitoring using passive RFID technology for efficient building lighting control" in *Fourth International EURASIP Workshop on RFID Technology*, Sep. 2012, S. 83–88.
- [51] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), "Transforming the market: Energy efficiency in buildings"
- [52] W. Weber, E. Aarts und J. M. Rabaey, "Ambient Intelligence", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [53] O. T. Masoso und L. J. Grobler, "The dark side of occupants' behaviour on building energy use", *Energy and Buildings*, 2010, Nr. 42, S. 173–177.
- [54] M. A. R. Lopes *et al.*, "Estimating energy savings from behaviours using building performance simulations", *Building Research & Information*, 2017, Nr. 45, S. 303–319.
- [55] Y. Agarwal *et al.*, "Occupancy-driven energy management for smart building automation"
- [56] Y. Tachwali, H. Refai und J. E. Fagan, "Minimizing HVAC energy consumption using a wireless sensor network" in *IECON 33rd Annual Conference*, S. 439–444.
- [57] L. J. Lo und A. Novoselac, "Localized air-conditioning with occupancy control in an open office", *Energy and Buildings*, 2010, Nr. 42, S. 1120–1128.
- [58] N. van de Meugheuvael *et al.*, "Distributed lighting control with daylight and occupancy adaptation", *Energy and Buildings*, 2014, Nr. 75, S. 321–329.
- [59] A. Williams *et al.*, "Lighting controls in commercial buildings", *LEUKOS*, 2012, Nr. 8/3, S. 161–180.



- [60] "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden", SN/EN SIA 180, 2014.
- [61] M. Reim *et al.*, "Control strategies and user acceptance of innovative daylighting and shading concepts" in *EuroSun 2016 Conference Proceedings: International Solar Energy Society (ISES) European Solar Conference Proceedings International Conference on Solar Heating & Cooling in Buildings*, 2016, S. 1–8.
- [62] J. Wienold, "Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy analysis", Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Deutschland, *Proceedings: Building Simulation*, 2007.
- [63] S. Matta und S. M. Mahmud, "An intelligent light control system for power saving" in *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, Nov. 2010, S. 3316–3321.
- [64] S. Y. Koo, M. S. Yeo und K. W. Kim, "Automated blind control to maximize the benefits of daylight in buildings", *Building and Environment*, 2010, Nr. 45, S. 1508–1520.
- [65] R. K. Harle und A. Hopper, "The potential for location-aware power management" in *Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing - UbiComp*, 2008, S. 302.

9 Anhang

9.1 Präsenzerfassung in der Norm – Zusammenstellung der Suchergebnisse

Begriffserklärung

k.P.	konventionelle Präsenzerfassung ausreichend (bez. erweiterte Präsenzinformation wird nicht genutzt)
k.P. & e.P.	konventionelle Präsenzerfassung ausreichend; erweiterte Präsenzerfassung bringt Mehrwert
e.P	erweiterte Präsenzerfassung explizit gefordert

SIA 386.110 (EN 15232:2012) Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement

Obsolet. Diese Norm wurde von der Norm SIA 386.111 abgelöst

SIA 386.111 (EN 15232-1:2017) Energieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Module M10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, Bedarf	S. 18, Tabelle 4 1.1.4	Heizung	«Tabelle 4 - GA- und TGM-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden 1 Regelung des Heizbetriebs 1.1 Regelung der Übergabe 1.1.4: Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzabhängiger Regelung: Kommunikation zwischen den Regeleinrichtungen und dem GA-System; bedarfs-/präsenzabhängige Regelung»		X	
Präsenz, Bedarf	S. 22, Tabelle 4 3.1.4	Kühlung	«Tabelle 4 - GA- und TGM-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden 3 Regelung des Kühlbetriebes 3.1 Regelung der Übergabe 3.1.4: Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzabhängiger Regelung: Kommunikation zwischen den Regeleinrichtungen und dem GA-System; bedarfs-/präsenzabhängige Regelung»		X	
Präsenz, Belegung	S. 25, Tabelle 4 4.1.2	Lüftung	«Tabelle 4 - GA- und TGM-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden 4 Regelung der Lüftung und der Klimatisierung 4.1 Regelung der Zuluft-Strömung auf Raumebene (z. B. Ventilator ein/aus) Auf der Belegung beruhende Regelung der Zuluft-Strömung (Verfügbarkeit einer Luftströmung, d. h. Regelung Ventilator ein/aus). 4.1.2: Präsenzabhängige Regelung: Die Anlage arbeitet in Abhängigkeit von der Belegung (Lichtschalter,	X		

			Infrarotsensoren usw.)»			
Präsenz	S. 26, Tabelle 4 4.4.2	Lüftung	«Tabelle 4 - GA- und TGM-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden 4 Regelung der Lüftung und der Klimatisierung 4.4 Regelung der Außenluftströmung 4.4.2: Abgestufte(s) (niedrig/hoch) Außenluftverhältnis/ Außenluftströmung: präsenzabhängige Regelung, z. B. Lichtschalter, Infrarotsensoren usw.»	X		
Belegung	S. 26, Tabelle 4 4.5.1	Lüftung	«Tabelle 4 - GA- und TGM-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden 4 Regelung der Lüftung und der Klimatisierung 4.5 Regelung des Luftvolumenstroms oder Luftdruckes auf der Ebene der Luftbehandlungsanlage 4.5.1: Zeitabhängige Zweipunktregelung: Kontinuierliche Luftvolumenstromzuführung für eine maximale Last in allen Räumen während der nominellen Belegungszeit»	X		
Präsenz, anwesend, Belegung, Erkennung, (Nachlaufzeit)	S. 28, Tabelle 4 5.1.2 5.1.3	Licht	«Tabelle 4 - GA- und TGM-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden 5 Regelung der Beleuchtung 5.1: Regelung entsprechend der Belegung 5.1.2: Automatische Erkennung Automatisches Einschalten/automatisches Dimmen: Die Regeleinrichtung schaltet die Leuchte(n) automatisch immer dann ein, wenn der zu beleuchtende Bereich belegt ist, und schaltet sie spätestens 10 min, nachdem alle Personen diesen Bereich verlassen haben, automatisch in einen Zustand mit verringerter Lichtabgabe (nicht mehr als 30 % des normalen „eingeschalteten Zustandes“). Darüber hinaus wird/werden die Leuchte(n) spätestens 20min nach der letzten Belegung im Raum automatisch vollständig ausgeschaltet 5.1.3: Automatische Erkennung Manuelles Einschalten/Partielles automatisches Einschalten/automatisches Dimmen: Die Leuchte(n) kann/können nur mit Hilfe eines manuell zu betätigenden Schalters oder eines Sensors zur präsenzabhängigen Regelung eingeschaltet werden, der sich in dem von der/den Leuchte(n) zu beleuchtenden Bereich (oder in dessen unmittelbarer Nähe) befindet; wird/werden sie nicht manuell ausgeschaltet, wird/werden sie spätestens 10 min, nachdem alle Personen den zu beleuchtenden Bereich verlassen haben, automatisch in einen Zustand mit verringerter Lichtabgabe (nicht mehr als 30 % des normalen „eingeschalteten Zustandes“) geschaltet. Darüber hinaus werden die Leuchten spätestens 20min nach der letzten Belegung im Raum automatisch vollständig ausgeschaltet Manuelles Einschalten/Partielles automatisches Einschalten/automatisches Ausschalten: Die Leuchte(n) kann/können nur mit Hilfe eines manuell zu betätigenden Schalters oder eines Sensors zur	X		

			präsenzabhängigen Regelung eingeschaltet werden, der sich in dem von der/den Leuchte(n) zu beleuchtenden Bereich (oder in dessen unmittelbarer Nähe) befindet; wird/werden sie nicht manuell ausgeschaltet, schaltet die automatische Regeleinrichtung sie spätestens 20 min, nachdem im zu beleuchtenden Bereich keine Personen mehr anwesend sind, automatisch vollständig aus»			
Bedarf	S. 29, Tabelle 4 7	Allg.	«7 Technisches Haus- und Gebäudemanagement Das technische Haus- und Gebäudemanagement ermöglicht die einfache Anpassung des Betriebs an den Bedarf der Nutzer. Es ist in regelmäßigen Abständen zu überprüfen, ob die Betriebszeiten für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung gut an die tatsächlichen Nutzungsprofile und die Sollwerte ebenfalls an den Bedarf angepasst sind. Warn- und Überwachungsfunktionen unterstützen die Anpassung des Betriebs an den Bedarf der Nutzer sowie die Optimierung der Abstimmung der verschiedenen Regeleinrichtungen.»		X	
Bedarf, Belegung	S. 31, 5.5	Allg.	«5.5 GA-Effizienzklassen Um Klasse A zu erreichen: Zusätzlich zu Klasse B müssen die Funktion des technischen Gebäudemanagements und einige in Tabelle 4 definierte spezielle Funktionen umgesetzt werden. Die Raum Regeleinrichtungen müssen einen bedarfsgeführten Betrieb von HLK-Anlagen ermöglichen können (z.B. sollwertgesteuerte Regelung in Abhängigkeit von Belegungsgrad, Luftqualität usw.) einschließlich zusätzlich integrierter Funktionen für eine Gewerke übergreifende Zusammenwirkung von HLK und sonstiger Gebäudetechnik (z.B. Elektrik, Licht, Verschattung).»		X	
Präsenz	S. 33, Tabelle 5 1.1.4	Heizung	«Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 1 Regelung des Heizbetriebs 1.1 Regelung der Übergabe 1.1.4: Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzabhängiger Regelung»	X		
Bedarf	S. 34, Tabelle 5 1.3.2	Heizung	«Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 1 Regelung des Heizbetriebs 1.3 Regelung der Warmwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf) 1.3.2: Bedarfsabhängige Regelung»		X	
Bedarf	S. 34, Tabelle 5 1.4.4	Heizung	«Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 1 Regelung des Heizbetriebs 1.4 Regelung der Umwälzpumpen im Netz 1.4.4: Regelung der variablen Pumpendrehzahl (externes Bedarfssignal)»		X	
Bedarf	S. 34, Tabelle 5 1.5.3	Heizung	«Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 1 Regelung des Heizbetriebs		X	

