

BBSR-
Online-Publikation
10/2026

Potenzial von Wandheizungen und -kühlungen zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit und zur Reduktion von Wärmeenergie

von

Prof. Dr. Oliver Kornadt
Birke Schröter
Yannic Beissmann
Lena Biehl
Jakob Herz
Philipp Pfeifer
Dr.-Ing. Sabine Scheidel
apl. Prof. Dr. Svenja Carrigan
Dr.-Ing. Tobias Blum
Axel Grimm
Alexandra Borke



Potenzial von Wandheizungen und -kühlungen zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit und zur Reduktion von Wärmeenergie

Vergleichende Untersuchungen der Auswirkung von asymmetrischer
Wärmestrahlung bei Flächentemperiersystemen in Hinblick auf thermische
Behaglichkeit und Energieverbrauch

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.34

Projektlaufzeit: 10.2022 bis 09.2025

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Dr.-Ing. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure
zb@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung
Prof. Dr. Oliver Kornadt
oliver.kornadt@rptu.de

Birke Schröter, M. Sc.
Yannic Beissmann, M. A.
Lena Biehl, B. Sc.
Dipl.-Biophys. Jakob Herz
Philipp Pfeifer, M. Sc.
Dr.-Ing. Sabine Scheidel

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
Fachbereich Bauingenieurwesen
Arbeitsgruppe Bauphysikalische Modellierung
apl. Prof. Dr. Svenja Carrigan
svenja.carrigan@rptu.de
Dr.-Ing. Tobias Blum

Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e. V., Dortmund
Dipl.-Kfm. Axel Grimm
grimm@flaechenheizung.de
Dipl.-Ing. Alexandra Borke

Redaktion

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
Oliver Kornadt

Stand

Juli 2025

Gestaltung

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
Birke Schröter

Bildnachweis

Titelbild: Birke Schröter
Alle weiteren Foto- und Bildnachweise siehe Abbildungsverzeichnis, S. 100 ff.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Kornadt, O.; Schröter, B.; Beissmann, Y.; Biehl, L.; Herz, J.; Pfeifer, P.; Scheidel, S.; Carrigan, S.; Blum, T.; Grimm, A.; Borke, A., 2026: Potenzial von Wandheizungen und -kühlungen zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit und zur Reduktion von Wärmeenergie: Vergleichende Untersuchungen der Auswirkung von asymmetrischer Wärmestrahlung bei Flächentemperiersystemen in Hinblick auf thermische Behaglichkeit und Energieverbrauch. BBSR-Online-Publikation 10/2026. Bonn. <https://doi.org/10.58007/q5mt-js61>

DOI 10.58007/q5mt-js61
ISSN 1868-0097

Bonn 2026

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	8
1 Einführung	9
1.1 Themenfeld	9
1.2 Untersuchungsgegenstand	9
2 Problemstellung	10
2.1 Stand der Forschung/Baupraxis	10
2.2 Forschungslücke/Entwicklungsbedarf	11
3 Zielstellung	12
3.1 Konkrete Projektziele	12
3.2 Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu	12
4 Forschungsdesign	13
4.1 Arbeitshypothesen	13
4.2 Methodischer Ansatz	13
4.3 Projektteam und Organisation, Kooperationspartner	14
4.4 Arbeitspakete und Meilensteine	14
5 Projektverlauf	18
5.1 Darstellung der durchgeführten Arbeiten und der Erkenntnisse daraus (inkl. Zwischenergebnisse und Meilensteine)	18
5.1.1 Recherche zum Stand der Wissenschaft und Technik	18
5.1.2 Wandheiz-/ -kühlsysteme	18
5.1.3 PMV-Modell	20
5.1.4 UCB-Modell	21
5.1.5 Adaptive Ansätze	25
5.1.6 Überblick über die Forschungsmethodik	27
5.1.7 Simulationen in ANSYS Fluent	30
5.1.8 Simulationen in TRNSYS	31
5.1.9 Simulationen in TAItherm	42
5.1.10 Experimentelle Voruntersuchungen	47
5.1.11 Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Flächenheizsysteme auf die Luftströmung mittels Particle Tracking Velocimetry (PTV) und numerischen Strömungssimulationen	55
5.1.12 Versuche mit Testpersonen	65
5.2 Beschreibung und Begründung von möglichen Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Antrag	95
6 Ergebnisse	97
6.1 Zusammenführung der Zwischenergebnisse zum Endergebnis	97
6.2 Bewertung/Diskussion/Zielerreichung – Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext inkl. möglicherweise bekannt gewordenen Ergebnissen von dritter Seite	99
6.3 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	99

7	Mitwirkende	101
8	Kurzbiographien	102
10	Abbildungsverzeichnis	109
11	Tabellenverzeichnis	113
12	Anlagen	115
12.1	Fragebögen der Testpersonenversuche	115
12.2	Ausgefüllte Fragebögen der Testpersonen	124

Kurzfassung

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das Potenzial von Wandheiz- und kühlssystemen zur Erhöhung der thermischen Behaglichkeit und zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs untersucht. Vor dem Hintergrund zunehmender Anforderungen an Energieeffizienz und Nutzerkomfort fokussierte sich die Studie auf die bislang wenig erforschten Auswirkungen asymmetrischer Strahlungsverhältnisse bei Wandtemperierungssystemen.

In diesem Forschungsprojekt wurde zum einen eine grundlegende Untersuchung des Einflusses von Wandtemperierungen im Zuge von Behaglichkeitsuntersuchungen innerhalb unterschiedlicher Behaglichkeitsmodelle durchgeführt. Zum anderen erfolgte eine vergleichende Behaglichkeitsuntersuchung von Flächentemperiersystemen, in denen sowohl das subjektive Empfinden von Testpersonen erfragt als auch objektive Messungen mithilfe eines Thermischen Manikins in der Zwei-Zonen-Klimakammer der RPTU umgesetzt wurden. Mit Hilfe der experimentellen Messungen wurden die Eignung der Behaglichkeitsmodelle zur Anwendung bei den unterschiedlichen betrachteten Szenarien untersucht und ein erster Schritt zur Anpassung gemacht.

Ziele des Projektes waren u. a. die Erlangung umfassender Kenntnisse der wichtigsten Einflussparameter auf die thermische Behaglichkeit bei Wandtemperiersystemen sowie die Quantifizierung der Größe möglicher Energieeinsparungen durch erhöhte Behaglichkeit bei niedrigeren Raumlufttemperaturen. Darüber hinaus sollten die Behaglichkeitsmodelle überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Hinsichtlich der Methodik wurden im Rahmen des Forschungsprojekts sowohl simulative als auch experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Zunächst wurden im Zuge der experimentellen Untersuchungen in der Zwei-Zonen-Klimakammer des Fachgebietes Bauphysik der RPTU unterschiedliche Strahlungsasymmetrieszenarien und deren Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit mithilfe von Behaglichkeitsmessständen und einem Thermal Manikin analysiert. In den experimentellen Untersuchungen und in den Versuchen mit Testpersonen kamen verschiedene Behaglichkeitsmodelle zum Einsatz. Neben dem PMV-Modell nach Fanger wurde ein komplexeres thermophysiologisches Modell (UCB-Modell) verwendet. Mithilfe der physikalischen Raumanalyse wurden durch ein PTV-System die Strömungsprofile für unterschiedliche Szenarien gemessen.

Mithilfe des thermischen Gebäudesimulationsprogramms TRNSYS wurden Flächentemperiersysteme energetisch bewertet und mit heizkörperbasierten Systemen verglichen. Untersuchungsgegenstand waren der Einfluss unterschiedlicher Gebäude- und Nutzungsarten sowie zusätzlich eine Analyse der Behaglichkeit im Rahmen des in TRNSYS integrierten PMV-Modells. Außerdem wurde TRNSYS dazu verwendet, eine Vorauswahl der experimentell zu untersuchenden Szenarien zu treffen und realistische Oberflächentemperaturen für die jeweiligen Situationen zu erhalten. Die experimentellen Untersuchungen der Klimakammer wurden im Simulationsprogramm ANSYS Fluent nachgebildet, um umfassende Kenntnisse der Strömungsverhältnisse zu erhalten. Das Programm TAItherm wurde schließlich verwendet, um Behaglichkeitsvorhersagen gemäß des UCB-Modells zu berechnen.

Die Testpersonenbefragungen fanden in den zuvor simulativ und experimentell untersuchten Szenarien, die in der Zwei-Zonen-Klimakammer der RPTU nachgebildet wurden, statt. Sie dienten einem Vergleich zwischen subjektiv wahrgenommener, objektiv messbarer und aus den Behaglichkeitsmodellen vorhergesagter thermischer Behaglichkeit.

Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen zeigten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den untersuchten Flächentemperiersystemen. Die Wandheizung und -kühlung stellt somit zum jetzigen Untersuchungsstand eine gute Alternative zu Fußboden- oder Deckensystemen dar. Die Ergebnisse der Testpersonenversuche zeigten deutliche Abweichungen zu den Modellprognosen des UCB-Modells. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, um die Berechnung auf die Situation bei asymmetrischen Strahlungsverhältnissen anzupassen.

Die Studie legt eine Grundlage für die Weiterentwicklung von Komfortmodellen und die Planung energieeffizienter Flächentemperierungssysteme.

