



NEUE MÖGLICHKEITEN EINES ENTWICKELTEN TESTRAUMS MIT VIELFÄLTIGEN MESSTECHNOLOGIEN FÜR DIE INNENPARAMETER UND DIE BENUTZERINTERAKTION IN VERSCHIEDENEN ARTEN VON KOMFORT UND DIGITALEN TECHNOLOGIEN (IOT).

Maximilian Günzel¹, Simon Stinglhammer², Werner Jensch³

¹ Hochschule München, München, Deutschland, E-Mail: maximilian.guenzel@hm.edu

² Hochschule München, München E-Mail: simon.stinglhammer0@hm.edu

³ Hochschule München, München E-Mail: werner.jensch@hm.edu

Kurzfassung

Die Forschungsarbeit präsentiert zwei realisierte Testräume mit umfassenden Messtechnologien für Innenparameter, Benutzerinteraktion und HVAC-Systemenergieverbrauch. Raum eins integriert ein Lüftungssystem und spezielle Beleuchtung (Farbtemperatur usw.), während Raum zwei als Referenz mit standardmäßiger Ausstattung dient. Der Testraum ermöglicht neue praktische Szenarien und Chancen zur Kombination von Komfort und IoT durch Automatisierung und Visualisierung. Die Studie fokussiert auf den Vergleich von Energieverbrauch, Nutzerverhalten und multi-dominanter Umgebung. Ein zentraler Aspekt ist die Benutzerrolle auf verschiedenen Ebenen, von Betreibern bis Studierenden, mit Interventionen in Parametern und Ergebnissen. Die Testräume bieten zudem Möglichkeiten für digitale Integration, inklusive digitaler Zwillinge und Betriebstechnologien.

Abstract

This research paper presents two implemented test spaces with comprehensive measurement technologies for indoor parameters, user interaction, and HVAC system energy consumption. The first space integrates a ventilation system and special lighting (color temperature, etc.), while the second space serves as a reference with standard equipment. The test space allows for new practical scenarios and opportunities to combine comfort and IoT through

automation and visualization. The study focuses on comparing energy consumption, user behavior, and a multi-dominant environment.

A key aspect is the user role at different levels, from operators to students, with interventions in parameters and outcomes. The test rooms also offer opportunities for digital integration, including digital twins and operational technologies.

Einleitung

Die Behaglichkeit der Nutzer hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch von Gebäuden wie (Delzende et. al., 2017) zeigte. Aus diesem Grunde muss der Quantifizierung des Nutzereinflusses in die Betrachtung des Energieverbrauchs von Gebäuden eine erhöhte Priorität zugesprochen werden.

Das Forschungsinstitut CENERGIE unterhält aus diesem Grund in Zusammenarbeit mit dem Gebäudemanagement der Hochschule München zwei Testräume. Diese sind mit einem unterschiedlichen Grad der gebäudetechnischen Ausstattung bei annähernd gleichen geometrischen Abmessungen (Tabelle 1) versehen.

Vorstellung Testraum und Referenzraum

Die Räume sind unterteilt in einen technisch hoch ausgerüsteten Vorlesungsraum sowie einen zugehörigen Referenzraum. Die darin installierte Technik wurde unter anderem im Rahmen des

Tabelle 1: Geometrischen Daten Messräume (Vgl. Winkler M. et. al., 2016)

PARAMETER	EINHEIT	MASTERRAUM	REFERENZRAUM
GRUNDFLÄCHE	M ²	77,9	77,8
RAUMHÖHE	M	3,00	3,20
VOLUMEN	M ³	234,1	247,8
FASSADENLÄNGE	M	9,0	9,0
RAUMTIEFE	M	9,0	9,0
TRANSPARENTEN FLÄCHE	%	55,3	55,3
BELEGUNG MIT	PERS	38	41

Forschungsvorhabens EnEff (FKZ 03ET1075A) errichtet.

Der Vorlesungsraum verfügt dabei über eine dezentrale Teilklimaanlage mit mehreren thermodynamischen Luftbehandlungsstufen.

Dabei können die Sollwerte der Raumluftqualität (Lufttemperatur und CO₂-Konzentration) von den Nutzern beeinflusst werden.

Die Nutzer des Raumes haben dabei die Möglichkeit die Betriebsmodi der Teilklimaanlage je nach den Behaglichkeitsanforderungen über ein Bediendisplay zu beeinflussen. Eine neuartige Visualisierung in Form eines digitalen Zwillinges ist zusätzlich installiert.