			1.5 Regelung der Übergabe und/oder der Verteilung bei intermittierendem Betrieb 1.5.3: Automatische Regelung mit Bedarfsbeurteilung »			
Bedarf	S. 36, Tabelle 5 2.2.2	Sanitär	« Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 2 Regelung der Trinkwassererwärmung 2.2 Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers durch Wärmeerzeuger 2.2.2: Automatische Zweipunktregelung, geplante Ladefreigabe und bedarfsorientierte Regelung der Vorlauf oder Rücklauftemperatur oder Multisensor-Speichermanagement»		X	
Bedarf	S. 36, Tabelle 5 2.3.2	Sanitär	« Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 2 Regelung der Trinkwassererwärmung 2.3 Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers mit Sonnenkollektor und ergänzendem Wärmeerzeuger 2.3.2: Automatische Regelung der Speicherbeladung mittels Sonnenenergie (Prio. 1) und der ergänzenden Speicherbeladung (Prio. 2) sowie der bedarfsabhängigen Vorlauftemperatur oder des Multisensor-Speichermanagements		X	
Präsenz	S. 37, Tabelle 5 3.1.4	Kühlung	« Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 3 Regelung des Kühlbetriebes 3.1 Regelung der Übergabe 3.1.4: Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzabhängiger Regelung»	X		
Bedarf	S. 37, Tabelle 5 3.3.2	Kühlung	« Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 3 Regelung des Kühlbetriebes 3.3 Regelung der Kaltwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf) 3.3.2: Bedarfsabhängige Regelung»		X	
Bedarf	S. 37, Tabelle 5 3.4.4	Kühlung	« Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 3 Regelung des Kühlbetriebes 3.4 Regelung der Umwälzpumpen im Netz 3.4.4: Regelung der variablen Pumpendrehzahl (externes Bedarfssignal)»		X	
Bedarf	S. 38, Tabelle 5 3.5.3	Kühlung	« Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 3 Regelung des Kühlbetriebes 3.5 Regelung der Übergabe und/oder der Verteilung bei intermittierendem Betrieb 3.5.3: Automatische Regelung mit Bedarfsbeurteilung »		X	
Präsenz	S. 38, Tabelle 5 4.1.4	Lüftung	« Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 4 Regelung der Lüftung und der Klimatisierung 4.1: Regelung der Zuluft-Strömung auf Raumebene 4.1.2: Präsenzabhängige Regelung»	X		

Bedarf	S. 38, Tabelle 5 4.2.4	Lüftung	«Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 4 Regelung der Lüftung und der Klimatisierung 4.2 Regelung der Temperatur der Raumluft (Luft-Anlagen) 4.2.4: Bedarfsabhängige Regelung»		X	
Belegung, Erkennung	S. 40, Tabelle 5 5.1	Licht	«Tabelle 5 - Funktionsliste und Zuordnung zu den Klassen der GA-Energieeffizienz 5 Regelung der Beleuchtung 5.1: Regelung entsprechend der Belegung 5.1.2: Automatische Erkennung (automatisches Einschalten) 5.1.3: Automatische Erkennung (manuelles Einschalten)»	X		
Belegung	S. 46, 6.4.2.3	Lüftung	«6.4.2.3 Betriebsartbezogener Ansatz Die automatische Regelung ermöglicht den Betrieb von Klimatisierungssystemen bei verschiedenen Betriebsarten, z. B. für die Lüftungsanlage folgende Betriebsarten: Belegung/keine Belegung; übliche Betriebsart intermittierender Heizbetrieb; kein Heizbetrieb; Rückstellung; Spitzenleistung.»	X		
Belegung	S. 50, 7.3	Allg.	«7.3 Berechnungsverfahren - Berechnung der Energie Die GA-Effizienzfaktoren wurden durch Ausführung dynamischer Vorberechnungen für unterschiedliche Gebäudetypen nach EN 15217 erhalten. Dabei wurde jeder Gebäudetyp durch ein standardisiertes Nutzerprofil in Bezug auf Belegung und interne Wärmegewinne durch Personen bzw. Ausrüstung charakterisiert.»		X	
Belegung	S. 62, Tabelle B.1 5.1	Licht	«Tabelle B.1- Mindestanforderungen an die GA-Funktionsart 5 Regelung der Beleuchtung 5.1 Regelung entsprechend der Belegung»		X	
Bedarf	S. 65, C.1	Lüftung	«C.1 Bestimmungsverfahren Die Hilfsenergie hängt in den meisten Fällen vom Volumenstrom in den Pumpen oder Ventilatoren ab, während die Energie für die Regeleinrichtungen nahezu konstant ist. Daher ist die Hilfsenergie durch das Verhältnis vom Auslegungsvolumenstrom zum tatsächlichen Volumenstrom (d. h. der bedarfsorientierten Lüftung) gegeben. Zu beachten ist, dass es sich bei der Hilfsenergie um die dritte Potenz dieses Verhältnisses handelt.»		X	
Belegung	S. 66, C.2.2	HLK	«C.2.2 Effizienzklasse C (Referenzklasse) Zwischen dem Temperatursollwert für das Heizen und dem für das Kühlen besteht eine geringe Differenz von etwa 1 K. Der Betrieb der HLK-Anlage beginnt zwei Stunden vor der Belegung und endet drei Stunden nach dem Ende der Belegungsperiode.»	X		
Präsenz	S. 69, C.2.5	Lüftung	«C.2.5 Effizienzklasse A Die Effizienzklasse A verbessert die Energieeffizienz durch Anwendung fortgeschrittener GA- und TGM-Funktionen, wie adaptive Sollwertverstellung für den Kühlbetrieb oder präsenzabhängige Luftströme, noch		X	

			weiter.»			
Belegung	S. 69, C.3.1	Allg.	«C.3.1 Allgemeines Für jeden Gebäudetyp sind sowohl das Nutzerprofil als auch die relevanten Randbedingungen in Tabelle C.1 bis Tabelle C.7 gegeben. Die Randbedingungen schließen die Temperatursollwerte für das Heizen und Kühlen, die Betriebszeit für die Heiz-, Kühl- und Beleuchtungsanlagen, die Anzahl der Personen (Belegungsdichte), innere Wärmequellen, Luftwechsel, Verschattungsregelung und Anzahl der Arbeitstage/Wochenenden ein.»		X	
Präsenz	S. 74, Tabelle C.4 S. 76, Tabelle C.5 S. 77, Tabelle C.6 S. 78, Tabelle C.7	Lüftung	Randbedingungen für GA-Effizienzklassen -> Lüftung für Klasse A mit präsenzabhängiger Regelung - Hörsaal - Restaurant - Grosshandelszentrum - Krankenhaus		X	
Belegung	S. 89, Tabelle E.1 2.4.1	Allg.	«Tabelle E.1 - Leitlinie für den Einsatz von GA-Systemen in Energiemanagementsystemen Parameter, die sich auf die Energienutzung auswirken (Belegungsgrad , Betriebsstunden, klimatische Bedingungen, Nutzungsdaten der Gebäudebereiche, Nutzerprofile usw.).»		X	
Belegung	S. 92, Tabelle E.1 2.4.6	Allg.	«Tabelle E.1 - Leitlinie für den Einsatz von GA-Systemen in Energiemanagementsystemen fortdauernde Aktualisierung der GA-Gestaltung und Programmierung der Abfolgen, die organisationsbezogene Veränderungen widerspiegeln (z.B. veränderte Betriebszeiten, Nutzungszeiten, Belegung , Raumbedingungen usw.);»		X	
Bedarf	S. 95, Tabelle E.1 3.4.3	Allg.	«Tabelle E.1 - Leitlinie für den Einsatz von GA-Systemen in Energiemanagementsystemen Gebäudeanlagen, Installationen, Einrichtungen usw. werden ständig angepasst und optimiert, um den aktuellen betriebs- und organisationsbezogenen Profilen und Bedarfen zu entsprechen.»		X	
Belegung	S. 97, Tabelle E.1 4.1	Allg.	«Tabelle E.1 - Leitlinie für den Einsatz von GA-Systemen in Energiemanagementsystemen Einen geeigneten Plan für Energiemessungen basierend auf dem GA-System, mit einem Energiedatenhaltungssystem zur Speicherung aller Arten von Energiedaten. Das System sollte in regelmäßigen Abständen eingegebene Daten (z.B. Messwerte alle 15 min, 30 min oder 60 min usw.) und Zählerablesewerte sowie energiebezogene Faktoren (Betriebszeiten, Belegungsgrad usw.) enthalten.»		X	
Präsenz Bedarf	S. 103, Tabelle F.1 4.1.3 4.1.4	Lüftung	«Tabelle F.1-Anforderungen der GA-Effizienzklasse „B“ an ein Einzelraumlager 4.1.3: Präsenzabhängige Regelung 4.1.4: Bedarfsabhängige Regelung»		X	