Abstract

As part of the research project, the potential of wall heating and cooling systems to increase thermal comfort and reduce heating energy requirements was investigated. Against the backdrop of increasing demands for energy efficiency and user comfort, the study focused on the hitherto little-researched effects of asymmetrical radiation conditions in wall temperature control systems.

In this research project, a fundamental investigation of the influence of wall temperature control was carried out as part of comfort studies within different comfort models. On the other hand, a comparative comfort study of surface temperature control systems was carried out, in which both the subjective perceptions of test persons were surveyed and objective measurements were taken using a thermal manikin in the RPTU's two-zone climate chamber. The experimental measurements were used to investigate the suitability of the comfort models for use in the various scenarios considered and to take a first step towards adaptation.

The objectives of the project included gaining comprehensive knowledge of the most important parameters influencing thermal comfort in wall temperature control systems and quantifying the potential energy savings achieved through increased comfort at lower room air temperatures. In addition, the comfort models were to be reviewed and adjusted if necessary.

In terms of methodology, both simulative and experimental investigations were carried out as part of the research project. First, in the course of the experimental investigations in the two-zone climate chamber of the Department of Building Physics at RPTU, different radiation asymmetry scenarios and their influences on thermal comfort were analysed using comfort measurement stands and a thermal manikin. Various comfort models were used in the experimental investigations and in the tests with test subjects. In the experimental investigations and the tests with human subjects, various thermal comfort models were used. In addition to Fanger's PMV model, a more complex thermophysiological model (UCB model) was applied. Using physical spatial analysis, flow profiles for different scenarios were measured with a PTV system.

The thermal building simulation program TRNSYS was used to evaluate the energy efficiency of surface temperature control systems and compare them with radiator-based systems. The study examined the influence of different building types and uses and also analysed comfort using the Fanger PMV model integrated in TRNSYS. TRNSYS was also used to preselect the scenarios to be investigated experimentally and to obtain realistic surface temperatures for the respective situations. The experimental studies conducted in the climate chamber were replicated in the simulation software ANSYS Fluent to gain detailed insights into airflow conditions. Finally, the TAItherm software was used to calculate comfort predictions based on the UCB model.

The surveys of test subjects were carried out within the previously simulated and experimentally studied scenarios, which were reproduced in the two-zone climate chamber at RPTU. These surveys served to compare subjectively perceived, objectively measurable, and model-predicted thermal comfort.

The experimental investigations revealed no significant differences between the surface temperature control systems studied. At the current state of research, wall heating and cooling therefore represent a viable alternative to floor or ceiling systems. However, the results of the tests with human subjects showed significant deviations from the predictions made by the UCB model. Further research is required to adapt the model to scenarios involving asymmetric radiation conditions.

This study provides a foundation for the further development of comfort models and for the planning of energy-efficient surface temperature control systems.

1 Einführung

1.1 Themenfeld

Durch den voranschreitenden Klimawandel steht bei der Nutzung von Gebäuden die Einsparung von Energie und Treibhausgasen im Fokus [1–4]. Da die Menschen durchschnittlich etwa 90% ihrer Zeit in Gebäuden verbringen [5], muss darüber hinaus das Wohlbefinden für die Gebäudenutzenden gewährleistet werden. Folglich ist die thermische Behaglichkeit ein wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen Gebäudeplanung, insbesondere durch ihren Einfluss auf die Gesundheit der Nutzer und deren Einfluss auf den Energieverbrauch [6]. Unterschiedliche Ansätze und Modelle zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit, die jeweils Vor- und Nachteile mit sich bringen und für verschiedene Randbedingungen mehr oder weniger gut geeignet sind, haben sich etabliert [7–9].

Zusätzlich wird es durch das Fortschreiten des Klimawandels immer wichtiger, effiziente Heiz- aber auch Kühlsysteme zu entwickeln [10, 11]. Dabei werden häufig Flächentemperiersysteme untersucht [12, 13], da sie viele Vorteile gegenüber Konvektionsheizungen bieten und in Neubauten mittlerweile zum Standard gehören. Dabei sind Fußboden- und Deckensysteme bereits gut erforscht. Jedoch besteht noch Forschungsbedarf bei Wandsystemen, zumal es gerade bei der Gebäudesanierung häufig notwendig ist, viele Fläche zur Raumtemperierung nutzen zu können. Bei der Nachrüstung von Wandheizungen in Altbauten mit unzureichend gedämmten Außenwänden kann es dabei aufgrund der höheren zulässigen Temperaturen für eine Wandheizung zu einer hohen Strahlungsasymmetrie der Raumbegrenzungsflächen kommen

An diesem Punkt setzte das Forschungsprojekt „Potenzial von Wandheizungen und -kühlungen zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit und zur Reduktion von Wärmeenergie“ an. Im Rahmen dieses Projekts wurde der Einfluss der durch Flächentemperiersysteme verursachten Strahlungsasymmetrien auf die thermische Behaglichkeit untersucht. Durch die Gewinnung umfassender Kenntnisse über die wichtigsten Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit insbesondere bei Wandtemperiersystemen wurden Lücken im aktuellen Forschungsstand der thermischen Behaglichkeit geschlossen und relevante Behaglichkeitsmodelle und relevante Normen auf ihr Optimierungspotenzial hin untersucht und analysiert. Darüber hinaus wurde untersucht, ob eine höhere thermische globale Behaglichkeit durch eine positive Beeinflussung des lokalen Empfindens von Körperteilen durch strahlende Oberflächen niedrigere Lufttemperaturen erlauben und damit zu Energieeinsparungen führen kann.

1.2 Untersuchungsgegenstand

In diesem Forschungsprojekt wurden zwei Forschungsansätze verfolgt. Zum einen sollte eine grundlegende Untersuchung des Einflusses von Wandtemperierungen im Zuge von Behaglichkeitsuntersuchungen innerhalb unterschiedlicher Behaglichkeitsmodelle (Fanger, adaptives Behaglichkeitsmodell, thermophysiologische Modelle, s. u.) durchgeführt werden. Zum anderen sollten vergleichende Behaglichkeitsuntersuchungen von Flächentemperiersystemen durchgeführt werden, in denen sowohl das subjektive Empfinden von Testpersonen erfragt als auch objektive Messungen mithilfe eines Thermischen Manikins in der Zwei-Zonen-Klimakammer der RPTU durchgeführt werden.

Ziele des Projektes waren u. a. die Erlangung umfassender Kenntnisse der wichtigsten Einflussparameter der thermischen Behaglichkeit bei Wandtemperiersystemen, Überprüfung der unterschiedlichen Behaglichkeitsmodelle und gegebenenfalls deren Anpassung sowie die Quantifizierung der Größe möglicher Energieeinsparungen durch erhöhte Behaglichkeit bei niedrigeren Raumlufttemperaturen.

2 Problemstellung

2.1 Stand der Forschung/Baupraxis

Zur Verlangsamung des Klimawandels und der Erreichung der Klimaschutzziele stellt die Entwicklung immer effizienterer Heiz- und Kühlsysteme einen großen Forschungsschwerpunkt in den letzten Jahren dar [14, 15, 11, 10, 16, 17]. Flächenheiz- und -kühlsysteme spielen hierbei eine wichtige Rolle [12, 18, 13, 19, 20], da sie aus exergetischer Sicht sehr vorteilhaft sind und bei geringeren Raumlufttemperaturen eine vergleichbare oder höhere thermische Behaglichkeit hervorrufen als Konvektionsheizungen. Optimierte Flächentemperiersysteme können somit einen geringeren Energieverbrauch im Gebäude [21, 22] bewirken. Darüber hinaus wirbeln sie weniger Staub auf [23] bei guter (vertikaler) Temperaturverteilung im Raum [12, 23–25].

Der Großteil der Forschungsprojekte zur Thematik der Flächentemperierung konzentrierte sich in den letzten Jahren auf Fußböden und Decken [19, 24]. In [19, 20] zeigt sich, dass nur wenige Studien Untersuchungen mit Testpersonen durchführten. Diese Studien zeigten ebenfalls auf, dass Wandtemperierungen im wissenschaftlichen Diskurs unterrepräsentiert sind. In Untersuchungen zum Einfluss einer Deckenheizung auf die Behaglichkeit stellten [25] eine Abweichung in der Behaglichkeitsbeurteilung verglichen mit dem der DIN EN ISO 7730 [26] zugrunde liegenden Modell nach Fanger [8] fest. Für eine detaillierte Darstellung der tatsächlich vorherrschenden thermischen Behaglichkeit wurden thermophysiologische Modelle entwickelt, in denen auch lokale Unbehaglichkeiten einzelner Körperteile berücksichtigt werden [9, 27]. Normativ wurden in der DIN EN ISO 7730 [26] (Behaglichkeitsmodell Fanger) lokale Unbehaglichkeiten sowie die mittlere Strahlungstemperatur bzw. die operative Temperatur berücksichtigt. Auch in der DIN EN 16798-1 [28] wurde das Modell der lokalen Unbehaglichkeit der DIN EN ISO 7730 integriert. Im ASHRAE Standard 55 [29] wurde ein adaptives Behaglichkeitsmodell [30] integriert und somit zwei Behaglichkeitsmodelle und deren zugrunde liegenden Forschungsergebnisse berücksichtigt.

