
NutzerInnenzufriedenheit und Behaglichkeit in Gebäuden

FH-Prof. Dr. Herbert C. Leindecker^a, Isabella Dornigg MSc^b

^aFH OÖ Studienbetriebs GmbH, Stelzhamerstraße 23, A-4600 Wels, AUSTRIA

^b FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Stelzhamerstraße 23, A-4600 Wels, AUSTRIA

KURZFASSUNG/ABSTRACT:

Nutzerzufriedenheit stellt das höchste und am schwierigsten zu erreichende Ziel in der Planung und im Betrieb von Gebäuden dar, um ein nachhaltig optimiertes Gebäude zu erhalten. Die Nutzerakzeptanz ist von einer Vielzahl an messbaren und nichtmessbaren Komponenten abhängig. Um eine möglichst hohe Nutzerzufriedenheit gewährleisten zu können, sind Nutzerbefragungen unumgänglich, da nur so auch die nicht-messbaren Aspekte erfasst werden können. Nutzerzufriedenheit beinhaltet thermische Behaglichkeit, Lufthygiene, visueller und akustischer Komfort sowie psychologische Faktoren. Als ein erster Schritt wurden im Rahmen des FFG-Forschungsprojektes „Modularer Fragenkatalog für die NutzerInnenzufriedenheit in Gebäuden“, welches in einer Kooperation von vier österreichischen Fachhochschulen von durchgeführt wird, die Grundlagen und der aktuelle Forschungsstand der thermischen Behaglichkeit umfassend recherchiert sowie erste eigene Untersuchungen mittels der zu erstellenden „Toolbox“ vorgenommen.

1 EINLEITUNG

Für jedes Gebäude, gleichgültig welcher Nutzung es dient, gilt die NutzerInnenzufriedenheit als wichtigste Zielvorgabe bei Planung, Errichtung und Betrieb, und dies sollte nicht nur dann gelten, wenn ein nachhaltig optimiertes Gebäude („High Performance Building“) das Ziel ist [1]. Alle Gebäude zum Wohnen, Arbeiten oder zur Freizeitgestaltung haben deutliche Vorgaben was Energieeffizienz oder Kostenoptimierung anbelangt und die Außenwirkung spielt bei architektonischen Entscheidungen oft eine dominierende Rolle, die Zufriedenheit der NutzerInnen aber, obwohl in den meisten Köpfen der Baubeteiligten präsent, ist als Zielgröße schwer zu erfassen. Dies liegt daran, dass sie oft nicht eindeutig definierbar und meist nicht messbar ist.

Ziel dieses beauftragten FFG-Projektes mit der Laufzeit 2013 - 2016, bei dem vier österreichische Fachhochschulen (FH OÖ/Wels, FH Tirol/Kufstein, FH Wiener Neustadt/Wieselburg, FH Vorarlberg/Dornbirn) beteiligt sind, ist es, die NutzerInnenzufriedenheit in Gebäuden systematisch zu untersuchen. Dazu sollen nach einer Recherche-Phase, verschiedene Erhebungsmethoden getestet werden, um anschließend für eine Reihe von Zufriedenheitsaspekten und Gebäudenutzungen standardisierte Fragenkomplexe zu entwickeln und diese mit den entsprechenden Evaluierungsdimensionen, die in sogenannte „Toolboxen“ gesammelt werden, gegenüberzustellen. Nach mehr als der Hälfte der Laufzeit liegen nun erste Ergebnisse vor.

2 GRUNDLAGEN

Aufgrund des Bedürfnisses des menschlichen Körpers, eine konstante Kerntemperatur von etwa 36,5°C zu erhalten, spielt die thermische Behaglichkeit nicht nur aus Gründen des Wohlempfindens sondern auch aus gesundheitlichen Aspekten eine entscheidende Rolle. Dabei variieren die Toleranzgrenzen im Sommer und im Winter in Abhängigkeit von mehreren Einflussfaktoren, deren Änderungen nur gesamtheitlich durchgeführt werden können. Die Grenzen der thermischen Behaglichkeit werden jedoch nicht nur durch die Jahreszeiten bestimmt, sondern auch von physiologischen, sozialen und kulturellen Aspekten. Nicht zuletzt ist sie von den Umgebungsparametern, wie die Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit oder etwa den Oberflächentemperaturen abhängig. Zur Messung der thermischen Behaglichkeit existieren mehrere

Ansätze, eine einheitliche Erfassung ist aufgrund der Subjektivität des Themas und der Anpassungsfähigkeit des Menschen nur schwer umsetzbar [13].