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, Laufzeit, anwesend	S. 8, 1.1.2.12	Licht	Beschreibung Funktionstypen: «1.1.2.12 Beleuchtungssteuerung nach Präsenz Automatische (Ein/Aus-) Schaltung (nach Präsenz): Die Ein- und Ausschaltung erfolgt automatisch mittels eines Präsenzmelders. Die Einschaltung erfolgt zum Zeitpunkt der Meldung, dass Personen anwesend sind. Die Ausschaltung erfolgt, wenn nach der Meldung, dass keine Personen mehr anwesend sind, eine definierte Nachlaufzeit verstrichen ist. (Vollautomatischer Betrieb, auto on-off) Manuelle Ein- und automatische Ausschaltung (nach Präsenz): Die Beleuchtung wird manuell eingeschaltet. Die Ausschaltung erfolgt automatisch mittels eines Präsenzmelders, wenn nach der Meldung, dass keine Personen mehr anwesend sind, eine definierte Nachlaufzeit verstrichen ist. (Halbautomatischer Betrieb, manual on/auto off)»	X		
Belegung	S. 9, 1.1.2.14	Sonnen- schutz	Umschreibung Funktionstyp: «1.1.2.14 Sonnenschutzsteuerung Motorbetrieben mit automatischer Steuerung und Lamellennachführung: Die automatische Lamellennachführung bewirkt, dass der Lamellenanstellwinkel bei geschlossenem Sonnenschutz automatisch so nachgeführt wird, dass der Raum bei Belegung bestmöglich mit Tageslicht versorgt wird ohne direkte Sonneneinstrahlung.»	X		
Bedarf	S. 13, 2.1.4	Licht	«Der Fachplaner kann durch präzise Dimensionierung der Leuchten, durch optimale Systemwahl und durch bedarfsorientierte Steuerung zur effizienten Elektrizitätsnutzung wesentlich beitragen.»		X	
Präsenz, Laufzeit	S. 21, Tabelle 6	Licht	«Tabelle 6 Korrekturfaktor Beleuchtungssteuerung nach Präsenz k_{Pr}» Auflistung Korrekturfaktoren Beleuchtungssteuerung abhängig von Nachlaufzeit Präsenzmelder und normale bzw. sporadische Präsenz -> Korrekturfaktor wird zur Berechnung der Volllaststunden benötigt	X		

SIA 386.152 (EN ISO 16484-2:2004) Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 2: Hardware

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, Laufzeit, anwesend, abwesend, Bedarf, Belegung, Erkennung	-	-	-			

SIA 386.153 (EN ISO 16484-3:2005) Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 3: Funktionen

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, Laufzeit, anwesend, abwesend, Bedarf, Belegung, Erkennung	-	-	-			

VDI 3813 2011 Gebäudeautomation (GA), Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, anwesend, Belegung, Haltezeit (Nachlauf- zeit), Erkennung	S. 10-11, 6.1.2	Allg.	«6.1.2 Präsenzerkennung Die Sensorfunktion Präsenzerkennung ermittelt automatisch die Anwesenheit von Personen im Raum und stellt sie als Ausgabeinformation mit den Zuständen „anwesend“ oder „abwesend“ denjenigen Anwendungsfunktionen zur Verfügung, deren Verhalten abhängig vom Raumbelegungszustand ist. Durch die Verwendung im Zusammenhang mit Beleuchtungsfunktionen ist eine verzögerungsfreie Generierung der Ausgabeinformation bei Statusänderung der Auswerteelektronik erforderlich. Anmerkung: Technische Lösungen basieren häufig auf Passiv-, Infrarot-, Ultraschall- oder kombinierten Sensoren. Sie sind mit unterschiedlichen Erfassungsgeometrien erhältlich und können so auf den zu überwachenden Bereich abgestimmt werden. In größeren Räumen ist die Verwendung mehrerer Sensoren zur Erweiterung des Erfassungsbereichs möglich. Da die Erfassungselektronik zumeist lediglich Bewegungen von Körpern erkennen kann, ist die Parametrierung einer Haltezeit notwendig, innerhalb derer	X		

			der Zustand „anwesend“ nach einer Bewegung gehalten wird.»			
Präsenz, anwesend, abwesend	S. 11, Bild 3	Allg.	«Bild 3. Informative Darstellung der Sensorfunktion Präsenzerkennung a) Durch eine einstellbare Abfallverzögerung PAR_HOLD wird ein kurzfristiges Umschalten in den Zustand „abwesend“ durch Detektionslücken, z. B. durch Inaktivität anwesender Personen, vermieden.»	X		
Präsenz, Anwesenheit, Belegung	S. 30, 6.4.7	Allg.	«6.4.7 Präsenz melden Die Bedienfunktion Präsenz melden wandelt eine manuelle Betätigung in eine Ausgabeinformation, die dann den Anwendungsfunktionen als Eingabeinformation zur Verfügung steht. Durch die Eingabeinformation kann der momentane Anwesenheitsstatus des Raums für den Nutzer angezeigt und über einen Bedienvorgang geändert werden. Zur Auswertung – auch in Kombination mit der Funktion Präsenzerkennung – dient die Funktion Belegungsauswertung (siehe Abschnitt 6.5.2).»	X		
Belegung, Präsenz	S. 32, 6.5.2.1	Allg.	«6.5.2 Belegungsauswertung 6.5.2.1 Zweck der Funktion Um den Belegungszustand innerhalb eines Raums für alle weiteren Anwendungsfunktionen zu ermitteln, wertet die Funktion Belegungsauswertung die Ausgabeinformationen der Präsenzerkennung und von Bedienfunktionen (Präsenz melden) aus. Somit können verschiedene Möglichkeiten der An- oder Abmeldung in Räumen realisiert werden.»	X		
Belegung, anwesend, Präsenz, Erkennung	S. 33, Bild 23	Allg.	«a) Durch die Wahl der Verknüpfungsregel der Eingabeinformationen kann die Ermittlung des Belegungszustands verändert werden. So kann z. B. der Status „anwesend“ entweder bereits durch eine automatische Erkennung durch die Sensorfunktion Präsenzerkennung (P_AUTO) oder erst nach Betätigung der Bedienfunktion Präsenz melden (P_MAN) erzeugt werden.»	X		
Präsenz, anwesend, abwesend, Erkennung	S. 33, 6.5.2.2	Allg.	«6.5.2.2 Beteiligte Eingabeinformationen P_AUTO Die Eingabe P_AUTO verarbeitet Ausgabeinformationen der Sensorfunktion Präsenzerkennung . Durch die Verknüpfungsregel PAR_BEH wird bestimmt, ob eine automatisch erkannte Anwesenheit ausreicht, um eine entsprechende Ausgabeinformation an P_ACT zu erzeugen („automatisch anmelden“) oder ob ein Bedienvorgang zur Anmeldung vorliegen muss (manuell anmelden). Für das Zurücksetzen in den nicht belegten Zustand ist immer die automatische Erkennung ausschlaggebend („automatisch abmelden“). Wird von allen verknüpften Sensorfunktionen hingegen ein „abwesend“-Status empfangen, so wird die Ausgabeinformation P_ACT auf „abwesend“ zurückgesetzt. P_MAN Die Eingabe P_MAN verarbeitet die Bedienfunktion Präsenz melden. Bei entsprechender Verknüpfung kann damit erreicht werden, dass an der Ausgabeinformation P_ACT nur dann „anwesend“ erzeugt wird, wenn zusätzlich zur automatischen Erkennung eine Anmeldung über einen Bedienvorgang im Raum erfolgt. Ein „abwesend“-Status an P_MAN führt hingegen auf jeden Fall zur sofortigen Übernahme von P_ACT.»	X		