Ausgangsbasis für das Forschungsvorhaben:

Die Antragsteller entwickelten in [10, 18, 13] neuartige Flächenheiz- und -kühlsysteme, wobei verschiedene Verfahren zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit analysiert wurden. In [24] wurde der Wärmeübergangskoeffizient für eine Wandheizung untersucht. Für eine Differenz von etwa 6,4–15,1 K zwischen der operativen Temperatur und der Temperatur der Wandoberfläche lag der Wärmeübergangskoeffizient mit 8,3 W/m²K knapp über den 8,0 W/m²K der DIN EN ISO 11855-2 [31]. In den Untersuchungen wurde die Relevanz der physikalischen Raumanalyse der Wärme- und Luftströme erkenntlich. Bei diesen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass das Temperatur- und Strömungsfeld in unmittelbarer Umgebung eines Menschen aber auch in Wandnähe für die thermische Behaglichkeit von entscheidender Bedeutung ist. Im Rahmen des hier beantragten Projektes wurde mit dem an der RPTU verfügbaren PTV- (Particle Tracking Velocimetry)-basierten Messsystem in der Klimakammer der RPTU eine hochauflösende Bestimmung dieser Felder für Wandheiz- und -kühlsysteme vorgenommen.

Auch [32] untersuchten den Einfluss der asymmetrischen Strahlung auf lokale Unbehaglichkeiten in einem Raum mit Deckenkühlung. In einer aktuellen Untersuchung zu den Komfortgrenzen bei Strahlungsasymmetrie [33] hat sich herausgestellt, dass die aktuellen normativen Grenzen zur Strahlungsasymmetrie zu einer Unterbewertung lokaler Unbehaglichkeiten durch Wände führen kann. Der Einfluss asymmetrischer Strahlung auf die Behaglichkeit ist in der DIN EN ISO 7730 [26] auf Basis der Untersuchungen von Fanger [8] berücksichtigt. Schellen et al. [34] führte Untersuchungen zu thermophysiologischen Modellen durch. Dabei wurden das PMV (Predicted mean vote)-Verfahren [26, 8], das Berkeley thermal comfort model (UCB Modell) nach [34, 35] sowie der EN ISO 14505 Standard [36] nach Nilsson [37] verglichen. Die Grenzen des PMV-Modells für lokale Abweichungen der

Wärmeempfindung wurden aufgezeigt. Dagegen scheinen die beiden anderen Modelle vielversprechende Ergebnisse in stationären Raumklimata zu liefern.

2.2 Forschungslücke/Entwicklungsbedarf

Der Großteil der Forschungsprojekte zur Thematik der Flächentemperierung konzentrierte sich in den letzten Jahren auf Fußböden und Decken [19, 24]. Die Schwerpunkte der Projekte reichten dabei von der Untersuchung der Wärmeübergangskoeffizienten [38–41] bis hin zur thermischen Behaglichkeit [25, 42–44]. Wie bereits in [25] gezeigt wurde, sollte die aktuelle Normung für Deckenheizungen angepasst werden. Dies könnte ebenso für Wandheizungen gelten. Da die Forschungslage in Bezug auf Wandtemperiersysteme bislang unzureichend ist [19, 24] und sich die Verteilungen der Strahlungsasymmetrie bei unterschiedlichen Flächentemperiersystemen wesentlich unterscheiden, wird eine grundlegende Untersuchung des Einflusses von Wandtemperierungen auf die thermische Behaglichkeit und deren Beurteilung in verschiedenen Behaglichkeitsmodellen als notwendig erachtet. Zur Schließung dieser Forschungslücke wurde das hier beschriebene Projekt durchgeführt und dabei der Einfluss der asymmetrischen Strahlungsverhältnisse auf die operative Temperatur als Indikator der thermischen Behaglichkeit grundlegend erforscht.

Kernthesen:

- Wandheiz- und -kühlsysteme können einen wichtigen Beitrag zur fortschrittlichen Temperierung von Räumen leisten.
- Der Einfluss der asymmetrischen Strahlungsverhältnisse auf die thermische Behaglichkeit sowie auf die Strömungsverhältnisse im Raum ist bislang bei Wandtemperiersystemen nicht ausreichend untersucht.
- Die Auswirkungen auf Beurteilungen in verschiedenen Behaglichkeitsmodellen (und daher auch Normen) könnten von signifikanter Bedeutung sein.
- Durch eine breit gefächerte Untersuchungsmethodik (Testpersonenversuche, physikalische Raumanalyse, numerische Strömungssimulationen und thermische Simulationen) können die Auswirkungen von Flächenheizungen und -kühlungen im Detail erfasst und z. B. noch vorhandene Energieeinsparpotenziale erkannt werden.

3 Zielstellung

3.1 Konkrete Projektziele

In diesem Forschungsprojekt sollten zum einen eine grundlegende Untersuchung des Einflusses von Wandtemperierungen im Zuge von Behaglichkeitsuntersuchungen innerhalb unterschiedlicher Behaglichkeitsmodelle durchgeführt werden. Zum anderen sollten vergleichende Behaglichkeitsuntersuchungen von Flächentemperiersystemen durchgeführt werden, in denen sowohl das subjektive Empfinden von Testpersonen erfragt als auch objektive Messungen mithilfe eines Thermischen Manikins in der Zwei-Zonen-Klimakammer der RPTU umgesetzt werden.

Ziele des Projektes waren u. a. die Erlangung umfassender Kenntnisse der wichtigsten Einflussparameter auf die thermische Behaglichkeit bei Wandtemperiersystemen sowie die Quantifizierung der Größe möglicher Energieeinsparungen durch erhöhte Behaglichkeit bei niedrigeren Raumlufttemperaturen. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Behaglichkeitsmodelle hinsichtlich ihrer Eignung zur Anwendung bei Strahlungsasymmetrieszenarien untersucht und ein erster Schritt zur Anpassung gemacht.

3.2 Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu

In Deutschland hat der Einsatz von Flächenheiz- und -kühlsystemen seit 2005 um 70% zugenommen [45]. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse sollen als Grundlage für die Planung von Flächentemperiersystemen dienen, um Energieeinsparpotenziale dieser Heizungsart bestmöglich auszuschöpfen, bei hoher thermischer Behaglichkeit. Vor allem im Rahmen der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes bieten Wandheizungen viele Einsatzmöglichkeiten. Je nach baulicher Situation lassen sich dort alle raumumschließenden Flächen nutzen und zusätzlich mit einer Innendämmung energetisch verbessern. Die Wand erweist sich diesbezüglich als vergleichsweise leicht und schnell nachrüstbar. Zusätzlich beugen Wandheizungssysteme Problemen mit feuchten Außenwänden vor.

Der Marktanteil von Wandheizungen an allen Flächenheizungen lag 2024 nur bei etwa 5%. Für den recht geringen Anteil werden in erster Linie historische Gründe angeführt. Fußbodenheizungen waren bereits in der Antike sehr verbreitet, wohingegen Wandheizungen erst durch entsprechende technische Lösungen eine größere Verbreitung erfahren können. Darüber hinaus gilt es, bestehende Bedenken wie eine mögliche Beschädigung von Wandheizungssystemen beim Aufhängen von Bildern oder Schränken durch das Aufzeigen technischer Lösungen auszuräumen und Vorteile von Wandheizungssystemen detailliert zu untersuchen und publik zu machen. Gleichzeitig bedeutet dieser derzeit geringe Marktanteil, dass ein großes Steigerungspotential vorhanden ist. Vor allem in der Sanierung können Wandheizungssysteme eine wichtige Rolle zur energetischen Ertüchtigung von Gebäuden und zur Erreichung eines weitgehend CO₂-neutralen Gebäudebestandes im Jahr 2050 spielen.

4 Forschungsdesign

4.1 Arbeitshypothesen

Der Einfluss asymmetrischer Strahlungsverhältnisse auf die thermische Behaglichkeit sowie auf die Strömungsverhältnisse im Raum ist bislang bei Wandtemperiersystemen nicht ausreichend untersucht. Insbesondere bleibt unklar, in welchem Maße diese asymmetrischen Bedingungen das subjektive Komfortempfinden beeinflussen und welche physikalischen Effekte auf die Raumluchtströmung daraus resultieren.

Die Auswirkungen solcher Strahlungsverhältnisse auf die Bewertungskriterien verschiedener Behaglichkeitsmodelle – und damit auch auf normgerechte Auslegungen – könnten von signifikanter Bedeutung sein. Bestehende Normen und Modelle berücksichtigen asymmetrische Strahlung bislang nur begrenzt, wodurch mögliche Fehlinterpretationen der Behaglichkeit entstehen könnten.

Durch eine breit angelegte Untersuchungsmethodik, die sowohl Versuche mit Testpersonen als auch physikalische Raumanalysen, numerische Strömungssimulationen und thermische Simulationen umfasst, können die Effekte von Flächenheiz- und -kühlsystemen im Detail analysiert werden.

4.2 Methodischer Ansatz

Zunächst wurden im Zuge der experimentellen Untersuchungen in der Zwei-Zonen-Klimakammer des Fachgebietes Bauphysik der RPTU unterschiedliche Strahlungsasymmetrieszenarien und deren Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit mithilfe von Behaglichkeitsmessständen und einem Thermal Manikin analysiert. In diesem Projekt kamen verschiedene Behaglichkeitsmodelle zum Einsatz. Neben dem Modell nach Fanger wurde auch ein adaptiver Ansatz und das UCB-Modell verwendet. Mithilfe der physikalische Raumanalyse wurden durch PTV- und BOS-Systeme Temperatur- und Strömungsprofile an verschiedenen Orten im Raum gemessen und visualisiert. Die Testpersonenbefragungen fanden in den zuvor simulativ und experimentell untersuchten Szenarien statt. Sie dienen dem Vergleich zwischen subjektiv wahrgenommener und objektiv gemessener thermischer Behaglichkeit.