2.1 Einflussgrößen

Die thermische Behaglichkeit wird von mehreren Größen, die in individuelle und klimatische Faktoren untergliedert werden, beeinflusst. Zu den individuellen Einflussgrößen zählen die körperliche Aktivität, Bekleidung sowie das persönliche Verhalten der Nutzer. Der Grundumsatz eines entspannt sitzenden Menschen liegt bei etwa 58 W/m^2 , welcher einer Stoffwechselrate (metabolism met) von 1,0 met entspricht [5]. Der Bekleidung wird aufgrund der Bildung einer gleichmäßigen Dämmschicht zwischen dem Körper und der Umgebung eine große Bedeutung zuteil, da sie zu Veränderungen der optimalen operativen Temperatur führt. Die ÖNORM EN ISO 7730 führt die dämmende Wirkung der Bekleidung als Bekleidungsisolationswert, clothing factor, Icl an, welcher sich aus der Summe der partiellen Dämmwerte der Kleidungsstücke ergibt. $1,0 \text{ clo}$ ($0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$) bezeichnet demnach eine Kombination aus Slip, Hemd, Hose, Jacke, Socken und Schuhe [12]. Auch das Nutzerverhalten selbst spielt eine entscheidende Rolle durch Interaktionen wie Bekleidungswechsel, Änderung der Haltung und Aktivität, Bewegung zwischen unterschiedlichen thermischen Umgebungen sowie Verwendung von thermischen Steuerungen um die aktuelle Umgebung zu ändern [10]. Den klimatischen Einflussgrößen werden Luft-, Strahlungs- sowie Oberflächentemperatur, Sonneneinstrahlung, Luftgeschwindigkeit und die relative Luftfeuchte zugeordnet. Die Behaglichkeitsbereiche unterliegen verschiedenen Definitionen. Die ÖNORM EN ISO 7730 teilt das Raumklima abhängig vom PPD-Index in drei Kategorien A-C, wobei A einen maximalen PPD von 6%, B 10% und C maximal 15% bedeutet. Um exemplarisch einen PPD-Index von maximal 6% zu erhalten sollten folgende Bedingungen im Raum vorherrschen [12]:

- Sommer: $23,5^\circ\text{C}$ – $25,5^\circ\text{C}$ operative Temperatur mit einer maximalen mittleren Luftgeschwindigkeit von $0,12 \text{ m/s}$
- Winter: $21,0^\circ\text{C}$ – 23°C operative Temperatur mit einer maximalen mittleren Luftgeschwindigkeit von $0,10 \text{ m/s}$.

Abbildung 1 zeigt den Vergleich des Behaglichkeitsbereichs nach EN 15251 [11] für Gebäude mit und ohne Kühlung bei einer sitzenden Aktivität von 1,2 met. Der Bereich ohne Kühlung entspricht der Kategorie B der ÖNORM EN ISO 7730. Gut sichtbar ist auch, dass bei nicht klimatisierten Gebäuden der Behaglichkeitsbereich in Abhängigkeit von der Außentemperatur deutlich flexibler ist.