Anwesenheit	S.33, 6.5.2.3	Allg.	«6.5.2.3 Beteiligte Ausgabeinformationen P_ACT Über P_ACT wird die Anwesenheit für nachfolgende Anwendungsfunktionen wie Automatiklicht, Tageslichtschaltung, Konstantlichtregelung, Thermoautomatik und Energieniveauewahl zur Verfügung gestellt.»	X		
Erkennung, anwesend	S. 34, 6.5.2.4	Allg.	«6.5.2.4 Erforderliche Parameter PAR_BEH Der Verknüpfungparameter entscheidet über die Behandlung der Eingabeinformationen. Es wird ein Betriebsmodus angeboten, in dem das alleinige Umschalten der automatischen Erkennung auf „anwesend“ reicht, um die Ausgabe P_ACT anzupassen. In der zweiten Betriebsart muss zur Umstellung der Ausgabeinformation P_ACT auf „anwesend“ zusätzlich die entsprechende Eingabeinformation an P_MAN vorliegen.»	X		
Belegung, Präsenz, anwesend, abwesend	S. 41-42, 6.5.8	Licht	«6.5.8 Automatiklicht 6.5.8.1 Zweck der Funktion Die Anwendungsfunktion Automatiklicht schaltet die Raumbeleuchtung oder Teile davon bei Belegung automatisch ein und bei Nichtbelegung automatisch aus. Eine Berücksichtigung der natürlichen Beleuchtung durch Tageslicht erfolgt nicht. Zur Realisierung wird die Ausgabeinformation der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Belegungsstatus der Basisfunktion Belegungsauswertung in eine Lichtschaltinformation umgewandelt. Die Funktion dient damit besonders dem energiesparenden Einsatz der Beleuchtung in Räumen, die nicht ausreichend mit Tageslicht versorgt werden, z. B. Korridore oder Sanitärräume. 6.5.8.2 Beteiligte Eingabeinformationen P_AUTO: Die Eingabe eines „anwesend“-Telegramms führt zur Einschaltung der Beleuchtung. Die Eingabeinformation kann direkt von der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Basisfunktion Belegungsauswertung stammen. Bei Empfang einer „abwesend“-Information wird die Beleuchtung abgeschaltet. 6.5.8.4 Erforderliche Parameter PAR_HOLD: Die Ausschaltverzögerung wirkt auf die Eingabeinformation P_AUTO und verhindert ein sofortiges Abschalten der Beleuchtung bei Empfang einer „abwesend“-Information.»	X		
Belegung, Präsenz, anwesend, abwesend	S. 42-44, 6.5.9	Licht	«6.5.9 Tageslichtschaltung 6.5.9.1 Zweck der Funktion Die Anwendungsfunktion Tageslichtschaltung schaltet die Raumbeleuchtung oder Teile davon bei Belegung automatisch ein, falls die Beleuchtungsstärke im Raum durch Tageslicht unter den eingestellten Sollwert	X		

			fällt. Die Funktion schaltet das eingeschaltete Kunstlicht wieder ab, sobald der verbleibende Tageslichtanteil wieder ausreicht, um die Mindestbeleuchtungsstärke einzuhalten. Dazu ermittelt die Funktion nach dem Einschalten der Beleuchtung die Abschaltschwelle, die der Beleuchtungsstärke bei ausreichender Tageslichtversorgung und zusätzlichem Kunstlichtanteil entspricht. Einschalt- und Abschaltvorgänge aufgrund schwankender Tageslichtversorgung können mittels zeitlicher Hysterese verzögert werden, um zu häufige Schaltvorgänge zu vermeiden. Eine Änderung des Belegungszustands führt jedoch zu unverzögerten Schaltvorgängen. Zur Realisierung werden die Ausgabeinformation der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Belegungsstatus der Basisfunktion Belegungsauswertung sowie die Beleuchtungsstärkeninformation der Sensorfunktion Helligkeitsmessung benötigt. Die Schaltinformation wird an zugeordnete Aktorfunktionen Lichtaktor übermittelt. Optional kann der Nutzer über die Bedienfunktion Licht stellen die Beleuchtung auch manuell beeinflussen. In diesem Fall wird die Automatik bis zum Empfang einer „abwesend“-Information deaktiviert. 6.5.9.2 Beteiligte Eingabeinformationen P_ACT: Die Eingabeinformation repräsentiert den Belegungszustand des Raums. Ein „anwesend“-Telegramm führt zur Aktivierung der Tageslichtschaltung. Die Information kann direkt von der Bedienfunktion Präsenz melden, der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Basisfunktion Belegungsauswertung stammen. Liegt zum Zeitpunkt des Empfangs der „anwesend“-Information die gemessene Beleuchtungsstärke H_ROOM unter PAR_SETPT, wird die Beleuchtung unverzögert eingeschaltet. Bei Empfang einer „abwesend“-Information wird die Beleuchtung abgeschaltet und eine etwaige Übersteuerung durch L_MAN zurückgenommen.»			
Belegung, Präsenz, anwesend, abwesend	S.46, 6.5.10	Licht	«6.5.10 Konstantlichtregelung 6.5.10.1 Zweck der Funktion Die Anwendungsfunktion Konstantlichtregelung regelt die Raumbeleuchtung oder Teile davon bei Belegung automatisch so, dass eine eingestellte Mindestbeleuchtungsstärke nicht unterschritten wird. Dadurch wird ein kontrastreiches Arbeiten bei gleichzeitig minimalem Energieeinsatz gewährleistet. Während das Einschalten bei Unterschreitung der Mindestbeleuchtungsstärke oder das Abschalten der Beleuchtung nach dem Erreichen des Stellwert-Minimums über die Ein- und Abschaltverzögerungen beeinflusst werden kann, führt eine Änderung des Belegungszustands zu unverzögerten Schaltvorgängen. Zur Realisierung werden die Ausgabeinformation der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Belegungsstatus der Basisfunktion Belegungsauswertung sowie die Beleuchtungsstärkeninformation der Sensorfunktion Helligkeitsmessung benötigt. Der Dimmwert wird an zugeordnete Aktorfunktionen Lichtaktor übermittelt. Optional kann der Nutzer über die Bedienfunktion Licht stellen die Beleuchtung auch manuell	x		

			beeinflussen. In diesem Fall wird die Automatik bis zum Empfang einer „abwesend“-Information deaktiviert. 6.5.10.2 Beteiligte Eingabeinformationen P_ACT: Die Eingabeinformation repräsentiert den Belegungszustand des Raums. Ein „anwesend“-Telegramm führt zur Aktivierung der Konstantlichtregelung. Die Information kann direkt von der Bedienfunktion Präsenz melden, der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Basisfunktion Belegungsauswertung stammen. Liegt zum Zeitpunkt des Empfangs der „anwesend“-Information die gemessene Beleuchtungsstärke H_{ROOM} unter PAR_SETPT, wird die Beleuchtung unverzüglich eingeschaltet und die Anpassung der Helligkeit erfolgt mit der Dimmrampe PAR_DIM. Bei Empfang einer „abwesend“-Information wird die Beleuchtung abgeschaltet und eine etwaige Übersteuerung durch L_MAN zurückgenommen.»			
Belegung, anwesend, abwesend, Präsenz	S. 59-60, 6.5.17	Sonnenschutz	«6.5.17 Thermoautomatik 6.5.17.1 Zweck der Funktion Die Anwendungsfunktion verarbeitet dazu die Eingabeinformation über den Belegungszustand des Raums (Belegungsauswertung), die Außenhelligkeit (Helligkeitsmessung) sowie die Raumtemperatur (Temperaturmessung) und die Sollwerte (Sollwertermittlung) und generiert daraus Positionierbefehle für den Sonnenschutz. 6.5.17.2 Beteiligte Eingabeinformationen P_ACT: Der Eingabeparameter kennzeichnet den Raumbelegungszustand. Die Eingabe eines „abwesend“-Telegramms führt zur Aktivierung der Thermoautomatik. Dabei kann der Wert direkt von der Bedienfunktion Präsenz melden, der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Basisfunktion Belegungsauswertung stammen. Bei Empfang einer „anwesend“-Information, das heißt, der Raum wird erneut belegt, wird die Thermoautomatik deaktiviert und über S_SET die Rücknahme des Positionierbefehls erzeugt.»	X		
Belegung, Präsenz, anwesend	S. 63-64, 6.5.19	Allg.	«6.5.19 Energieniveauwahl 6.5.19.1 Zweck der Funktion Die Wahl des Energieniveaus einer Raumklimafunktion dient der Anpassung der Energieabgabe an die Nutzung des Raums. Anstatt den Raum z. B. ständig und unabhängig von der tatsächlichen Nutzung auf einer Komforttemperatur zu halten, variieren die Sollwerte (siehe Abschnitt 6.5.21) je nach Nutzungsart, Raumtyp und eventuell weiteren Rahmenbedingungen, z. B. die Raumbelegungsplanung (siehe VDI 3813 Blatt 1, Abschnitt 7). Diesen unterschiedlichen Nutzungen werden Energieniveaus zugeordnet. Es sind folgende Energieniveaus möglich: COMFORT: Komfortniveau	X		