Mithilfe des thermischen Gebäudesimulationsprogramms TRNSYS wurden Flächentemperiersysteme energetisch bewertet und mit heizkörperbasierten Systemen verglichen. Untersuchungsgegenstand waren der Einfluss unterschiedlicher Gebäude- und Nutzungsarten sowie zusätzlich eine Analyse der Behaglichkeit im Rahmen des in TRNSYS integrierten PMV-Modells nach Fanger. TRNSYS ist eine Gebäudesimulationsprogramm in dem unter anderem die notwendigen Oberflächentemperaturen zum Erreichen einer behaglichen Raumsituation und dafür benötigte Energiebedarfe berechnet werden können. Ergänzend wurden Simulationen in ANSYS Fluent durchgeführt. ANSYS Fluent ermöglicht die Betrachtung der Wärmetransportvorgänge durch die Bauteile und den Wärmeübergang in die Bauteile, in denen eine Flächentemperierung integriert ist. Zur Erweiterung des Untersuchungsrahmens wurden die experimentellen Untersuchungen der Klimakammer im Simulationsprogramm ANSYS Fluent nachgebildet. Diesen Modellen ging eine Validierung mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen voraus. Zusätzlich wurden im Simulationsprogramm TAItherm die Behaglichkeit untersucht. In TAItherm können dreidimensionale thermische Simulationen durchgeführt werden. Der Vorteil dieses Programms liegt in der Integration des UCB-Modells und der Untersuchung einzelner Körpersegmente von im Programm integrierten Körpermodellen.

4.3 Projektteam und Organisation, Kooperationspartner

Die Beteiligten am Forschungsprojekt waren als wissenschaftlicher Partner und Projektleitung das Fachgebiet Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität (RPTU) Kaiserslautern-Landau sowie die Arbeitsgruppe Bauphysikalische Modellierung, welche am Fachgebiet angegliedert ist, und als Wirtschaftspartner der Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e. V. (BVF).

Das Fachgebiet Bauphysik/Energetische Optimierung übernahm die Koordinierung des Projektes und führte die experimentellen Untersuchungen mit Testpersonen und bauphysikalischen Messständen in der fachgebietseigenen Klimakammer durch. Außerdem wurden, unterstützt durch die Arbeitsgruppe Bauphysikalische Modellierung, bauphysikalische Simulationen durchgeführt. Schließlich wurden basierend auf den Projektergebnissen mögliche Anpassungen an gängigen Behaglichkeitsmodellen sowie ggf. Vorschläge zur Anpassung von Normen erarbeitet. Der BVF unterstützte das Projekt, indem das bestehende Fachwissen der Branche durch seine Mitarbeitenden der Geschäftsstelle in Dortmund gebündelt und aufbereitet wird. Der Geschäftsführer des BVF steuerte das Wissen aus den Normungsgremien bei. Des Weiteren begleitete der Arbeitskreis Technik des BVF das Projekt und je nach Fragestellung leistete weitere Beiträge aus der Praxis. Den Mitgliedsunternehmen des BVF wurde die Möglichkeit zur Beteiligung durch fachliche Beiträge und/oder Bereitstellung von unterschiedlichen technischen Lösungen für die Messstände gegeben.

4.4 Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspaket 1: Vorarbeiten/ Recherche

- Recherche zu Wandheizungs- und kühlssystemen
- Umfassende Recherche zu den wichtigsten Behaglichkeitsmodellen sowie der zugrunde liegenden physikalischen Grundlagen
- Abgleich mit existierenden themenverwandten Forschungsprojekten
- Konzeption der Testpersonenversuche und Fragebögen, Grundlagen zur Abfrage der subjektiven Behaglichkeit

Arbeitspaket 2: Experimentelle Behaglichkeitsuntersuchungen

- Behaglichkeitsmessungen in der Zwei-Zonen-Klimakammer mithilfe von Behaglichkeitsmessständen, einem Thermischen Manikin und dem PTV-/BOS-Strömungsmesssystem zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher asymmetrischer Strahlungsverhältnisse auf die objektiv gemessene thermische Behaglichkeit. Folgende Situationen sollten untersucht werden:
 - Einflüsse der Fenster innerhalb eines in der Außenwand integrierten Flächenheizsystems
 - einseitige Wandtemperierung – lokale Unbehaglichkeit auf der von der Wand entfernten Körperseite
 - Wandtemperierung in schlecht gedämmten Gebäuden: große Oberflächentemperaturdifferenz zwischen einzelnen Wänden im Raum
 - Einfluss von Möbeln und Inventargegenständen beim Einsatz von Wandtemperiersystemen in typischen Raumsituationen auf die thermische Behaglichkeit

- Einfluss der Entfernung zur Wandtemperierung auf die thermische Behaglichkeit
- Untersuchung von graduell ungünstigen asymmetrischen Strahlungsverhältnissen sowie unterschiedlichen Flächenheizsystemen bei konstanter operativer Temperatur zu deren Beurteilung als Indikator der thermischen Behaglichkeit

Arbeitspaket 3: Experimentelle Raumanalyse

- Physikalische Analyse der Strahlung und Luftströmungen verschiedener Orte im Raum mithilfe von Globe-Thermometern und weiterer Strahlungsmesstechnik sowie dem PTV- und BOS-Strömungsmesssystem als Grundlage für die Modellierung in AP4 für folgende Situationen:
 - große Strahlungsasymmetrien zwischen einzelnen Wänden
 - Strahlungsasymmetrien durch Fenster
 - Strahlungsasymmetrien durch Inventargegenstände
 - Vergleich der sich ausbildenden Luftströmungen aufgrund von unterschiedlichen Flächenheizsystemen

Arbeitspaket 4 Modellierung und Simulation

- Nachbildung der Laborversuche aus AP2 und AP3 mithilfe von ANSYS Fluent und Validierung der Modelle
- Erweiterung der ANSYS Fluent-Modelle auf weitere Raumgeometrien, Inventaranordnungen und Asymmetrieszenarien
- Untersuchung der thermischen Behaglichkeit mithilfe von thermischen Raum- und Gebäudemodellen in TRNSYS
- Untersuchung unterschiedlicher Flächentemperiersysteme und Vergleich mit anderen Heizungsarten (konvektive Heizsysteme)
- Untersuchung des Energieverbrauchs und möglicher Energieeinsparungen mithilfe des thermischen Gebäudesimulationsprogramms TRNSYS

Arbeitspaket 5: Testpersonenversuche

- Untersuchung der subjektiven Behaglichkeitswahrnehmung von etwa 20 Testpersonen in der Klimakammer der RPTU Kaiserslautern unter Berücksichtigung der in Meilenstein 3 festgelegten, in AP2 und AP3 untersuchten Raumsituationen durch qualitative Befragungen:
 - Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher asymmetrischer Strahlungsszenarien
 - Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Temperatur- und Strömungsprofile auf die subjektive Behaglichkeit
 - Personenbezogene Justierung und Steuerung der Flächenheizungen

Arbeitspaket 6: Analytischer Vergleich der subjektiven und objektiven Behaglichkeit

- Untersuchung von Regelung und Steuerung der Systeme auf Basis der objektiven und subjektiven Behaglichkeitsmessdaten

- Vergleich der Ergebnisse von AP2 und AP5 auf mögliche Diskrepanzen zwischen objektiv gemessener und subjektiv wahrgenommener Behaglichkeit

Arbeitspaket 7: Anpassungen von Behaglichkeitsmodellen

- Zusammenfügung der gesammelten Ergebnisse und Abgleich mit den Behaglichkeitsmodellen
- Aufdeckung von ggf. anfallenden Optimierungspotenzialen und Entwicklung möglicher Anpassungen der Verfahren und ggf. Vorschlag für Anpassung der Normen

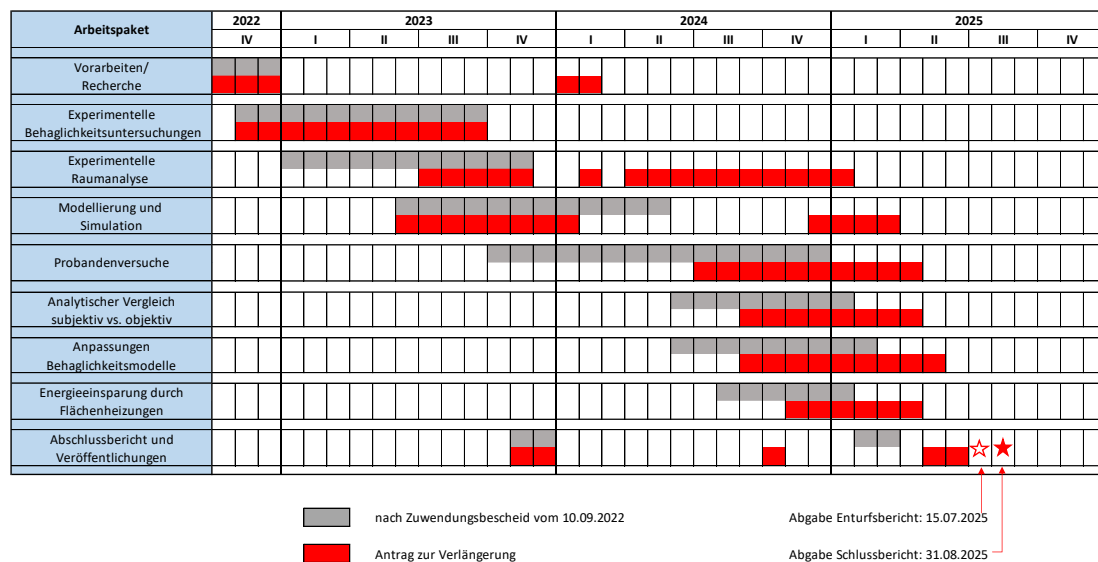
Arbeitspaket 8: Möglichkeiten der Energieeinsparung durch Flächenheizungen