Die beiden Räume wurden zur Auswertung der Daten mit umfassenden Sensoren ausgestattet (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Auswahl der verwendeten Sensoren (Vgl. Winkler M. et. al., 2016)

PARAMETER	MESSWERTE
TEMPERATUR	RAUMLUFTTEMPERATUR, AUßENLUFTTEMPERATUR, OBERFLÄCHENTEMP ERATUR
FEUCHTE	RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT
KONZENTRATION EN	MISCHGAS VOC, CO ₂ - KONZENTRATION
HELLIGKEIT	AUßENHELLIGKEIT, RAUMHELLIGKEIT
BETÄTIGUNGEN	PRÄSENZ, FENSTERÖFFNUNG, SONNENSCHUTZ
ENERGIE	WÄRMEMENGENZÄ HLER, STROMZÄHLER

Einordnung Testraum

Durch die Unterteilung in zwei Räume mit unterschiedlichem Technologiestandard können die Nutzereinflüsse in den Energieverbrauch von Unterrichtsräumen besser quantifiziert werden.

Eine Analyse von von 396 wissenschaftlichen Publikationen zu Testräumen (vgl. A.L. Pisello et. al., 2021) zeigt, dass die beiden Messträume zu den 4% der Räume mit 3 oder mehr physikalischen Domänen die gemessen/untersucht werden können, zugeordnet werden können. Ebenso zeigt die Analyse, dass von den Publikationen, welche bis Juni 2020 erschienen sind, der Großteil (82%) in Europa und Asien errichtet wurden.

Eine Besonderheit des Raumes ist dabei die Nutzung in realer Umgebung durch Studierende im Lehrbetrieb. Er ist damit den 3% der untersuchten

Räume zuzuordnen, welche die Nutzungsart „Klassenzimmer“ aufweisen. Damit können die Studierenden als Nutzer des Raums einen direkten Einfluss auf die Behaglichkeitsparameter nehmen, was bei 21 der 396 untersuchten Publikationen aufgeführt ist.

Ebenso stellt die Nutzung von einem externen Sonnenschutz sowie die Außenfassade eine Besonderheit gegenüber den untersuchten Räumen dar. Dabei weisen nur drei der Räume einen externen Sonnenschutz und vier einen internen Sonnenschutz auf. Ein Fenster ist in den meisten Testräumen (68%), welche in ein Gebäude integriert sind, vorhanden. Die meisten untersuchten Testräume (Abbildung 1) sind dabei von bestehenden Gebäuden losgelöst (43%). In Gebäuden untergebrachte Testräume sind dabei mit 32% der untersuchten Publikationen gegeben. Von den Räumen weisen etwa die Hälfte (49%) eine Grundfläche von über 20 m² auf.

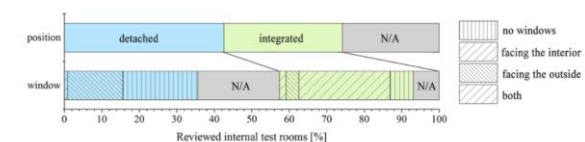


Abbildung 1: Überblick über die Aufteilung von Testräumen hinsichtlich Einbindung und Fenstern (A.L. Pisello et. al., 2021)

Dabei wird bei dem überwiegenden Anteil der Testräume eine zentrale Luftbehandlung vorgenommen und eine raumweise Regelung durch die Nutzer ist nicht möglich. „Der am häufigsten zentral gesteuerte Parameter ist die Lufttemperatur, gefolgt von der Luftfeuchtigkeit und der Luftqualitätskontrolle.“ (A.L. Pisello et. al., 2021)

Dem niedrig technologisch ausgestatteten Referenzraum kommt eine besondere Beachtung zu. Dieser dient hierbei als reale Referenzumgebung gegenüber dem hochtechnologisierten Vorlesungsraum. Damit können die Nutzereinflüsse auf die Behaglichkeit und die Interaktion mit dem Endnutzer quantifiziert werden.

Nutzerverhalten im Kontext von Testräumen

Die Abbildung 2 zeigt die verschiedenen Ebenen, welche unter dem Nutzerbegriff zu verstehen sind. Sie beschäftigt sich mit dem Begriff des „Nutzers“ und dessen unterschiedlichen Ausprägungen im Kontext von Gebäuden und Räumen.