			kennzeichnet den Zustand bei belegtem Raum. Temperatur und Luftqualität liegen im behaglichen Bereich. Der Regler arbeitet je nach Heiz- oder Kühlbetrieb mit den jeweiligen Komfort-Sollwerten. Eine Umschaltung auf das Komfortniveau erfolgt – neben der Option eines Zeitprogramms – in jedem Fall durch Anmeldung im Raum bzw. durch Präsenzerkennung. 6.5.19.2 Beteiligte Eingabeinformationen M_BMS: Die Eingabeinformation kennzeichnet das durch eine Belegungsplanung vorgegebene Energieniveau. Als Quelle dient die Basisfunktion Zeitprogramm. B_WINDOW: Die Eingabeinformation enthält den Öffnungszustand der Fenster im Raum aus der Sensorfunktion Fensterüberwachung. Ein geöffnetes Fenster führt zu einem Wechsel auf das Gebäudeschutzniveau. Nach dem Schließen wird der resultierende Zustand aus Zeitprogramm (M_BMS) und Belegung (P_ACT) erneut angenommen. P_ACT: Die Eingabeinformation enthält den tatsächlichen Belegungszustand des Raums. Quellen für diese Information sind die Funktionen Präsenz melden, Präsenzerkennung oder Präsenzauswertung. Ein Wechsel in den „anwesend“-Status hebt das durch das Zeitprogramm vorgegebene Energieniveau immer auf das Komfortniveau an, solange alle Fenster geschlossen sind.»			
Belegung, Präsenz, anwesend	S. 67, 6.5.20	Allg.	«6.5.20 Energieniveauwahl mit Startoptimierung 6.5.20.2 Beteiligte Eingabeinformationen M_BMS: Die Eingabeinformation kennzeichnet das durch eine Belegungsplanung vorgegebene Energieniveau sowie zusätzlich das folgende Niveau sowie die Zeitspanne bis zu dessen Gültigkeit. Als Quelle dient die Basisfunktion Zeitprogramm. B_WINDOW: Die Eingabeinformation enthält den Öffnungszustand der Fenster im Raum aus der Sensorfunktion Fensterüberwachung. Ein geöffnetes Fenster führt zu einem Wechsel auf das Gebäudeschutzniveau. Nach dem Schließen wird der resultierende Zustand aus Zeitprogramm (M_BMS) und Belegung (P_ACT) erneut angenommen. P_ACT: Die Eingabeinformation enthält den tatsächlichen Belegungszustand des Raums. Quellen für diese Information sind die Funktionen Präsenz melden, Präsenzerkennung oder Präsenzauswertung. Ein Wechsel in den „anwesend“-Status hebt das durch das Zeitprogramm vorgegebene Energieniveau immer auf das Komfortniveau an, solange alle Fenster geschlossen sind.»	X		

Belegung	S. 68, 6.5.21	Allg.	«6.5.21 Sollwertermittlung 6.5.21.1 Zweck der Funktion <i>Eine Sollwertanpassung durch den Raumnutzer wirkt sich hingegen nur auf die belegungsorientierten Energieniveaus Komfort- und Bereitschaftsniveau aus.»</i>	X		
Belegung	S. 85, 6.5.28	Lüftung	«6.5.28 Luftqualitätssteuerung/-regelung 6.5.28.2 Beteiligte Eingabeinformationen <i>M_ACT:</i> <i>Die Eingabeinformation enthält das aktuelle Energieniveau aus der Funktion Energieniveauwahl. Die Luftqualitätsregelung wird nur auf dem Komfort-Energieniveau aktiv, da hier von einer Raumbellegung ausgegangen werden kann. Falls die Eingabeinformation zur Luftqualität vorliegt, wird entsprechend auf den Sollwert geregelt. Bei Verzicht auf die Luftqualitätsmessung wird der Ausgang der Funktion auf einen fest parametrisierten Wert gestellt.»</i>	X		
Belegung	S. 109, Tabelle 1	Allg.	Tabelle 1. Zuordnung der Anwendungsfunktionen nach Schalenmodell 6.5.2 Belegungsauswertung	X		
Bedarf	S. 112, 8	Allg.	«8 Auswirkungen auf die Energieeffizienz <i>Klasse B entspricht weiterentwickelten RA-/GASystemen. Gebäude mit derartigen Systemen weisen bereits einen hohen Grad an bedarfsgeregelten RA-Funktionen mit Integration der Heiz-, Kühl-, Lüftungs-, Beleuchtungs- und Sonnenschutzfunktionen auf.</i> <i>Klasse A entspricht hoch energieeffizienten RA-/GA-Systemen. Das RA-System ist konsequent bedarfsgeregelt und vollständig integriert.»</i>		X	
Belegung, Präsenz	S. 113, Tabelle 2	Allg.	«Tabelle 2. Zuordnung der Anwendungsfunktionen nach GA-Effizienzklassen 6.5.2 Belegungsauswertung mit Präsenzerkennung»	X		
Präsenz, Belegung	S. 117	Allg.	«Anhang Beispiel <i>Zur Erreichung der GA-Effizienzklasse A werden alle Funktionen präsenzabhängig ausgeführt. Dazu dient die Funktion Belegungsauswertung, die die Information an die Raumtemperaturregelung (Energieniveauwahl), die Thermoautomatik zur Heiz-/Kühlunterstützung im unbelegten Raum und zur Konstantlichtregelung der Deckenbeleuchtung weitergibt.»</i>	X		

SIA 2048:2015 Energetische Betriebsoptimierung

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Bedarf	S. 6, 0.1.3.5	Allg.	«In vielen eBO-Projekten findet man Anlagen mit Mängeln. Die Mängelbehebung ist jedoch kein Teil eines Betriebsoptimierungs-Projektes, sondern muss durch den Anlagen-Ersteller separat, vorzugsweise vorgängig, erfolgen. Mängel lassen sich in vielen Fällen aber nicht ignorieren, weil sie die Resultate von Massnahmen signifikant beeinflussen können (z.B. nicht funktionierende bedarfsorientierte Steuerung von Verteilung und Erzeugung). Mängel müssen daher nach dem Entdecken sofort dem Eigentümer gemeldet werden, damit dieser die geeigneten Massnahmen zu deren Behebung einleiten kann.»		X	
Bedarf	S. 12, 2.2.1	Allg.	«Die Hauptziele einer eBO sind, den Betrieb der Anlagen der effektiven Nutzung bzw. dem effektiven Bedarf anzugleichen und darauf abzustimmen sowie die energetisch optimale Betriebsweise zu ermitteln, festzulegen, einzuführen und kontinuierlich beizubehalten.»		X	
Bedarf, Abwesenheit	S. 13, 3.1.1	Allg.	«3.1.1: Folgende technische Voraussetzungen sind seitens des Eigentümers zu gewährleisten, damit eine eBO sinnvoll durchgeführt werden kann: Die Anlagen lassen im Idealfall eine bedarfs- und/oder abwesenheitsabhängige Betriebsweise zu. Im Minimum sind Schaltuhren und eine automatische Ein-/Ausschaltung vorhanden.»		X	
Anwesenheit, Bedarf	S.14, 3.3	Allg.	« 3.3.1 Bedarf hinterfragen Überprüfen, ob die Betriebszeiten, Sollwerte, Toleranzen und Vorgaben anwesenheits- und bedarfsgerecht gewählt sind. 3.3.2 Systeme zeitlich und mengenmässig anwesenheits- und bedarfsgerecht betreiben 3.3.2.1 Ausschalten, wenn ein Betrieb ohne Nutzen erkannt wird. Für einzelne Geräte und Anlagen ist jedoch ein gewisser Energiebezug auch ausserhalb der Nutzungszeiten notwendig (z.B. Sicherheit, Lebensmittelskühlung, rasche Betriebsbereitschaft, Automatisierungsfunktionen). 3.3.2.2 Energierrelevante Betriebsparameter nach dem Grundsatz «so wenig wie möglich - nur so viel wie nötig» reduzieren, wenn weniger Bedarf erforderlich ist. 3.3.2.3 Alle Sollwerte auf energieoptimale Werte (minimal notwendige oder maximal erlaubte) anpassen. 3.3.3 Anlagen und Systeme im energetisch optimalen Betriebspunkt betreiben 3.3.3.1 Anlagen möglichst automatisch und bedarfsabhängig (Automatik muss Bedarf und/oder Anwesenheiten erkennen) betreiben und manuelle Betriebsarten reduzieren. 3.3.4.2 Vorhandene Intelligenz übergeordneter System nutzen, beispielsweise: Verhindern, dass mehrere Zeitprogramme überschneidend wirken (z.B. auf einen bedarfsgesteuerten Erzeuger);»		X	
Nachlaufzeit	S. 24, B1.4	Licht	Anhang B: Liste mit Punkten die bei der Umsetzung einer eBO (energetische Betriebsoptimierung) zu beachten sind. « B.1.4 Beleuchtung	X		