- Aufdecken möglicher Energieeinsparpotenziale durch auftretende Diskrepanzen zwischen objektiver Messung und subjektiver Behaglichkeitswahrnehmung
- Untersuchung des Energieverbrauchs und möglicher Energieeinsparungen mithilfe des thermischen Gebäudesimulationsprogramms TRNSYS unter Berücksichtigung der (Zwischen)Ergebnisse aus AP2 und AP5
- Untersuchung des Einflusses einer personenbezogenen Justierung der Flächentemperiersysteme auf die Energieeinsparungspotenziale der Systeme

Arbeitspaket 9: Abschlussbericht/ Veröffentlichung der Ergebnisse

- Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften und auf Konferenzen
- Zusammenfassung der Ergebnisse im Abschlussbericht

Abbildung 1
 Ursprünglicher und überarbeiteter Arbeits-Zeit-Plan nach Beantragung der Verlängerung



Meilenstein 1:

Festlegung der relevanten experimentellen Untersuchungen in der Zwei-Zonen-Klimakammer bezüglich Behaglichkeit und Strahlungsasymmetrie

Meilenstein 2:

Festlegung der Berechnungsrandbedingungen für die Durchführung von CFD-Simulationen in ANSYS Fluent in AP 4.

Meilenstein 3:

Festlegung der für die Testpersonenversuche relevanten Raum- und Strahlungssituationen auf Grundlage der experimentellen Untersuchungen in AP2 und AP3. Validierung der Modelle durch Vergleich mit experimentellen Untersuchungen.

Meilenstein 4:

Abschluss der Simulationen, Evaluation möglicher Diskrepanzen zwischen Messungen/Simulationen und Berechnungen aus Behaglichkeitsmodellen.

5 Projektverlauf

5.1 Darstellung der durchgeführten Arbeiten und der Erkenntnisse daraus (inkl. Zwischenergebnisse und Meilensteine)

5.1.1 Recherche zum Stand der Wissenschaft und Technik

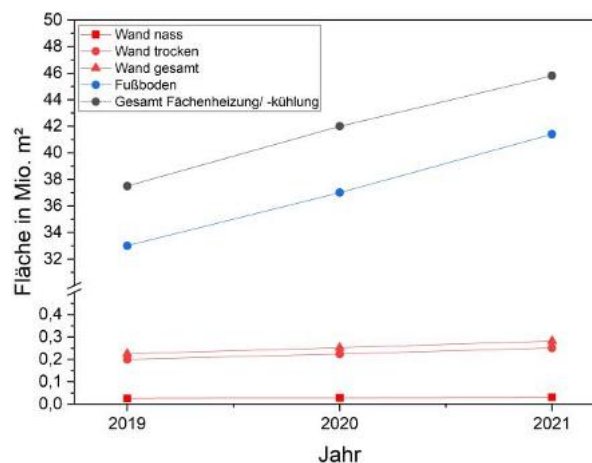
Zu Beginn des Projektes wurden bei der Bearbeitung des AP1 Recherchen zum Stand der Wissenschaft bezüglich einschlägiger Modelle und Normen der thermischen Behaglichkeit durchgeführt, um die Grundlagen für die experimentellen und simulativen Untersuchungen zu schaffen. Die Schwerpunkte lagen zunächst auf dem PMV-Modell nach Fanger [26, 8], dem UCB-Modell [27, 35, 46, 47] sowie adaptiven Ansätzen der thermischen Behaglichkeit [48–50], die etwa im Modell der DIN EN 16798 [28] über die operative Temperatur berücksichtigt werden. Zusätzlich lag der Fokus auf Wandheizungs- und -kühlsystemen sowie der Analyse existierender themenverwandter Forschungsprojekte. Darüber hinaus wurde zu der Durchführung von Testpersonenversuchen recherchiert, um einen validen Forschungsablauf zu gewährleisten. Ergänzt wurden die Arbeiten der RPTU von Zuarbeiten seitens des Projektpartners, dem BVF. Neben den Installationsmöglichkeiten (bspw. durch Modulbauweise) bei Neubau und Sanierung steuerte der BVF Informationen zu den verschiedenen Ausführungsformen, Bauarten und Marktanteil der Systeme bei.

5.1.2 Wandheiz-/ -kühlsysteme

Wandheiz-/ -kühlsysteme haben sich in den vergangenen Jahren in Kombination mit modernen Wärmeerzeugungstechniken und ähnlich wie Fußbodenheizungen einen zunehmend wachsenden Marktanteil erobert. Inzwischen stehen zudem werksseitig fertig vormontierte Systeme zur Verfügung.

Abbildung 2

Absatzmenge Flächenheizung in Deutschland aller Anbieter in Mio. m²



Im Neubau eignen sich Wandheiz-/ -kühlsysteme für den Einsatz in gut gedämmten Gebäuden und auch für den Bestand existieren vielfältige praxisnahe Ausführungsmöglichkeiten.

Das System kann als Warmwasser-System mit Rohren, Registern aus Kunststoff, Kunststoff-Aluminium-Verbundwerkstoff, Kupfer-Kunststoff oder Kupfer und als elektrisches System (nur Heizung) mit elektrischen Heizleitungen oder Flächenheizelementen errichtet werden. Bei Wandsystemen werden die Rohre, Register Heizleitungen oder Flächenheizelemente direkt oder auf / in einer Dämm- bzw. Systemplatte auf der Wand verlegt und befestigt.

Wandheiz-/kühlsysteme können auf gemauerten Wänden, Fertigteil- und Betonwänden sowie als Ständerkonstruktion aufgebauten Trockenbauwänden ausgeführt werden. Die Wand muss den statischen Anforderungen zur Aufnahme der Wandheiz-/kühlsysteme und der vorgegebenen Statik genügen. Alle Elektro- und Sanitärinstallationsarbeiten in der für die Beheizung/Kühlung vorgesehenen Wand müssen abgeschlossen sein. Vorhandene Rohrleitungen, Elektroleitungen o. ä., die auf der Rohwand verlegt sind, müssen festgelegt sein.

Abbildung 3

Praxisbeispiele für die Ausführung eines Wandtemperiersystems als Nasssystem (links) und Trockenbaulösung (rechts)



Quelle: BVF

Man unterscheidet grundsätzlich zwei unterschiedliche Bauarten. Bei der Bauart A (s. Abbildung 4 links) werden die Rohre, Register oder Heizleitungen in der Wärmeverteilschicht (Putz oder Trockenbauplatte) verlegt. Die Ausführung erfolgt direkt auf der Wand oder mit zusätzlicher Dämmschicht. Bei Bauart B (s. Abbildung 4 rechts) werden die Rohre, Register oder Heizleitungen in der Dämmschicht integriert (evtl. mit Leitblech oder Leitfolie). Die Ausführung erfolgt direkt auf der Wand oder mit zusätzlicher Dämmschicht.

Abbildung 4

Ausführungsformen von Wandheiz-/kühlsystemen mit Ausführungsart A (links) und Ausführungsart B (rechts)



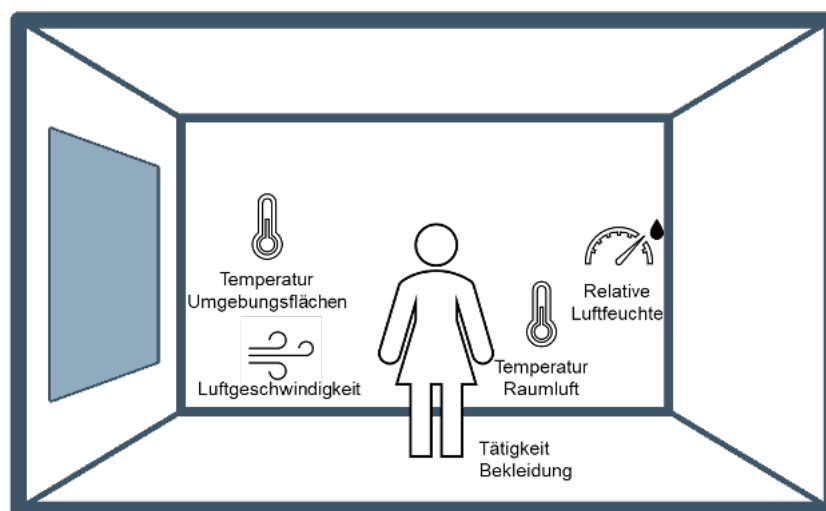
Quelle: BVF

5.1.3 PMV-Modell

Das PMV-Modell nach Fanger [8] wurde bereits 1970 entwickelt und ist Grundlage für die DIN EN ISO 7730 [26]. Im Laufe der Jahre wurde das Modell in einer Vielzahl an Forschungsprojekten verwendet und für viele Situationen validiert [51–63, 10]. Es bietet daher eine gute Vergleichbarkeit, die auch auf die einfache Anwendung des Modells zurückzuführen ist. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, sind für das PMV-Modell lediglich die sechs Parameter Raumlufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte, Tätigkeit und Bekleidungsgrad zu ermitteln. Auch wenn die mittlere Strahlungstemperatur die Oberflächentemperaturen von Flächentemperiersystemen berücksichtigt, scheint die Genauigkeit des Modells bei asymmetrischen Strahlungsbedingungen nur unzureichend gegeben und ist weiterhin Forschungsgegenstand [64, 65].