2.2 Ansätze zur Bewertung

Für die Bewertung der thermischen Behaglichkeit stehen mehrere Ansätze zur Verfügung, wobei der Wärmebilanz-Ansatz (PMV) nach P.O. Fanger weltweit bekannt ist. Dieser Ansatz basiert auf den Bewertungsgrößen operative Temperatur, PMV-Index (Predicted Mean Vote) sowie PPD-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied). Die operative Temperatur stellt einen gewichteten Durchschnittswert der Luft- und der mittleren Strahlungstemperatur dar, die Gewichtung erfolgt in Abhängigkeit von den Wärmeübergangskoeffizienten durch Konvektion und Strahlung auf der bekleideten Oberfläche des Nutzers [10]. Der PMV-Index ist die Vorhersage des Durchschnittswerts für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe, die sich im selben Umgebungsklima befinden. Beruhend auf dem Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers wird das Klima anhand einer 7-stufigen Skala von -3 „kalt“ über 0 „neutral“ bis hin zu +3 „heiß“ bewertet. Aus dem PMV lässt sich der PPD-Index berechnen, der den Prozentsatz an unzufriedenen Personen quantitativ vorhersagt. Weitere Einflüsse auf das Behaglichkeitsempfinden im Raum haben zu warme oder zu kalte Fußböden und Asymmetrien des Strahlungsfeldes [12].

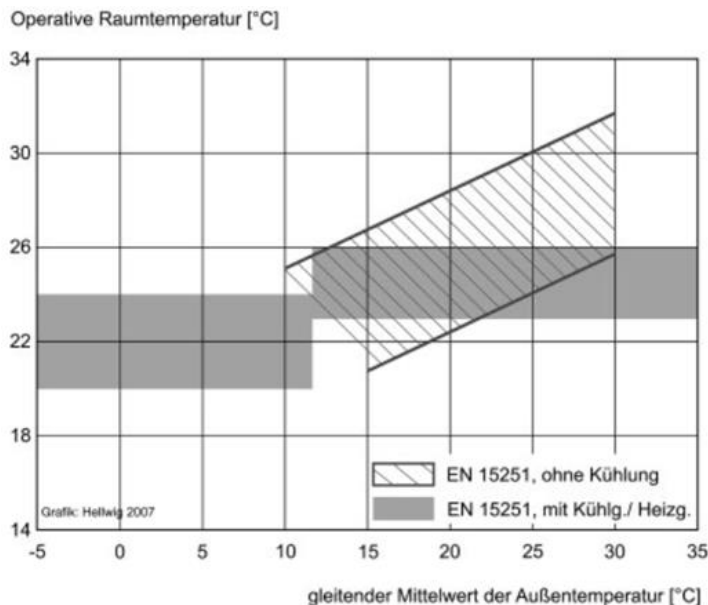


Abbildung 1. Vergleich des Behaglichkeitsbereichs für Gebäude ohne und mit Kühlung [6].

Das Human Thermal Model (HTM) wurde 2012 von Riikka Holopainen entwickelt und kann für die Vorhersage des thermischen Verhaltens des menschlichen Körpers unter stationären, aber auch instationären Innenraumbedingungen angewendet werden. Das Modell basiert auf der tatsächlichen Anatomie und Physiologie des Menschen. Da es mit der Gebäudesimulationsumgebung des Programms VTT House verbunden ist, besteht die Möglichkeit, auch äußere Randbedingungen, wie z.B. Oberflächentemperaturen und Strahlungswärmeübertragung, exakter zu definieren. Mithilfe der Berechnung der gefühlten spezifischen Temperatur an bestimmten Körperteilen und der thermischen Behaglichkeit kann eine ganzheitliche Bewertung der beiden Parameter erfolgen [8].

2.3 Herausforderungen in der Bewertung

Bekleidung und Aktivität spielen eine entscheidende Rolle in der Wahrnehmung der thermischen Behaglichkeit. Aufgrund der Annahme der Klima- und Kulturunabhängigkeit der Werte und auch aufgrund unterschiedlicher Interpretationen der Bekleidungskombinationen können systematische Fehler entstehen. In einer Studie von Holopainen (2014) wurde die Bedeutung des Einflusses der beiden Parameter analysiert. Vor allem der Wärmebilanz-Ansatz weist starke Unterschiede des PPD-Indexes im Bereich von 0,47 clo bis 0,86 clo auf: hier sinkt der PPD bei konstanter Temperatur von 90% auf 40% ab. Auch der adaptive Ansatz weist starke Differenzen auf, das von Holopainen entwickelte HTM-Modell variiert aber nur mehr gering. Ebenso hat die Aktivität vor allem im Bereich von 0,9 met bis 1,1 met einen starken Einfluss [8].