			Nachlaufzeiten bei Minuterie-Schaltern und Bewegungsmeldern»			
Bedarf	S. 24, B.3.1.2	Heizung	Anhang B: Liste mit Punkten die bei der Umsetzung einer eBO (energetische Betriebsoptimierung) zu beachten sind. « B.3.1.2 Wichtige Punkte Bedarfsmeldungen der Zonen korrekt?»		X	
Bedarf	S. 25, B.3.2	Heizung	Anhang B: Liste mit Punkten die bei der Umsetzung einer eBO (energetische Betriebsoptimierung) zu beachten sind. « B.3.2 Wärmeverteilung und –abgabe Bedarfssignale der (Raumtemperatur-)Regelung»		X	
Bedarf	S. 26, B.4.1	Kälte	Anhang B: Liste mit Punkten die bei der Umsetzung einer eBO (energetische Betriebsoptimierung) zu beachten sind. « B.4.1 Kälteerzeugung Geforderte Kühlmedium- bzw. Kaltwasser-Temperaturen, Bedarfsanpassung dieser Temperaturen»		X	
Bedarf	S. 26, B.4.2	Kälte	Anhang B: Liste mit Punkten die bei der Umsetzung einer eBO (energetische Betriebsoptimierung) zu beachten sind. « B.4.2 Kälteverteilung und –abgabe Betriebszeiten, Bedarf Bedarfssignale der (Raumtemperatur-)Regelung»		X	
Belegung	S. 27, B.5.2	Lüftung	Anhang B: Liste mit Punkten die bei der Umsetzung einer eBO (energetische Betriebsoptimierung) zu beachten sind. « Anhang B - Wichtige Punkte nach Anlagentyp B.5.2 Luftverteilung und –abgabe Luftwechsel, Aussenluftanteil (z.B. auf CO2-Gehalt regeln, auf Belegung anpassen)»		X	
Bedarf	S. 29, C.5	Allg.	« C.5 Das Schwergewicht der eBO* liegt in folgenden Bereichen Ein-/Aus- und Regelverhalten bedarfsmässig gesteuerter Anlagen (z.B. Frequenzumformer, Stufenschaltungen, Kaskadenschaltungen) im realen Betrieb analysieren und prüfen (z.B. mittels Trendanalysen).»		X	

SIA 2024:2015 Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz	S. 6, 0.3.1	Licht	«Art der Beleuchtungssteuerung (Präsenz - und Tageslichtregelung)»	X		
Belegung	S. 6, 0.3.4	Licht	«Für den Betrieb der Raum- und Akzentbeleuchtung ist das Personenprofil massgebend. Ausserhalb der Belegungszeiten bleibt die Raum- und Akzentbeleuchtung ausgeschaltet.»	X		
Präsenz, anwesend	S. 17, 1.3.4.8	Licht	« Korrekturfaktor für Präsenzregelung Der Präsenzmelder ermöglicht eine automatische Abschaltung der Beleuchtungsanlage, wenn keine Personen anwesend sind. Der Korrekturfaktor Präsenzmelder ist von der Art der Präsenzregelung und der Nutzung abhängig. Für die Standard- und Bestand-Werte wird der Wert 1,0 verwendet. Als Zielwerte werden die Werte gemäss SIA 380/4, Tabelle 33, Spalte «automatische Ein- und Aus-Schaltung» verwendet.»	X		
Anwesend, Belegung	S. 19, 1.3.5.3	Lüftung	« 1.3.5.3 Steuerung und Regelung des Luftvolumenstroms Bei einer zweistufigen Steuerung bzw. Regelung wird der volle Volumenstrom nur dann berücksichtigt, wenn mindestens 67 % der Personen anwesend sind. Bei weniger als 67% Belegung wird der Volumenstrom während der Betriebszeit auf 67% des Auslegungswerts reduziert.»			X
Präsenz	S. 30 - 119	Licht	«Korrekturfaktor für Präsenzregelung» wird in jedem Datenblatt aufgeführt	X		

SIA 380.1:2016 Heizwärmebedarf

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, Anwesenheit	S. 29, 3.5.1.6	Heizung	« 3.5 Eingabedaten 3.5.1 Nutzung 3.5.1.6 Präsenzzeit pro Tag t_p (h) Als Präsenzzeit gilt die durchschnittliche Anwesenheitszeit von Personen pro Tag. Dabei sind Wochenenden, Ferien und Ähnliches zu berücksichtigen, indem ein Mittelwert über die Berechnungsschritte eingesetzt wird. Tabelle 11 Standardnutzung: Präsenzzeit » -> Tabelle mit Präsenzzeit pro Tag in h pro Gebäudekategorie	X		
Bedarf	S. 39, 3.5.5.2 (S. 47, B.8 gleiche Tabelle nochmal)	Lüftung	« 3.5.5.2 Korrekturfaktor für die Lüftungseffektivität mechanischer Lüftungssysteme f_v Tabelle 24 Korrekturfaktor für die Lüftungseffektivität mechanischer Lüftungssysteme f_v (Rechenwerte) Lüftungsanlage, unterstützt durch Abluftanlagen in innenliegenden Räumen - einstufig – bedarfsgesteuert »		X	
Präsenz	S. 44, Tabelle 27	Heizung	Tabelle 27 Übersicht über die Standardnutzungswerte -> wie Tabelle 11, mit Präsenzzeit pro Tag in h pro Gebäudekategorie	X		

SIA 380/4:2006 Elektrische Energie im Hochbau

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, (Nachlauf- zeit)	S. 13, 1.1.4	Licht	«1.1.4 Definitionen für die Beleuchtung Präsenzregelung Bei der automatischen Ein/Aus-Schaltung wird die Beleuchtung bei Personenpräsenz eingeschaltet und bei Personenabsenz nach einer bestimmten Frist ausgeschaltet. Bei der automatischen Ausschaltung erfolgt nur das Ausschalten automatisch, das Einschalten muss manuell erfolgen.»	X		
Bedarf	S. 25, 2.1.4	Allg.	«2.1 Zusammenarbeit von Bauherrschaft, Architekten und Fachingenieuren 2.1.4 Die Gebäudetechnikplaner können durch präzise Dimensionierung der technischen Ausrüstung, durch optimale Systemwahl und durch bedarfsorientierte Regelung aller technischen Anlagen zur rationellen Elektrizitätsnutzung wesentlich beitragen.»		X	
Präsenz	S. 36, 3.3.1.4.2	Licht	«3.3.1.4 Volllaststunden der Raumbeleuchtung 3.3.1.4.2 Die Einschaltdauer der Beleuchtung ist stark von der Bedienung durch die Benutzer und von der Art der Lichtregelung abhängig. Bei der Präsenzregelung wird die Beleuchtung auf Grund der Personenpräsenz ein- und ausgeschaltet. Bei der Tageslichtregelung wird die Beleuchtung auf Grund des einfallenden Tageslichts geregelt oder ein- und ausgeschaltet. Die beiden Arten der Regelung können kombiniert werden.»	X		
Präsenz	S. 43, 3.3.3.1	Licht	«3.3.3 Näherungsmethode für die Volllaststunden der Raumbeleuchtung 3.3.3.1 Allgemein Die Volllaststunden Beleuchtung werden in zwei Schritten berechnet. In einem ersten Schritt werden unter Berücksichtigung der Art der Regelung und der baulichen Gegebenheiten die Volllaststunden für eine tägliche Nutzungszeit von 11 Stunden berechnet. In einem zweiten Schritt wird diese Zahl umgerechnet auf die Nutzungsstunden der effektiven Nutzung. Dabei wird auch die Reduktion der Volllaststunden durch einen Präsenzmelder berücksichtigt. 3.3.3.3 Volllaststunden für allgemeine Nutzungszeiten mit Berücksichtigung eines Präsenzmelders Beim Korrekturfaktor Präsenzmelder wird zwischen Nutzungen mit ständiger Präsenz ($k_{pr}= 1,0$), Nutzungen mit normaler Präsenz ($k_{pr}= 0,8$ bzw. $0,7$) und Nutzungen mit sporadischer Präsenz ($k_{pr}= 0,6$ bzw. $0,5$) unterschieden. In Bettenzimmern und patientenzugänglichen Verkehrs- und Nebennutzflächen von Spitälern und Krankenhäusern (sensible Nutzungen) sind Präsenzmelder nicht zulässig. Die sich so ergebenden Werte für den Korrekturfaktor Präsenzmelder k_{pr} sind in Tabelle 33 angegeben.»	X		
Präsenz	S. 45, Tabelle 33	Licht	«Tabelle 33 Korrekturfaktor Präsenzmelder k_{pr} »	X		
Präsenz	S. 68, 4.3.1.3	Licht	«4.3.1.3 Anforderungen an die Schaltung Bei Raumtiefen über 5 m muss die fensternahe Leuchtenreihe separat schaltbar sein. Beim Zielwert muss die	X		