Das Modell basiert auf einer Wärmebilanz des menschlichen Körpers. In den experimentellen Untersuchungen zu dessen Entwicklung befanden sich die Teilnehmenden in unterschiedlichen Umgebungsklimata und sie bewerteten den von ihnen empfundenen thermischen Zustand. Aus diesen Daten entwickelte Fanger ein statistisches Modell, um den relativen Anteil jener Personen vorherzusagen, die sich in einem bestimmten Innenraumklima unbehaglich fühlen werden. Dazu wurden die beiden Kennzahlen, das vorausgesagte mittlere Votum PMV (predicted mean vote) und der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen PPD (predicted percentage of dissatisfied), entwickelt. [26, 8]

Abbildung 5
Einflussfaktoren nach PMV-Modell auf die thermische Behaglichkeit



Im PMV-Modell ist die thermische Behaglichkeit grundsätzlich mit einem thermisch neutralen Zustand gleichzusetzen. Lediglich durch bspw. asymmetrische Strahlungsverhältnisse können Abweichungen bei diesem Zusammenhang auftreten. Dabei ist ein thermisch neutraler Zustand daran zu erkennen, dass die Raumnutzenden weder ein wärmeres noch ein kühleres Umgebungsklima bevorzugen würden. In einer Wärmebilanz würde der Körper also genau so viel Wärme erzeugen, wie er auch wieder an die Umgebung abgibt. Auf dieser Prämisse aufbauend, wurden die Testpersonen in den durchgeführten experimentellen Untersuchungen nach ihrem thermischen Befinden befragt und sollten auf der in Abbildung 6 dargestellten Skala angeben, ob sie das Innenraumklima in diesem Moment als heiß, warm, etwas warm, neutral, etwas kühl, kühl oder kalt empfanden. [26, 8]

Abbildung 6
Sieben Punkte der Klimabeurteilungsskala nach [26]

+ 3	heiß
+ 2	warm
+ 1	etwas warm
0	neutral
- 1	etwas kühl
- 2	kühl
- 3	kalt

Mit dem PMV-Modell können lediglich homogene und stationäre Raumklimata analysiert werden. Ferner gilt das Modell nur für große Personengruppen und es bildet unterschiedliche Körperarten (Physiognomie), Ethnien und Geschlechter nur ungenau ab [52, 53, 66].

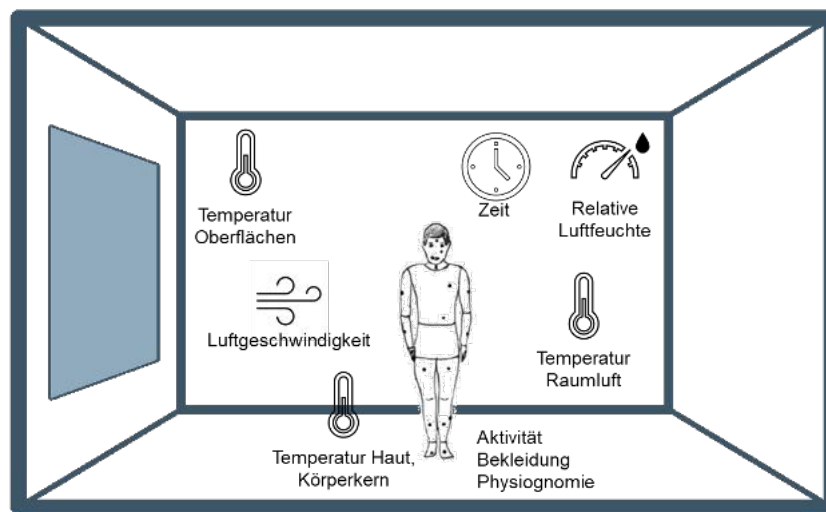
5.1.4 UCB-Modell

Hui Zhang, Ed Arnes und Kollegen entwickelten das Advanced Human Thermal Comfort Model der University of California Berkeley – UCB-Modell – welches auf dem Stolwijk-Modell und dem Tanabe-Modell basiert [9, 27, 35, 46, 47]. Das UCB-Modell zählt zu den thermophysiologischen Modellen. Wie an der Darstellung der Person in Abbildung 7 zu erkennen ist, wird der Körper in diesem Modell nicht mehr bloß als Einheit angesehen. Bei der Entwicklung des Modells wurden 16 Körpersegmente mit mehreren Knoten, die jeweils eine Körperschicht darstellen, verwendet, es kann aber eine noch feinere Segmentierung z. B. in Umgebungen mit lokalen Temperaturschwankungen vorgenommen werden. Die Blutgefäße werden als eine separate Anzahl von Knoten dargestellt, die für den Wärmetransfer zwischen den Segmenten und den Knoten der Körperschichten verantwortlich sind. Die Physiognomie des Körpers kann detailliert angesetzt werden und thermoregulatorische Reaktionen werden berücksichtigt. Das UCB-Modell beinhaltet zusätzlich einen Knoten zur Modellierung der Wärme- und Feuchtigkeitskapazität von Kleidung, was keines der anderen Modelle berücksichtigt. Es kann für instationäre und inhomogene Umgebungsbedingungen eingesetzt werden. Das UCB-Modell enthält neben der Ermittlung der Körpertemperaturen weitere Berechnungen, in welchen 1) das lokale Wärmeempfinden [27], 2) die lokale Behaglichkeit an verschiedenen Stellen des menschlichen Körpers [35] und 3) das Ganzkörperempfinden und die Behaglichkeitsreaktionen [46] separat modelliert werden. Die Daten stammen aus Klimakammerexperimenten. In 1) wird das thermische Empfinden von 19 einzelnen lokalen Körpersegmenten durch Modelle beschrieben, welche durch eine Regressionsanalyse der Haut- und Kerntemperaturen aus den erhaltenen Bewertungen über die thermische Empfindung abgeleitet wurden. In 2) wird für jedes Segment die lokale Behaglichkeit anhand der lokalen und globalen Wärmeempfindungen vorhergesagt. In 3) werden schließlich das globale Empfinden und die resultierende globale Behaglichkeit, die sich aus der Kombination von lokalen Empfindungen und Behaglichkeiten ergeben, ermittelt. Im Jahr 2014 wurden Verbesserungen des lokalen Empfindungsmodells und des Ganzkörperempfindungsmodells veröffentlicht [47].

Neben den zum PMV-Modell identischen sechs Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit werden in diesem thermophysiologischen Modell sowohl zusätzlich die Temperatur der Haut und die Körpertemperatur sowie deren Änderungen über die Zeit berücksichtigt. Außerdem werden die personspezifischen Faktoren der Physiognomie, also das Erscheinungsbild der Person, berücksichtigt [67]. Mit dem UCB-Modell wird die lokale und die globale thermische Behaglichkeit analysiert. Ferner sind darin auch instationäre Betrachtungen von heterogenen Raumklimata möglich.

Abbildung 7

Einflussfaktoren UCB-Modell der thermischen Behaglichkeit mit der Skala zur Bewertung des thermischen Empfindens (links) und der thermischen Behaglichkeit (rechts)