3 DURCHFÜHRUNG EIGENER STUDIEN UND ERGEBNISSE

Erste eigene praktische Untersuchungen hatten die Entwicklung eines Test-Fragebogens, exemplarische Messungen sowie die Simulation der thermischen Behaglichkeit zum Ziel.

3.1 Fragebogen

Auf Basis bekannter und bewährter Grundlagen [2] wurde ein Fragebogen speziell für Mitarbeiter in Bürogebäuden erarbeitet. Dieser wurde für eine Durchführung von Befragungen an der FH OÖ am Campus Wels auf die vorhandenen Gegebenheiten angepasst und mittels dem Online-Tool „SurveyMonkey“ neu gestaltet. Der Fragebogen beinhaltet neben Fragen zu persönlichen Daten wie Geschlecht und Alter, die Fragen über momentane Befindlichkeit, Beschreibung des Arbeitsplatzes, Arbeitszeiten, individuelle Einflussgrößen der thermischen Behaglichkeit (Aktivitätsgrad und Bekleidung), Bewertung der Temperatur, Luftqualität, Kontrollmöglichkeiten bis hin zu Verbesserungsvorschlägen. Der von der Website anschließend automatisch generierte Link zum Fragebogen wurde den Testpersonen auf elektronischem Weg übermittelt. Eine erste Befragungsreihe in einem von der Testgruppe, bestehend aus 8 Personen unter 30 Jahren (25% Frauen, 75% Männer) mit 0,8 clo (=Unterwäsche, Hemd, Hose, Socken, Schuhe + Bürostuhl) und 1,0 met, ausgewählten Raum am Campus Wels, an 5 Tagen, ergab folgendes Ergebnis:

Die durchschnittliche momentane Stimmung lag unter Verwendung einer Skala von 1 – 7 (sehr schlecht bis ausgezeichnet) bei 4. Die Raumtemperatur wurde als angenehm empfunden, 50% nehmen das Raumklima als eher warm bis warm, 38% als neutral und 12% als eher kühl wahr. Auch die Luftgeschwindigkeit wurde als still erlebt. Die Bewertung der Luftqualität ergab einen eher trockenen, eher stickigen und eher muffigen Zustand und eine manuelle Lüftung des Raumes erfolgt in der Regel etwa 1-3 Stunden pro Tag aufgrund verbrauchter bzw. zu warmer/kalter Temperaturen. Der allgemeine Komfort im Raum wurde als eher zufriedenstellend evaluiert, die Produktivität sinkt im Durchschnitt um maximal 10%. Weiters wurde angegeben, keine bzw. kaum Kontrolle über Heizung, Kühlung, Lüftungsanlage sowie Lärm zu haben, im Gegensatz zu Fensterlüftung und Licht, die völlig kontrolliert werden können. Es sind jedoch kaum Kontrollmöglichkeiten bekannt, und nahezu die Hälfte wünscht sich mehr Information zu diesem Thema [vgl. 9]. Zum Erlangen eines Wohlbefindens am Arbeitsplatz definierten die Testpersonen Temperatur, Lichtverhältnisse, Luftqualität als die grundlegendsten Parameter, gefolgt von Lärm, Ausstattung, Sauberkeit, Privatsphäre und Sicherheit. Veränderungsbedarf wird vor allem im Bereich Luftqualität und Temperatur für notwendig erachtet.

Abbildung 2 zeigt einen Auszug aus dem eigens entwickelten Fragebogen, der für die Bewertung der thermischen Behaglichkeit von Bedeutung ist. Aus der Frage der Beurteilung der Raumtemperatur anhand der 7-stufigen Skala von „zu kalt“ bis „zu warm“ kann der PMV ermittelt werden, um einen Vergleich mit Simulationen und Messungen zu ermöglichen.