			Beleuchtung mit Tageslichtregelung (Konstantlicht; Ein/Aus oder Aus) und Präsenzregelung (Ein/Aus oder Aus) - ausser in Nutzungen mit ständiger Präsenz oder mit sensiblen Nutzern (vgl. Ziffer 3.3.3.3) - geregelt werden.»			
Präsenz	S. 69, 4.3.2.2	Licht	«4.3.2.2 Standardannahmen im Vergleichsprojekt für die Berechnung des Grenzwertes Der Grenzwert für den spezifischen Elektrizitätsbedarf Beleuchtung ergibt sich mit folgenden Standardannahmen: - Präsenzregelung: manuelle Schaltung ($k_p = 1,0$)»	X		
Präsenz	S. 69, 4.3.2.3	Licht	«4.3.2.3 Standardannahmen im Vergleichsprojekt für die Berechnung des Zielwertes Der Zielwert für den spezifischen Elektrizitätsbedarf Beleuchtung ergibt sich mit folgenden Standardannahmen: - Präsenzregelung: automatische Ein- und Aus-Schaltung ($k_{pr} = 0,6$ bzw. $0,8$ bzw. $1,0$)»	X		
Präsenz	S. 70, 4.4.1.1	Lüftung, Licht	«4.4 Lüftung/Klimatisierung 4.4.1.1 Voraussetzungen Die Beleuchtung muss mit einer automatischen Steuerung ($k_c \leq 1,2$ und Präsenzmelder bei sporadischer und normaler Präsenz) versehen sein.»	X		
Präsenz	S. 72, 4.4.2.1.5	Lüftung, Licht	«4.4.2 Systemanforderungen 4.4.2.1.5: mit Beleuchtungssteuerung ($k_c = 1,2$ und automatische Ein- und Aus-Schaltung auf Grund Präsenz)	X		

SIA (2044 Merkblatt) Klimatisierte Gebäude - Standard-Berechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf

Stichwort	Quelle	Gewerk	Funktion	k.P.	k.P & e.P.	e.P.
Präsenz, Belegung, anwesend	S. 28, 2.2.4.3	Lüftung, Licht	«2.2.4.3 Beleuchtungsregelung In Raumbereichen, welche mehr als die zweifache Raumhöhe von einer Fassade mit Fenstern entfernt sind, bleiben die Leuchten eingeschaltet. Die Einschaltdauer wird entsprechend der nutzungsspezifischen Personenbelegung berechnet. In den übrigen Raumbereichen ist die Beleuchtung abhängig von der Art der Tageslichtregelung: ... Bei Präsenzmeldern wird die momentane Beleuchtungsleistung bei Personenbelegung wie folgt berechnet: $p_{L,act} = P_L * k_{pr}$ k_{pr} Korrekturfaktor Präsenzmelder gemäss SIA 380/4, Tabelle 33 Wenn keine genaueren Angaben vorliegen, ist immer von automatischer Präsenz- und Tageslichtregelung auszugehen. Der Einfluss von Tageslichtregelung und Präsenzmeldern wird kumuliert. Wenn aufgrund des Personenprofils keine Personen im Raum anwesend sind, ist die Beleuchtung unabhängig von der Regelung immer aus.»			X
Belegung	S. 28, 2.2.6.2	Lüftung	«2.2.6.2 Volumenstrom bei mechanischer Lüftung ($q_{v,sys}$)			X

			Wenn keine genaueren Angaben vorliegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Differenz zwischen Zu- und Abluftvolumenstrom aus Nachbarräumen nachströmt bzw. in Nachbarräume abströmt (Kaskadenlüftung). Dabei sind $q_{V,SUP}$ und $q_{V,ETA}$ als nominale Werte bei Auslegungsbedingung zu verstehen. Sie müssen mit dem dimensionslosen, von der Lüftungsregelung und allenfalls von der Personenbelegung abhängigen Lüftungsprofil multipliziert werden, um den effektiven stündlichen Volumenstrom wiederzugeben.»			
anwesend, Belegung	S. 29, 2.2.6.3	Lüftung	« 2.2.6.3 Volumenstromregelung Bei 1-stufigen Lüftungsanlagen wird während der gesamten Belegungszeit der volle Volumenstrom $q_{V,sys}$ berücksichtigt. Bei 2-stufigen Lüftungsanlagen wird der volle Volumenstrom nur dann berücksichtigt, wenn mindestens 67% der Personen anwesend sind. Bei einer Belegung unter 67% wird der Volumenstrom auf 67% des Auslegungswerts reduziert.»			X
Bedarf	S. 34, 2.4.1.4	Lüftung	« 2.4.1.4 Koeffizient für die örtliche Luftvolumenstrom-Regelung C_{ctr} Für Anlagen mit variablen Luftvolumenstrom (bedarfsgeregelte Lüftung, WS-Systeme) ist der C_{ctr} -Koeffizient ($\leq 1,0$) der Quotient des tatsächlichen Luftvolumenstroms für einen gegebenen Zeitraum, dividiert durch den Wert von $q_{V,SUP,req}$ oder $q_{V,ETA,req}$, wenn letztere als Auslegungswerte definiert sind.»		X	
Bedarf	S. 35, 2.4.1.5	Lüftung	« 2.4.1.5 Umluftkoeffizient C_{RCA} Der Umluftkoeffizient ($\geq 1,0$) wird hauptsächlich für WS-Systeme mit Umluft verwendet. Mit seiner Hilfe wird der Bedarf nach höherer als der geforderten Aussenluftzufuhr berücksichtigt.»		X	
Präsenz	S. 58, 3.1.5.4	Lüftung, Licht	« 3.1.5 Beleuchtung 3.1.5.4 Bezüglich Beleuchtungsregelung wird zwischen Präsenzmeldern und Tageslichtregelung unterschieden. Bei Präsenzmeldern wird unterschieden zwischen automatischer Ausschaltung und automatischer Ein- und Ausschaltung. Die Korrekturfaktoren für Präsenzmelder k_{pr} hängen von der Raumnutzung ab und können aus SIA 380/4, Tabelle 33 übernommen werden.»	X		
Belegung	S. 58, 3.1.6.3		« 3.1.6 Interne Wärme- und Feuchtequellen 3.1.6.3 Für die Wärme- und Feuchteabgabe durch Personen sind die Anzahl Personen bei Vollbelegung und deren nutzungsbedingter Aktivitätswert M massgebend. Die Wärme- und Feuchteabgabe bei Vollbelegung wird mit dem dimensionslosen Personenlastprofil multipliziert. Detaillierte Angaben zur Berechnung der Wärme- und Feuchteabgabe durch Personen in Abhängigkeit der Tätigkeit finden sich in SIA 382/1, Anhang B.»			X
Belegung	S. 59, 3.1.7.3	Lüftung	« 3.1.7 Lüftung 3.1.7.3 Bei hygienisch bedingter Fensterlüftung wird angenommen, dass die Benutzer die Lüftungsflügel entsprechend dem hygienischen Aussenluftbedarf bedienen. Der Volumenstrom $q_{V,w}$ entspricht somit den an			X

			die effektive Personenbelegung angepassten Auslegungswerten für die Aussenlufrate gemäss Ziffer 3.1.7.1.»			
--	--	--	--	--	--	--