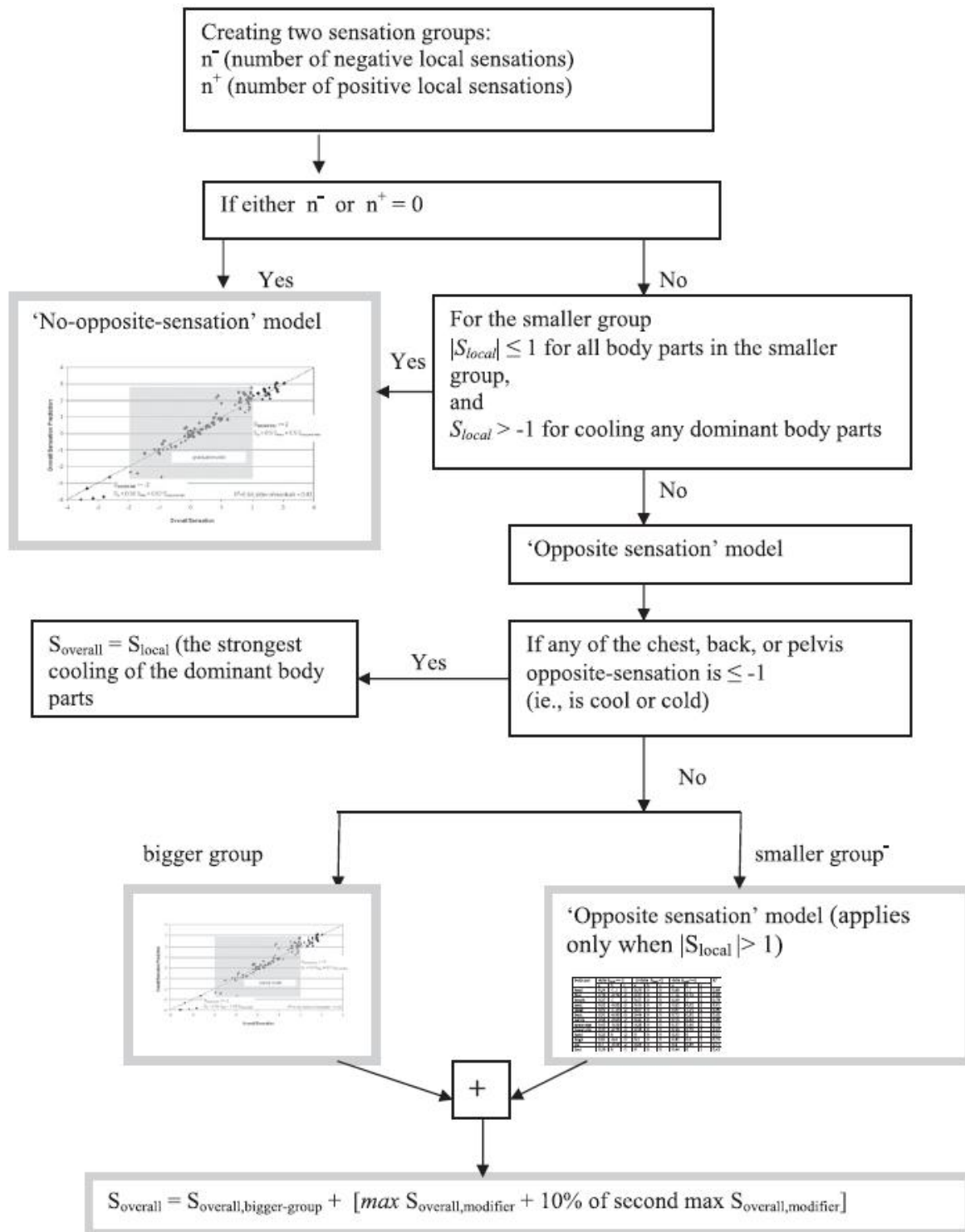
Die Wahrnehmung der jeweiligen Körpersegmente wird im Modell über eine logistische Funktion mit den Eingabeparametern lokale und mittlere Hauttemperatur sowie der Ableitungen der Haut- und der Körperkerntemperatur jeweils über die Zeit abgebildet. Der globale thermische Zustand des Körpers wird dabei über die mittlere Hauttemperatur berücksichtigt und die beiden Ableitungen über die Zeit ermöglichen die Analyse instationärer Raumklimata. Ferner wurde die siebenstufige Skala des Modells nach Fanger um die beiden Extrema *very cold* (-4) und *very hot* (+4) ergänzt. Zu unterscheiden sind das thermische Empfinden und die thermische Behaglichkeit. Während sich die Skala des thermischen Empfindens an der Skala des Modells nach Fanger orientiert, leitet sich die Skala der thermischen Behaglichkeit aus der thermischen Empfindung ab.

Grundsätzlich ist die Berechnung des Empfindens und der Behaglichkeit, vor allem die globale sehr komplex. Das in Abbildung 8 dargestellte Flussdiagramm visualisiert die Berechnung des globalen Empfindens für unterschiedliche lokale Empfindungen. Wenn sich lokale Empfindungen in Richtung Neutralität bewegen, verlieren extreme Empfindungen ihren starken Einfluss auf das globale Empfinden. Das globale Empfinden nähert sich dem Mittelwert aller lokalen Empfindungen. Daher wird in diesem Fall das gradual model verwendet, um das globale Empfinden zu berechnen. Bei dem gradual model wird ein Zählintervall verwendet, um zu bestimmen, wie viele weniger extreme lokale Empfindungen einbezogen werden sollten. Bei der Berechnung des globalen Empfindens unterscheidet das Modell zwei Regeln, wie dieser bestimmt wird:

- Rule 1: Die globale Behaglichkeit ist der Durchschnitt der beiden niedrigsten lokalen Behaglichkeiten
- Rule 2: Die globale Behaglichkeit ist der Durchschnitt aus den beiden minimalen und der maximalen lokalen Behaglichkeit.

Rule 1 wird immer angewendet, es sei denn die Personen haben Kontrolle über ihre thermische Umgebung oder die thermischen Bedingungen sind transient. Dann findet Rule 2 Anwendung.

Abbildung 8
Flussdiagramm des globalen Empfindungs-Modells

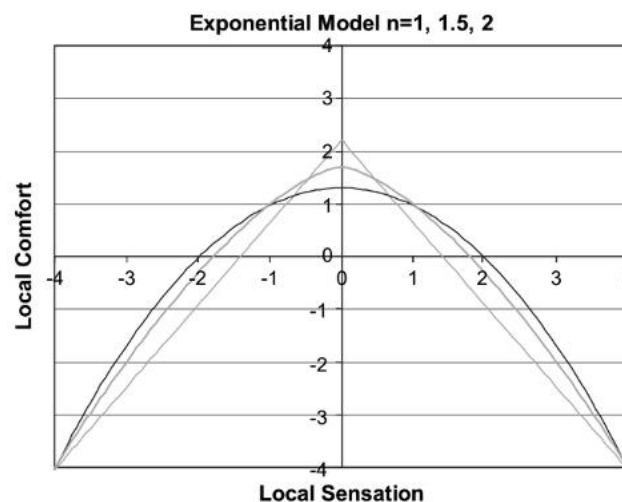


Quelle: Zhang et. al. [46]

Auch das UCB-Modell folgt dem Ansatz von Fanger, nachdem der neutrale Zustand mit einer höheren Behaglichkeit einhergeht. Dies ist in Abbildung 9 an jedem der drei möglichen Graphen für den Zusammenhang der lokalen thermischen Empfindung und der lokalen thermischen Behaglichkeit zu erkennen. Analog zum PMV-Modell liegt der Bereich der größten Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima bei einer lokalen Empfindung zwischen etwas warm (+1) und etwas kühl (-1). Dabei wird die Skala der thermischen Behaglichkeit unterteilt in sehr behaglich (+4), behaglich (+2), gerade noch behaglich (+1), gerade so unbehaglich (-1), unbehaglich (-2) und sehr unbehaglich (-4). Es wird keine Unterteilung in warme und kühle Zustände vorgenommen. Entscheidend ist lediglich das Ergebnis mit Bezug auf die Behaglichkeit.

Abbildung 9

Drei mögliche Graphen für den Zusammenhang der lokalen thermischen Empfindung und der lokalen thermischen Behaglichkeit



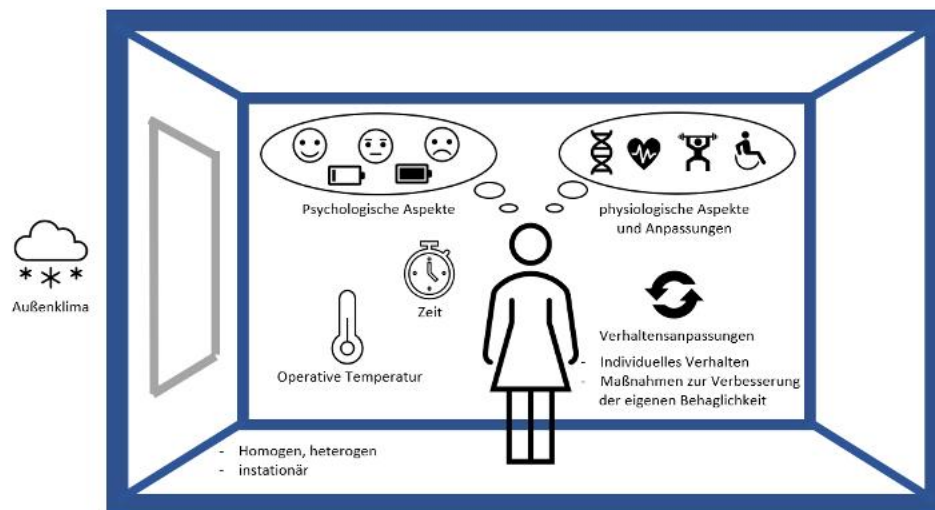
Quelle: Zhang et. al. [35]

Forschungen haben gezeigt, dass thermophysiologische Modelle Strahlungsasymmetrien besser abbilden als das PMV-Modell nach Fanger [34]. Auch gute Übereinstimmungen bei Haut- und Körperkern-temperaturen konnten festgestellt werden [68]. Aufgrund dieser erweiterten und auch präziseren Analyse der thermischen Behaglichkeit ist der größere Mess- und Simulationsaufwand bei der Verwendung des UCB-Modells gegenüber dem PMV-Modell häufig gerechtfertigt. Vergleichende Untersuchungen zu thermophysiologischen Modellen wurden z. B. von [34] durchgeführt. Dabei wurden das PMV-Modell [26], das UCB-Modell [9, 27, 35, 46, 47] sowie der EN ISO 14505 Standard [36] verglichen. Das PMV-Modell ist für die Bewertung von lokalen Abweichungen der Wärmeempfindung nicht gut geeignet. Die beiden anderen Modelle liefern vielversprechende Ergebnisse in stationären Raumklimata. Das thermische Empfinden scheint stärker von der Strahlungsasymmetrie als von der Temperaturschichtung im Raum beeinflusst zu werden. [69] Bisherige Untersuchungen zur Strahlungsasymmetrie legen den Fokus meist auf Komfortgrenzen bei thermisch neutralen Zuständen. In einer Testpersonenstudie einer Raumsituation mit langfristigen seitlichen Asymmetriezuständen wurde festgestellt, dass die aktuellen Grenzen der Strahlungsasymmetrie zur Unterbewertung lokaler Unbehaglichkeit führen. Es wurde eine Veränderlichkeit des thermischen Empfindens mit zunehmender Dauer des Experiments beobachtet. [33] Auch in [70] wurde die Wirkung von Asymmetrie auf die thermische Behaglichkeit von Testpersonen untersucht und ein Zusammenhang zwischen Expositionsdauer und der thermischen Behaglichkeit gefunden. Da das thermische Empfinden stark von der Strahlungsasymmetrie beeinflusst zu sein scheint, ist es essenziell, Flächentemperierungen und die daraus resultierenden Strahlungsasymmetrien umfassend zu untersuchen und ihre Einflüsse auf die lokale und globale thermische Behaglichkeit zu bestimmen.