Der Begriff „Endnutzer“ beschreibt Personen, die sich in einem Gebäude oder Raum aufhalten und mit ihm interagieren. Hierzu können beispielsweise Kunden, Besucher oder auch Mitarbeiter zählen. Im Kontext von Bildungsgebäuden und Testräumen sind unter dem Begriff „Endnutzer“ Schülerinnen und Schüler, sowie Lehrerinnen und Lehrer bzw.

Dozentinnen und Dozenten oder Professorinnen und Professoren zu verstehen.

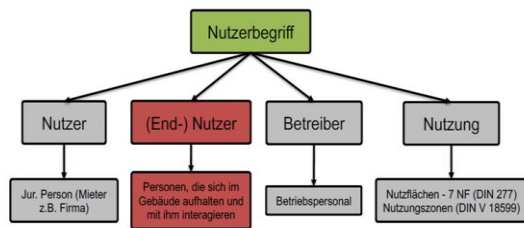


Abbildung 2: Die verschiedenen Ebenen des Nutzerbegriffs (NuData Campus)

Energierrelevantes Nutzerverhalten

Das Nutzerverhalten in Gebäuden, insbesondere im Hinblick auf Energieaspekte, wird in der Literatur oft durch den Begriff „Anwesenheit und Handlungen der Nutzer“ (OPA - occupants' presence and actions) charakterisiert. Jegliche Verhaltensweisen und Aktivitäten der Endnutzer beeinflussen das Gebäude, seine technischen Anlagen, den Komfort und letztendlich den resultierenden Energieverbrauch.

Im Rahmen des Annex 53 wurde der den Begriff des energierelevanten Nutzerverhaltens ("energy-related occupant behavior") durch die Definition von "beobachtbaren Handlungen oder Reaktionen einer Person als Antwort auf äußere oder innere Reize sowie Handlungen oder Reaktionen einer Person zur Anpassung an Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Raumluftqualität und Sonnenlicht". Präzisiert. (**Annex 53 Final Report**)

Nutzer interagieren bereits (passiv) mit der bebauten Umgebung durch ihre Anwesenheit. Dies wird ergänzt durch die Bewegung im Gebäude. Bereits ohne aktive Interaktion treten bereits thermische Lasten, Kohlenstoffdioxid, wie auch Ausdünstungen, Gerüche etc. und Luftfeuchtigkeit durch die Nutzer auf. Diese müssen entweder mechanisch z.B. durch entsprechende Belüftung oder durch anschließendes aktives Handeln bspw. Fensterlüftung abgeführt werden.

Darüber hinaus gibt es die sogenannten (aktiven) Handlungen. Diese können entweder nicht-adaptiven Ursprungs sein, wie zum Beispiel das Nutzen von elektrischen Geräten, oder aber adaptiv durch Trigger ausgelöst werden.

Bspw. kann der Nutzer aufgrund von erhöhter Temperatur oder schlechter Luft das Fenster öffnen. Schließt er es wieder, ist entweder der gewünschte Komfort erreicht, oder aber ein anderer Faktor ist hier der Trigger: Schließen aufgrund von Kälte trotz schlechter Luft, Schließen aufgrund von zu hohem Straßenlärm etc.

In Hochschulgebäuden werden am häufigsten die folgenden Handlungen und Interaktion der Nutzer erwartet:

Anpassung der Raumlufttemperatur: In Abhängig von Raumnutzungstyp und Art der technischen Interaktion zur Erhöhung der Raumlufttemperatur

Öffnen der Fenster/Fensterlüftung: Zur Verbesserung der Raumluftqualität, aber auch zur Absenkung der Raumtemperatur.

Verwendung des Sonnenschutzes/Verschattung: Verschattung durch einen Sonnenschutz gegen übermäßigen Wärmeeintrag (Überhitzung, Anstieg der Raumtemperatur), aber auch zur Verhinderung von Blend- und Spiegeleffekten.

Nutzung der elektrischen Beleuchtung: Sicherstellung der Arbeitshelligkeit aufgrund mangelnder natürlicher Beleuchtung (Fenster). Zusammenhang mit z.B. der Verschattung, der Bildwirkung bei der Nutzung von PCs etc. Trotz ausreichend natürlichem Tageslicht, kann somit Energie für Beleuchtung erforderlich sein.