9.2 Anforderungen an die Sensorik – Transkript der Interviews

Fachperson 1: Leiter Versorgungstechnik, Basler & Hofmann AG

		Wert	Anwendung	Priorität	Bemerkungen
Sensor-Eigenschaften	Preis	PIR bis viel mehr (ca. konventionell +50%)	Büro; bei Spezialanwendungen viel mehr akzeptabel	Wunsch	Hoher Preis dann akzeptabel, wenn der neue Sensor Ersatz ist für Engineering-Aufwand. Die Preisfrage klärt sich im Endeffekt im System: Preis, Einsparungen im System, Nutzen
	Grösse/Abmessungen	Ähnlich zu PIR	Büro; bei Spezialanwendungen ähnlich	Zwingend	Einbau in Zwischendecke, sichtbarer Teil auf Höhe Zwischendecke; Wand- oder UP-Montage weniger typisch
	Aussehen/Farbe	Farbpalette oder spritzbar	Alle	Zwingend	
	Sichtbarkeit: gut sichtbar, diskret...	Diskret	Büro	Zwingend	Das Gerät soll nicht als "Überwachungsgerät" daherkommen. Steinel HPD2 wäre i.O.
	Bildgebend: ja/nein	i.O., siehe Protokoll			
	Zusätzliche Messwerte	Helligkeitsverteilung			ID nicht erwünscht, sollen andere Systeme liefern
	Sensortyp: Standalone oder Hub	Hub		Wunsch	Hub nicht unbedingt am richtigen Ort zur Erfassung der Daten; aber: kommunikative Schnittstelle mit weiteren Sensoren kann nützlich sein (drahtlos!). Hub Gedanke grundsätzlich wünschenswert.
	Funktionalität: Präsenz, zählen, ID, Tätigkeit...	Position, Anzahl	Gesundheitsbauten, Büro, Technikraum	Wunsch	Tätigkeit sekundär; Anzahl Personen massgebend
	Reichweite	Wie PIR		Zwingend	Auch grosse Volumen werden in Bereiche unterteilt (ca. 10x10m); Büro ähnlich bis 20x20
	Messgenauigkeit	Grob	Büro		Im Spezialbereich (Technikraum) muss z.T. hoch sein
	Zonierung: keine, SW, Blende	SW		Zwingend	Bei PIR und Video heute eh vorhanden
	Montageart: AP, UP, Zwischendecke	Vorwiegend Zwischendecke			
Installation & Inbetriebnahme, Umnutzung	Montageort: Decke, Wand...	Decke			
	Speisung: Netz, Batterie, Autark	Netz; Sensoren auch Batterie		Zwingend	Netz immer vorhanden; Batterie kaum akzeptiert aufgrund der Anzahl Geräte (bei Sensoren eventuell ok)
	Kommunikation: drahtgebunden, drahtlos, PL	Drahtgebunden		Zwingend	PoE wird häufig eingesetzt (Industrie, Büro). Drahtlos auch am Aufkommen, wenn wirtschaftlich sinnvoll. Drahtlos ok, solange nicht sicherheits-relevant.
	Schnittstellen/Bussysteme	Die üblichen Standards			Auch IoT-typische Netzwerke werden relevant
	Konfiguration: am Sensor, Remote, SW/Bus, Handy...	Je länger je mehr remote, über Web-Schnittstelle			
	Parametrierung/IBS: keine, trivial, aufwändig, auto	Solange Grundkonfig. für alle Geräte übernommen werden kann, auch aufwändig ok			

	Montage: trivial, einfach, aufwändig	Wie bei Elektrogeräten üblich			
	Platzierung/Ausrichtung: trivial, einfach, aufwändig	Trivial - einfach		Zwingend	Wie kann ich den Sensor gemäss Planung ausrichten? Korrekte Ausrichtung muss sofort und beim ersten Durchgang ersichtlich sein, z.B. via App
	Ausführender: Elektriker, FM, Nutzer...	Elektriker		Zwingend	Komponenten werden regelmässig am falschen Ort eingebaut => Selbstkonfig wäre sehr wünschenswert
Unterhalt, Ersatz	Lebensdauer	Wie konventionelle GA-Komponenten		Zwingend	
	Unterhalt: keinen, periodisch, bei Bedarf	Keinen		Zwingend	
	Redundanz: ja, nein	Ja in Sicherheitsräumen			
	Verfügbarkeit/Lieferfristen	Wie üblich			
	Ausführender: Elektriker, FM, Nutzer...	FM			
	Alarmierung bei Geräteausfall	Ja			Wird teils durch Controller (Watchdog-Funktion) und teils durch predictive maintenance gemacht
	Aufwand für Ersatz des Gerätes (Installation, Engineering)				Industrie: technisches Personal ersetzt; Büro: FM. Wenn neuer Einbau in Zwischendecke, Anschluss an Netzwerk usw.: Elektriker (via Service-Vertrag)
	SW-Updates	Transparent, automatisch		Zwingend	Treiber-Update nur zulässig während Umbauten, Nutzungsänderungen
Betrieb	Cloud-Fähigkeit	Nein bzw. TBD			Nutzen noch nicht eindeutig. Öffnung nach aussen setzt viele Sicherheitsmechanismen voraus. Akzeptanz im Zweckbau auch in 10 Jahren nicht zu erwarten.
	Zuverlässigkeit	Siehe oben			
	Ausfallrate: nie, selten, manchmal, periodisch	Keine Ausfälle während Lebensdauer			
	Neuparametrierung: nie, bei Bedarf (selten, oft), periodisch	Nur automatisch		Zwingend	Systematische Nachjustierung nicht zulässig. Dies wäre äquivalent zu kurzer Lebensdauer.

Fachperson 2: Innovationsmanager, Post Immobilien Management und Services AG

		Wert	Anwendung	Priorität	Bemerkungen
Sensor-Eigenschaften	Preis	-Intelliclean: max. 50-100 Franken pro Raum für Sensorik -Arbeitswelten: nicht Preissensitiv, eher Aufwand im Vordergrund -Shared Desk: sollte mit Locatee konkurrenzfähig sein			
	Grösse/Abmessungen				
	Aussehen/Farbe				
	Sichtbarkeit: gut sichtbar, diskret...	Diskret			
	Bildgebend: ja/nein	-Mitarbeiter muss informiert sein -Wenn Bilddaten nur lokal verfügbar sind, rechtlich unbedenklich			Schlechte Erfahrungen mit WC-System
	Zusätzliche Messwerte	Preisabhängig: für 2000.- werden sicher detailliertere Angaben erwartet			Zusätzliche Messwerte nebst der erweiterten Präsenz: Temperatur, Helligkeit, ...
	Sensortyp: Standalone oder Hub	Grundgedanke ist gut, aber preislich muss ein Hub auf derselben Ebene sein wie heutige Lösungen			Alpiq Lösung wurde mal bewertet
	Funktionalität: Präsenz, zählen, ID, Tätigkeit...				
	Reichweite	Wird über Preis und Installationsaufwand entschieden			
	Messgenauigkeit	Applikationsabhängig. Bei Piazza auch Kurzzeitmessung wichtig.			Nur qualitativ: unwesentlich, mittel, hoch
	Zonierung: keine, SW, Blende	Raum muss abgedeckt werden.			
Installation & Inbetriebnahme, Umnutzung	Montageart: AP, UP, Zwischendecke	Im Sitzungszimmer Deckenmontage			
	Montageort: Decke, Wand...				
	Speisung: Netz, Batterie, Autark	-Intelliclean: muss Autark sein -Sonst: grundsätzlich kann das System in bestehende GA eingebunden werden -Im Altbau: möglicherweise drahtlose Systeme erforderlich			
	Kommunikation: drahtgebunden, drahtlos, PL				
	Schnittstellen/Bussysteme	Am Hauptsitz: KNX			
	Konfiguration: am Sensor, Remote, SW/Bus, Handy...	Falls vorhanden: über Gebäudeleitsystem			

	Parametrierung/IBS: keine, trivial, aufwändig, auto	Bei Inbetriebnahme Gebäude: Gebäude wird schlüsselfertig von GU übergeben -Bei Umbauten: einzelne Aufgaben auch durch Post Immo direkt			
	Montage: trivial, einfach, aufwändig	Aufgaben können aufgetrennt werden: eine Pers. Für Montage, eine weitere für Konfiguration			
	Platzierung/Ausrichtung: trivial, einfach, aufwändig	So einfach wie möglich - Auch bei LAN Lösung müssen Standorte konfiguriert werden			
	Ausführender: Elektriker, FM, Nutzer...				
Unterhalt, Ersatz	Lebensdauer	Übliche Lebensdauer			
	Unterhalt: keinen, periodisch, bei Bedarf	Kein Unterhalt			Auch max. zumutbarer Unterhaltsaufwand spezifizieren
	Redundanz: ja, nein	Nein; Meldung von Ausfall genügend			Muss die Präsenzerfassung bei Sensor-Ausfall weiter funktionieren?
	Verfügbarkeit/Lieferfristen	Wie übliche Sensoren			
	Ausführender: Elektriker, FM, Nutzer...				
	Alarmierung bei Geräteausfall	Ja			Alarmierung über welche Kanäle?
	Aufwand für Ersatz des Gerätes (Installation, Engineering)				
	SW-Updates				
Betrieb	Cloud-Fähigkeit	Daten nicht so kritisch; Nutzen von Cloud-Lösung auch nicht klar			Office 365 führt intern zu Diskussionen
	Zuverlässigkeit	Nicht kritisch			
	Ausfallrate: nie, selten, manchmal, periodisch	Nur wichtig, weil Ausfälle zu Kosten führen			
	Neuparametrierung: nie, bei Bedarf (selten, oft), periodisch	So wenig wie möglich			



9.3 Datenschutz – Kontakte

Datenschutzbeauftragter des Kantons Luzern

Bahnhofstrasse 15
6002 Luzern

datenschutz@lu.ch

Datenschutzbeauftragter der Hochschule Luzern

Werftstrasse 4, Raum 230
Postfach 2969
6002 Luzern

roger.mueller@hslu.ch