3.2 Messungen

Für die Durchführung einer aussagekräftigen Behaglichkeitsmessung wurde ein Messbaum bestehend aus einem Messgerät und drei Fühler für die Eruiierung der Raumtemperatur, Strahlungstemperatur, relative Feuchte, CO₂-Konzentration und Luftdruck verwendet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit einer Auswertung des PMV- sowie PPD-Indexes. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden spezielle Messgeräte angeschafft und getestet (Komplettierung der „Toolbox“). Der Messbaum beinhaltet das Klimamessgerät testo 480, IAQ-Sonde (Indoor Air Quality), Globe Sonde sowie eine Flügelradmesssonde, die an einem Stativ befestigt werden. Die Messungen wurden parallel zu den Nutzerbefragungen durchgeführt, um einen Vergleich der erfassten Daten zu ermöglichen.

2. Aktivitätsgrad und Bekleidungsstatus

2.1 Wie würden Sie Ihren derzeitigen Aktivitätsgrad (metabolic rate) beurteilen?

(Beantwortung mit Hilfe der Tabelle 1 – metabolic rate im Anhang)

- 0,8
- 1,0
- 1,6
- 2,8

2.2 Wie würden Sie Ihren derzeitigen Bekleidungsstatus (clothing factor) bewerten?

(Beantwortung mit Hilfe der Tabelle 2 – clothing factor im Anhang)

- 0,2
- 0,3
- 0,8
- 1,1

3. Behaglichkeit

3. Wie würden Sie die typischen Arbeitsbedingungen an Ihrem Arbeitsplatz beurteilen?

3.1 Temperatur

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
unbehaglich						behaglich
1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
zu kalt						zu warm
1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
stabil						variabel (unter Tags)

Abb. 2. Auszug aus dem entwickelten Test-Fragebogen

3.3 Vergleich Messung, Befragung und Simulation

Die Ergebnisse aus Messungen und Befragungen wurden mit einer Gebäudesimulation in TRNSYS verglichen und analysiert. Das Gebäudemodell, das aufgrund der Einflüsse von Strahlung, Dämmeffekte und Temperaturunterschiede über vier Geschoße verläuft, wurde in 13 thermische Zonen gegliedert. Bedingt durch den Luftaustausch der Doppelfassade mit der Umgebung mussten deren strömungstechnischen Elemente mithilfe des TRNSYS Add-Ons TRN-Flow simuliert werden.

Die Ergebnisse der Jahressimulation wurden mit den Nutzerbefragungen sowie den parallel durchgeführten Messungen verglichen. Hierfür wurden die Außenbedingungen an den Mess- tagen mit jenen der Simulation abgestimmt, um aussagekräftige Vergleiche ziehen zu können. Zwischen den gemessenen und simulierten Raumtemperaturen ergab sich eine durchschnittliche Abweichung von etwa 1°C, wobei die Werte der Simulation meist niedriger sind, da Belegungen des Raumes vor der Messung nicht in der Simulation berücksichtigt werden und keine tatsächlichen Wetterdaten des selben Jahres verwendet wurden. Um einen Vergleich der simulierten Behaglichkeitsparameter PMV- sowie PPD-Index mit den gemessenen und befragten zu ermöglichen, wurden diese mithilfe eines Programms mit EES nach der ÖNORM EN ISO 7730 ermittelt. Die Wahrnehmung des Raumklimas in der Befragung ist deutlich wärmer als das Ergebnis des gemessenen bzw. simulierten Wertes mit Tendenz zu „eher kühl“ annehmen lässt. Auch ergibt die Simulation extremere Werte des PMV sowohl im kühlen als auch warmen Bereich und somit auch des PPD-Indexes (Abbildung 3).