Nutzung von elektrischen Geräten: Die technische Ausstattung an Hochschulen und der damit verbundene elektrische Stromverbrauch ist je nach Nutzer stark unterschiedlich. Studierende nutzen hauptsächlich eigenen EDV-Geräte. Vereinzelt werden auch Geräte für den persönlichen Komfort verwendet, wie Ventilatoren und Heizgeräte. (**NuData Campus**)

Wie greift der Nutzer ein?

In Gebäuden wird eine Vielzahl von Interaktionen zwischen Endnutzern und Gebäudeschnittstellen diskutiert, die entscheidend für das Verständnis von menschlichem Verhalten, Energieverbrauch und Bewohnerkomfort in bebauten Umgebungen sind. Diese Interaktionen variieren erheblich in ihrer Komplexität und Benutzerfreundlichkeit, und sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung effizienter und komfortabler Gebäude.

Lichtsteuerungen, ermöglichen es den Nutzern, die Beleuchtung in einem Raum nach ihren Bedürfnissen und Vorlieben anzupassen. Die Interaktionen können durch konventionelle Lichtschalter, Tasten, digitale Bedienfelder oder sogar über Computer- und Smartphone-Apps erfolgen. Die Motivation für diese Interaktionen ist oft durch visuelles Unbehagen, Sicherheitsbedenken oder den Wunsch nach einer bestimmten Atmosphäre getrieben. Die Benutzerfreundlichkeit der Lichtschalter spielt eine entscheidende Rolle für die Zufriedenheit der Nutzer (**Day et al., 2020, S. 10**).

Thermostate, sind eine häufig genutzte Schnittstelle, bei der die Nutzer möglicherweise Schwierigkeiten haben, sie zu verstehen, insbesondere aufgrund der verzögerten Auswirkungen im Raum. Eine verbesserte Gestaltung und Benutzerfreundlichkeit der Schnittstelle könnte dazu beitragen, negative Auswirkungen zu verringern und den Nutzern eine

bessere Kontrolle und ein besseres Verständnis zu ermöglichen (Day et al., 2020, S. 4).

Fenster und Fensterbeschattungen ermöglichen es den Nutzern, die natürliche Belichtung und Belüftung in einem Raum zu steuern. Die Interaktion mit diesen Schnittstellen kann durch den Wunsch nach thermischem oder visuellem Komfort motiviert sein.

Digitale und gestische Schnittstellen repräsentieren einen bedeutenden Fortschritt in der Interaktion zwischen Endnutzern und Gebäuden. Diese Schnittstellen umfassen eine breite Palette von Technologien, von tangiblen und oberflächenbasierten Schnittstellen bis hin zu ambienten, gestischen, anstrengungsbezogenen und kontextbewussten Benutzerschnittstellen. Diese innovativen Interaktionstechniken schaffen zahlreiche neue Möglichkeiten für die Gestaltung digitaler Gebäudeschnittstellen, erfordern jedoch weitere Forschung, um zu verstehen, wie die Nutzer mit diesen neuen Technologien interagieren werden. (Day et al., 2020, S. 12).

Einflussmöglichkeit und Auswirkungen in Bildungseinrichtungen

Die Ergebnisse aus der Analyse integrativer Testräume legen den Weg frei für eine eingehendere Untersuchung des Einflusses von Nutzerverhalten und technologischer Anwendung in schulischen Umgebungen. Die Diskussion über die Ausgestaltung von Gebäudeschnittstellen, insbesondere im Kontext von Lichtsteuerungen, Thermostaten und digitalen Schnittstellen, eröffnet einen erweiterten Blick auf Bildungseinrichtungen.

Die Forschung verdeutlicht den Einfluss von Umweltfaktoren wie Raumtemperatur und Lüftung auf das Wohlbefinden und die kognitive Leistungsfähigkeit von Schülern. In Räumen mit freier Lüftung können durch die wahrgenommene Einflussmöglichkeit des Nutzers gelegentlich extreme Temperaturen oder Luftgeschwindigkeiten auftreten, die als unbehaglich empfunden werden (de Dear et al., 1997; ISSO 74; Nicol, McCartney 2000).

Eine weitere relevante Erkenntnis, präsentiert von Wyon (1996), zeigt, dass eine individuelle Kontrolle der Raumtemperatur im Bereich von $\pm 3K$ die geistige Leistung bei Aufgaben um 2,7 % steigert.

Die Übertragung dieser Erkenntnisse auf Klassenräume, die von einer Vielzahl von Schülern frequentiert werden, wirft jedoch komplexe Fragestellungen auf. Die Umsetzung einer individuellen Einflussmöglichkeit auf die Raumtemperatur gestaltet sich in dieser Umgebung als anspruchsvoll. Insbesondere die Schwierigkeit, jedem Schüler eine personalisierte Kontrolle zu gewähren, könnte erhebliche Auswirkungen auf die empfundene Kontrolle und somit auf das

Wohlbefinden haben. Sedlbauer, Holm und Hellwig (2009) betonen, dass die wahrgenommene Einflussnahme mit zunehmender Anzahl von Personen im Raum abnimmt.

Nutzereinfluss in energieeffizienten Schulen

Ein zentraler Aspekt des Forschungsprojektes „Energieeffiziente Schulen – EnEFF:Schule“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) war die Nutzerzufriedenheit und die Möglichkeit der Nutzereinflussnahme auf das Raumklima. Die Erkenntnis, dass das Wohlfühlen am Gebäude einen bedeutenden Faktor für das Wohlbefinden darstellt, wird durch die Auswertung der Raumklimaparameter, einschließlich Raumtemperaturen, Luftfrische und Lichtverhältnisse, bestätigt. Bei der Betrachtung der Einflussmöglichkeiten auf Licht, Sonnenschutz, Temperatur und mechanische Lüftung zeigte sich, dass die Art der Regelung akzeptiert wird, jedoch direkte Einflussnahme oft nicht möglich ist.

Insbesondere im schulischen Umfeld sind Lehrer oft eingeschränkt, direkt auf Raumparameter einzuwirken, obwohl über 70% eine Einflussnahme bei der Temperatur und etwa 90% bei der Lichtregelung wünschen. Besonders hervorzuheben ist die Thematik der mechanischen Lüftung, bei der lediglich 22% der Schülerschaft die automatische Lüftungsanlage als luftverbessernd bestätigen. Hier wünschen sich 89% der Lehrer die Möglichkeit zur eigenständigen Luftregulierung über Fensteröffnungen und 60% Einfluss auf die Lüftungsanlage (Reiß et al., 2021).

Energieeffizienz durch Gebäudeautomation und Nutzereinfluss

Die Analyse ergibt, dass die Implementierung von Einzelraumregelungen in Schulgebäuden eine Möglichkeit zur Energieeinsparung bietet, indem jeder Raum separat und unabhängig betrieben werden kann. Dies ermöglicht eine gezielte Reduzierung des Energiebedarfs, insbesondere bei außerschulischen Veranstaltungen.

Trotz moderner Technologien und energetischer Ausrichtung fehlt es oft an einer verständlichen Benutzeroberfläche. In einigen untersuchten Schulen führten Schwierigkeiten in der Bedienbarkeit zu einer generellen Unzufriedenheit mit der neuen technischen Gebäudeausrüstung.

Um den Nutzern, insbesondere Lehrkräften, eine effektive Veranschaulichung von Energieverbräuchen im Klassenzimmer zu ermöglichen, ist eine bedienerfreundliche Oberfläche oder eine Schnittstelle im Raum ratsam. Dies könnte durch intelligente Monitoringsysteme realisiert werden, um das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Nutzerverhalten und Energieverbrauch

nachhaltig zu fördern (Winkler, M., Jensch, W., 2015).

Visualisierung der Energiedaten als Monitoringsystem

Welche Möglichkeiten und Auswirkungen intelligente Monitoringsysteme haben können, zeigt auch die Studie "Do in-home displays affect end-user consumptions? A mixed method analysis of electricity, heating and water use in Danish apartments". Canale et al. untersucht, wie die Visualisierung von Energiedaten und Verbrauch das Verhalten der Bewohner beeinflusst.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Einführung von In-Home-Displays (IHDs) in Wohnungen zu einem Rückgang des Energieverbrauchs geführt hat. „Als die IHDs in diesem Gebäude ihre Arbeit aufnahm, sank der durchschnittliche Verbrauch von Kaltwasser, Warmwasser, Strom und Heizung um 17 %, 23 %, 12 % bzw. 17 %. Befragungen von Endbenutzern unterstützten dies und stellten eine positive Wirkung der IHDs fest.“ Dieser Rückgang wurde teilweise durch die Veränderungen im täglichen Verhalten der Bewohner als Reaktion auf die Informationen, die durch die IHDs bereitgestellt wurden, verursacht.