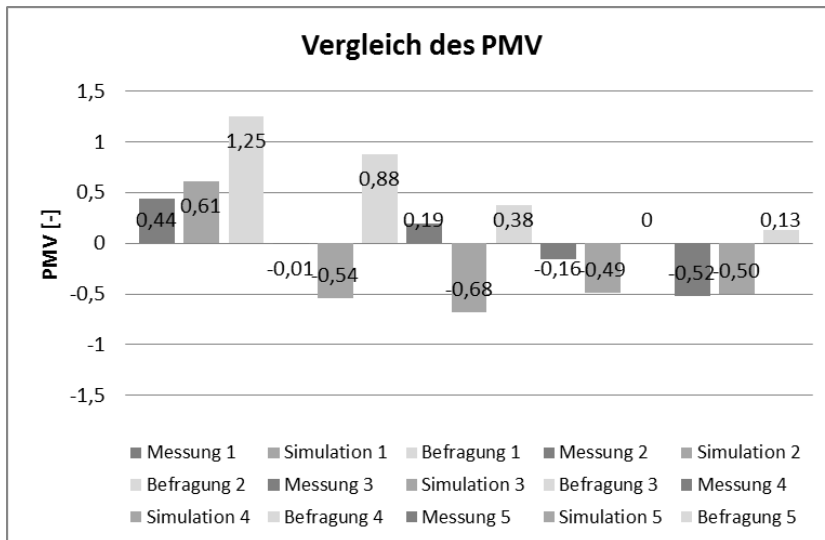


Abbildung 3. Gegenüberstellung von Messung, Simulation und Befragung. Vergleich der jeweiligen PMV-Werte [4].

4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

In der Analyse des betrachteten Raumes zeigt sich, dass die abgeschlossene Konstruktion der Doppelfassade einen erheblichen Einfluss auf die Temperatur im Fassadenzwischenraum und folglich durch Wärmeleitung und –strahlung auf die thermische Behaglichkeit im Raum nimmt. Höhere Temperaturen der Messwerte werden auch durch Raumbelagungen vor der Durchführung bewirkt, die nur schwer in der Simulation berücksichtigt werden können. Auch der Standort des Messbaums ist nicht zu vernachlässigen und kann Unterschiede hervorrufen. Die Berechnung des PMV-Indexes der Messung erfolgt mithilfe eines EES – Programms nach ÖNORM EN ISO 7730. Zur Ermittlung des Indexes aus der Befragung wird jene Frage des Fragebogens herangezogen, bei welcher das Raumklima nach der Skala 1-zu kalt bis 7-zu warm bewertet wurde, und an die PMV-Skala der ÖNORM angepasst. Die PPD-Indexe werden bei beiden Methoden nach ÖNORM EN ISO 7730 berechnet. Die Wahrnehmung des Raumklimas ist in der Befragung deutlich wärmer als das Ergebnis des gemessenen bzw. simulierten Wertes annehmen lässt, welcher eine Tendenz in Richtung eher kühl aufweist. Die Problematik im Vergleich der drei Methoden liegt unter anderem in der Definition der individuellen Einflussgrößen clothing factor und Aktivität, bei welchen die Personenangaben oft nicht mit der Realität übereinstimmen und somit zu Abweichungen führen können. Auch psychologische Faktoren, wie Stimmung oder geringe Möglichkeiten der Einflussnahme, sind in der Simulation nicht abbildbar. Somit ist der Ansatz der Wärmebilanz (PMV) nur tendenziell anwendbar und bedarf einer Weiterentwicklung, wie bereits in anderen recherchierten Forschungsprojekten aufgezeigt wurde (siehe Pkt. 2.3). Im Allgemeinen gestaltet sich die Simulation der thermischen Behaglichkeit aufgrund des starken Einflusses von individuellen Größen, die nicht berücksichtigt werden können, wie Alter, Geschlecht, Stimmung, etc. als schwierig, kann jedoch eine Tendenz aufzeigen, um somit sinnvolle Maßnahmen ermöglichen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

NutzerInnenzufriedenheit und Behaglichkeit ist erreichbar, wenn bestimmte messbare physikalische Randbedingungen als positiv für das Zufriedenheitsempfinden definiert werden, wie beispielsweise das thermische Behaglichkeitsfeld, andererseits die Zufriedenheit mit Hilfe von Fragebögen ermittelt wird. Mit der EN 15251 gibt es für beide Herangehensweisen auch einen Ansatz zur Standardisierung, der jedoch noch eher oberflächlich formuliert ist. Die theoretischen

Modelle und praktischen Erhebungsinstrumente für die NutzerInnenzufriedenheit in Gebäuden sind noch wenig entwickelt und verbreitet.