Es wurde beobachtet, dass die bloße Präsenz des Bildschirms in der Wohnung zu einer Reduzierung des Verbrauchs führen kann, auch ohne häufige aktive Interaktion mit dem Bildschirm.

Die Studie legt nahe, dass die Anwesenheit von IHDs und das Bewusstsein für das Monitoring an sich einen Einfluss auf das Verbrauchsverhalten der Bewohner haben können. Dies deutet darauf hin, dass die Bereitstellung von Echtzeit-Energieverbrauchsdaten und die damit verbundene gesteigerte Aufmerksamkeit und Bewusstsein für den Energieverbrauch Schlüsselkomponenten sind, um das Verhalten der Bewohner in Bezug auf den Energieverbrauch zu beeinflussen. (Canale et al. 2021)

Übertragung und Einordnung in den Kontext von Testräumen und dem Masterraum

Wie die Forschungsergebnisse von unter anderem Canale et al., Day et al., dem Annex Report und NuData Campus gezeigt haben, liegt die Bedeutung der energetischen Auswirkungen und des Wohlbefindens in Gebäuden in der Interaktion des Nutzers und der Visualisierung der Energiedaten. Eine Untersuchung dieser beiden entscheidenden Einflussfaktoren in Kombination und in einer realen Testumgebung ist daher unabdingbar. Der in der Hochschule München geschaffene reale Testraum schafft dank seiner Multidomänen Ausstattung und der Referenzumgebung die Grundlage dieser

Untersuchungen. Ein neu installiertes modernes Bediengerät und die seit kurzem geschaffene Visualisierung der Energiedaten in Form eines digitalen Zwillings ergänzen dies.

Interaktion durch Raumbediengerät

Um die Interaktion der Nutzer mit dem Raum zu erforschen, wurde ein neuartiges Oberflächenbediengerät eingeführt. Dieses Gerät ermöglicht es den Nutzern, je nach Situation und individuellen Bedürfnissen einen der vorgegebenen Modi auszuwählen. Die Modi, darunter Komfort, Normal, Sport und Eco, sind mit individuell angepassten Parametern für Licht, Temperatur und Lüftung ausgestattet. Beispielsweise bietet der Komfort-Modus eine erhöhte Raumtemperatur, während der Eco-Modus darauf abzielt, Energie zu sparen und eine niedrigere Raumtemperatur bereitzustellen. Die Interaktion des Nutzers mit dem Bediengerät kann u.a. durch die Häufigkeit der ausgewählten Modi erfasst und analysiert werden.



Abbildung 3: Bediendisplay mit Modi und einstellbarer Parameter

Cloud-Anbindung für Echtzeit-Sensordaten

Die umfassenden Sensoren im Raum übertragen die erfassten Daten in Echtzeit in eine Cloud. Diese Cloud-Anbindung ermöglicht nicht nur die zentrale Datenspeicherung, sondern auch eine kontinuierliche Analyse und Auswertung der gemessenen Parameter. Durch die Verfügbarkeit von Echtzeitdaten können schnelle Anpassungen vorgenommen werden, um den Energieverbrauch zu optimieren und den Nutzerkomfort zu maximieren.

Digitaler Zwilling und BIM-Raummodell

Die Einführung eines digitalen Zwillings, integriert mit einem Building Information Modeling (BIM)-

Raummodell, bietet eine neue Form der Visualisierung.

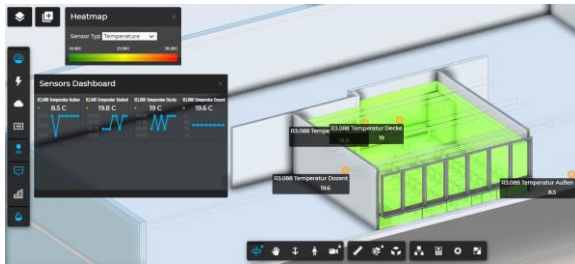


Abbildung 4: Visualisierung des digitalen Zwillings

Über einen Bildschirm im Raum werden nicht nur statische Informationen präsentiert, sondern auch dynamische Heatmaps und Live-Charts der gemessenen Parameter angezeigt. Diese visuelle Darstellung ermöglicht es den Nutzern, den aktuellen Zustand des Raumes zu verstehen und gezielte Entscheidungen zur Optimierung von Energieeffizienz und Komfort zu treffen.

Zusammenfassung

Das vorgelegte Paper behandelte die Bedeutung des Nutzerverhaltens für den Energieverbrauch von Gebäuden, insbesondere von Unterrichtsräumen, und stellt eine Untersuchung von Testräumen an der Hochschule München vor. Zwei Räume mit unterschiedlichem technologischem Standard dienen der besseren Quantifizierung des Nutzereinflusses. Der hochtechnisierte Vorlesungsraum ermöglicht Nutzereinfluss auf Raumluftqualität durch eine Teilklimaanlage, während der Referenzraum niedrig technologisiert ist. Die Räume sind mit umfassenden Sensoren ausgestattet, um verschiedene Parameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Konzentrationen, Helligkeit und Aktivitäten zu messen.

Die Einordnung der Testräume in den Kontext von wissenschaftlichen Publikationen zeigt ihre Besonderheiten, darunter die Nutzung als Klassenzimmer durch Studierende und die Verwendung von externem Sonnenschutz. Der niedrig technologisierte Referenzraum spielt eine wichtige Rolle als reale Vergleichsumgebung.

Das Paper betont die Bedeutung des Nutzerverhaltens im Kontext von Testräumen, insbesondere in Bildungseinrichtungen. Verschiedene Handlungen der Nutzer, wie Anpassung der Raumlufttemperatur, Fensteröffnung, Sonnenschutz und Nutzung elektrischer Geräte, beeinflussen den Energieverbrauch.

Ein wichtiger Aspekt ist die Implementierung von intelligenten Monitoringsystemen in Schulgebäuden. Eine benutzerfreundliche Oberfläche oder Schnittstelle im Raum wird als entscheidend angesehen, um Lehrkräften und Schülern eine effektive Veranschaulichung von Energieverbräuchen zu ermöglichen.

Der reale Testraum an der Hochschule München kombiniert die bedeutenden Einflussfaktoren von Nutzereinfluss und der Visualisierung von Energiedaten, durch die Installation eines neuartigen Raumbediengerätes, der Cloud-Anbindung für Echtzeit-Sensordaten und durch einem digitalen Zwilling. Diese Innovationen ermöglichen eine verbesserte Interaktion der Nutzer, eine effiziente Datenauswertung und die Optimierung von Energieeffizienz und Nutzerkomfort. Dieser Testraum stellt somit optimale Bedingungen für weitere Forschung da.

Literatur

- Winkler, M.; Jensch, W.; Grün, G.; Sedlbauer, K. (2015): Niedrigstenergiegebäude im Bildungssektor: Nutzung gebäudetechnischer Systeme vermeidet Überhitzung im Winter. In: GI - Gebäudetechnik, Innenraumklima 136 (2015), H.3, S. 152-165.
- Winkler, M. (2016). Analyse subjektiver Erhebungsdaten einer Licht- und Raumklimastudie in einer Bildungseinrichtung (Dissertation). Fraunhofer IBP, Stuttgart.
- Delzendeh E, Wu S, Lee A, Zhou Y. The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: a research review. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;80: 1061–71. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264>
- A.L. Pisello, I. Pigliautile, M. Andargie, C. Berger, P.M. Bluysen, S. Carlucci, G. Chinazzo, Z. Deme Belafi, B. Dong, M. Favero, A. Ghahramani, G. Havenith, A. Heydarian, D. Kastner, M. Kong, D. Licina, Y. Liu, A. Luna-Navarro, A. Mahdavi, A. Nocente, M. Schweiker, M. Touchie, M. Vellei, F. Vittori, A. Wagner, A. Wang, S. Wei, Test rooms to study human comfort in buildings: A review of controlled experiments and facilities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 149, 2021, 111359, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111359>.
- de Dear et al. 1997 de Dear, R., Brager, G., Cooper, D.: Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final report. ASHRAE RP-884, 1997.
- ISSO 74 ISSO 74: Thermische Behaaglijkheid. Eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen. Rotterdam 2004.
- Nicol, McCartney 2000 Nicol, F.; McCartney, K.: Smart controls and thermal comfort project. Final report. Oxford Brooks University School of Architecture. 2000.