Eine erste eigene Untersuchung hat gezeigt, dass die komplexe Frage nach der NutzerInnenzufriedenheit in Gebäuden nicht mit einzelnen Tools eingehend überprüft werden kann, sondern nur durch die Anwendung einer Kombination aus Simulation, Messung und Befragung. Die im Rahmen des beschriebenen Forschungsprojektes von der FH OÖ durchgeführten Grundlagenrecherchen und ersten Untersuchungen bilden die Grundlage den Teil „Thermische Behaglichkeit und Lüfthygiene“ des geplanten umfassenden und modularen Fragenbogens, der nach einer Testphase im dritten Projektjahr online verfügbar sein wird.

Durch die Zusammenarbeit von vier Fachhochschulen mit sehr unterschiedlichen Blickwinkeln von Marketing, über Psychologie und Energietechnik bis hin zum Facility Management soll ein komplexes und modulares „Messinstrument“ für die Nutzerzufriedenheit entstehen. Durch die vielfache Nutzung mehrerer Hochschulen, dem Ausbau der Kompetenzen und die allgemeine Verfügbarkeit wird es bald über einen ausreichenden Datenschatz verfügen, der Vergleiche und Benchmarks ermöglicht und eine realistische Chance hat sich zu einem Standard zu entwickeln.

LITERATURVERWEISE

- [1] Leindecker, Herbert Claus; Luger, Susanne (2013): High Performance Buildings Quality Assessment. In proceedings of SB13, 25.-28.09.2013, S. 319 – 320, Graz, Austria.
- [2] BUS (Building Use Studies) (2013): Methodology. <http://www.busmethodology.org.uk> (Last visited: November 2013).
- [3] CBE (Centre for the Built Environment) (2013): CBE Occupant Satisfaction Demo Selection. Occupant IEQ Demo Survey available at: <http://www.cbesurvey.org/survey/demos2010/> (Last visited: December 2013)
- [4] Dornigg, I. (2014): Einsatz der Gebäudesimulation zur Evaluierung der thermischen Behaglichkeit. Masterarbeit an der FH Oberösterreich/Campus Wels, Austria.
- [5] Hausladen, G., de Saldanha, M. & Liedl, P. (2004): KlimaDesign – Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können. München, Germany: Callwey Verlag
- [6] Hellwig, R. T. & Bischof, W. (2007): Raumklimatische Untersuchungen im Feld. Tagungsband, Hannover, Deutsche Kälte-Klima-Tagung 22.–23. November 2007
- [7] Holopainen, R. (2012): A human thermal model for improved thermal comfort. Dissertation. Kuopio, Finland.
- [8] Holopainen, R., Tuomaala, P., Hernandez, P., Häkkinen, T., Piira, K. & Piippo, J. (2014): Com-fort assessment in the context of sustainable buildings: Comparison of simplified and de-tailed human thermal sensation methods. Building and Environment Volume 71, S.60-70.
- [9] Mulrenin, A. (2014): Occupants' thermal comfort in the built environment: measuring psychological factors with standardized tools. Bachelor thesis. University of Applied Sciences, Wels, Upper Austria
- [10] Nicol, F., Humphreys, M. & Roaf, S. (2012): Adaptive thermal comfort – Principles and Practice. Abingdon, United Kingdom: MPG Books Group.
- [11] ÖNORM EN 15251 (2007) Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht, Akustik
- [12] ÖNORM EN ISO 7730 (2006) Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Wien, Austria.
- [13] Pech, A., Pöhn, C. & Kalwoda, F. (2004) Bauphysik. Baukonstruktionen Band 1. Wien, Austria: Springer-Verlag.