- Sedlbauer, K., Holm, A., Hellwig, R.: Raumklima und Schülerleistung, im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Osnabrück, DBU-Abschlussbericht, AZ-23991, Band 2, 2009
- Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, Robinson JP, Tsang AM, Switzer P, et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001;11: 231–52. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>.
- Torresin S, Pernigotto G, Cappelletti F, Gasparella A. Combined effects of environmental factors on human perception and objective performance: a review of experimental laboratory works. *Indoor Air* 2018;28:525–38. <https://doi.org/10.1111/ina.12457>.
- Lassen N, Goia F, Schiavon S, Pantelic J. Field investigations of a smiley-face polling station for recording occupant satisfaction with indoor climate. *Build Environ* 2020;185:107266. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107266>.
- Castaldo VL, Pigliautile I, Rosso F, Cotana F, De Giorgio F, Pisello AL. How subjective and non-physical parameters affect occupants' environmental comfort perception. *Energy Build* 2018;178:107–29. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.020>.
- Lai ACK, Mui KW, Wong LT, Law LY. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Energy Build* 2009;41:930–6. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.016>.
- Palacios Temprano J, Eichholtz P, Willeboordse M, Kok N. Indoor environmental quality and learning outcomes: protocol on large-scale sensor deployment in schools. *BMJ Open* 2020;10:31233. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-031233>.
- Han J, Kwon S bark, Chun C. Indoor environment and passengers' comfort in subway stations in Seoul. *Build Environ* 2016;104:221–31. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.008>.
- Fisekis K, Davies M, Kolokotroni M, Langford P. Prediction of discomfort glare from windows. *Light Res Technol* 2003;35:360–9. <https://doi.org/10.1191/1365782803li095oa>.
- Schweiker M, Brasche S, Hawighorst M, Bischof W, Wagner A. Presenting LOBSTER, an innovative climate chamber, and the analysis of the effect of a ceiling fan on the thermal sensation and performance under summer conditions in an office-like setting. In: Proc. - wind. Conf. 2014 count. Cost comf. A chang. World, NCEUB 2014; 2019. p. 924–37.
- Rodriquez R, Pattini A. Tolerance of discomfort glare from a large area source for work on a visual display. *Light Res Technol* 2014;46:157–70. <https://doi.org/10.1177/1477153512470386>.
- Wyon DP, Andersen I, Lundqvist GR. Spontaneous magnitude estimation of thermal discomfort during changes in the ambient temperature. *J Hyg* 1972;70: 203–21. <https://doi.org/10.1017/S0022172400022269>.
- Fong ML, Lin Z, Fong KF, Chow TT, Yao T. Evaluation of thermal comfort conditions in a classroom with three ventilation methods. *Indoor Air* 2011;21: 231–9. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00693.x>.
- Bluyssen PM, Zhang D, Kim DH, Eijkelenboom AM, Ortiz-Sanchez M. First SenseLab studies with primary school children: exposure to different environmental configurations in the experience room. *Intell Build Int* 2019;1–18. <https://doi.org/10.1080/17508975.2019.1661220>.
- Annex Final Report Yoshino H., Hong T., Nord N. IEA EBC Annex 53: Total Energy Use in Buildings – Analysis and Evaluation Methods (2017) Energy and Buildings 152 DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.07.038
- Canale, L., Peulicke Slott, B., Finsdóttir, S., Ring Kildemoes, L., Korsholm Andersen, R. (2021), Do in-home displays affect end-user consumptions? A mixed method analysis of electricity, heating and water use in Danish apartments. *Energy & Buildings*, 246, 111094.
- Day, J. K., McIlvennie, C., Brackley, C., Tarantini, M., Piselli, C., Hahn, J., ... & Pisello, A. L. (2020). A review of select human-building interfaces and their relationship to human behavior, energy use and occupant comfort. *Building and Environment*, 178, 106920.
- NuData Campus: Banihashemi, F., Botzler, S., Günzel, M., Hahn, J., Januzaj, E., Kierdorf, D., Krefft, V., Maier, Stinghammer, S., Weber, M. (2023) Schlussbericht EnOB: NuData Campus Nutzerdaten basierte Optimierung von Gebäuden und Anlagen am Beispiel der Hochschule München, Förderkennzeichen: 03ET16