5.1.5 Adaptive Ansätze

Das Themengebiet der adaptiven Ansätze ist wesentlich komplexer als die zuvor vorgestellten Modelle. Vergleichbare quantitative Modelle mit ähnlicher Aussagekraft wie das PMV- und das UCB-Modell wurden bisher noch nicht entwickelt. Wie in der Abbildung 10 zu sehen ist, wird der Betrachtungsrahmen bei adaptiven Ansätzen um unterschiedliche Aspekte wie etwa psychologische und physiologische als auch um individuelle (Verhaltens-)Anpassungen erweitert [71]. Dennoch findet weiterhin eine Analyse der üblichen physikalischen Randbedingungen in einem Raum wie im PMV-Modell statt.

Abbildung 10
Einflussfaktoren im adaptiven Ansatz der thermischen Behaglichkeit



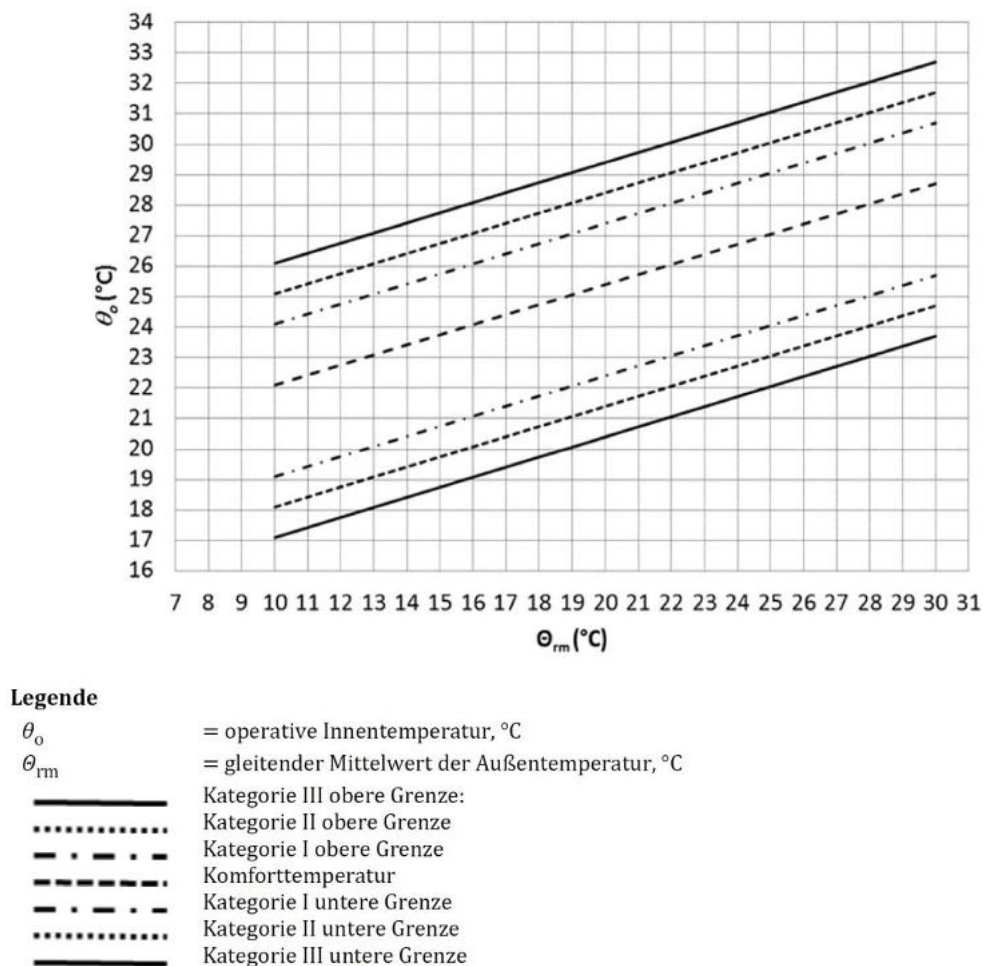
Die Idee hinter den adaptiven Ansätzen ist, dass der Mensch nicht als passive raumnutzende Person lediglich anwesend ist, sondern dass explizit in die Umgebung eingreifen kann, um die eigene thermische Behaglichkeit zu verbessern. Grundsätzlich werden diese Maßnahmen in Verhaltens-, physiologische und psychologische Anpassungen unterteilt [71]. Erstere berücksichtigen bspw. das Öffnen eines Fensters und zweitgenannte die Schweißproduktion des Körpers (kurzfristig) oder langfristige Akklimatisierungsprozesse bei veränderten klimatischen Bedingungen über einen langen Zeitraum, etwa nach einem Umzug in eine andere Klimaregion. Beispiele für die letzte Kategorie wären die Erwartungshaltung an das vorherrschende Raumklima oder die Steuerungsmöglichkeiten zur Veränderung des Raumklimas. Studien haben gezeigt, dass allein die Möglichkeit, ein Fenster öffnen zu können, die Behaglichkeit von Testpersonen verbessert, unabhängig davon, ob das Fenster auch tatsächlich geöffnet wird [72].

Für die adaptive Behaglichkeit ist auch das Außenklima relevant. Die Wohlfühltemperatur im Raum hängt unter anderem von der Außentemperatur ab [73]. Im Sommer werden höhere Temperaturen als behaglich wahrgenommen als im Winter. Dies wurde in der DIN EN 16798 [28] (Abbildung 11) berücksichtigt. Dabei wird zum einen die Komfortraumtemperatur in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur aber auch Grenzwerte für drei Kategorie angegeben. Die Kategorien berücksichtigen dabei die Erwartungshaltung der Gebäudenutzenden (s. Tabelle 1) Als durchschnittliches Erwartungsmaß steht Kategorie II. Bei Gruppen mit besonderen Bedürfnissen wie beispielsweise Kindern, älteren Personen oder Menschen mit Behinderungen, kann ein höheres Erwartungsmaß festgelegt werden. Eine höhere Kategorie führt dabei nicht zu gesundheitlichen Risiken, kann allerdings den Komfort verringern. Den Kategorien liegen Grenzwerte für PPD und PMV zugrunde. Das darin zugrundeliegende Modell kann als vereinfachtes adaptives Modell verstanden werden.

Tabelle 1
Kategorien für die Innenraumqualität [28]

Kategorie	Maß an Erwartung
Kategorie I	hoch
Kategorie II	mittel
Kategorie III	moderat
Kategorie IV	niedrig

Abbildung 11
Komfortraumtemperatur und Grenzwerte für Kategorie I, II und III der operativen Innentemperatur für Gebäude ohne maschinelle Kühlanlagen in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur



Quelle: DIN EN 16798-1 [28]

Neben der Relation zwischen Außen- und operativer Temperatur waren die adaptiven Ansätze für die Konzeption des Studiendesigns relevant. Aufbauend auf den Forschungsergebnissen der adaptiven Ansätze konnten Testpersonenversuche so konzipiert werden, dass möglichst keine systematischen Fehler und Verzerrungen durch unberücksichtigte psychologische und physiologische Aspekte entstanden.

5.1.6 Überblick über die Forschungsmethodik

In Abbildung 12 ist dargestellt, in welchen Untersuchungsszenarien welche Messtechnik benötigt wurde, um die erforderlichen Messgrößen der jeweiligen Behaglichkeitsmodelle ermitteln zu können. Ergänzend ist die Untersuchungsszenario-Matrix aus Meilenstein 1 in Tabelle 2 dargestellt. Während für das UCB-Modell in Blau die gesamte aufgezeigte Messtechnik benötigt wurde, sind für das PMV-Modell [8] in Rot etwa Messergebnisse des thermischen Manikins (Haut- und Kerntemperatur sowie Körperhaltung) irrelevant. Sowohl Mess- als auch Simulationsaufwand war beim UCB-Modell am größten. Für das adaptive Modell nach DIN EN 16798 [28] in Gelb waren lediglich die Temperaturen zur Bestimmung der operativen Temperatur (inkl. Luftgeschwindigkeit) erforderlich. Wie bereits in den adaptiven Ansätzen beschrieben wurde, sind die Ergebnisse aus unterschiedlichen adaptiven Ansätzen für alle Modelle relevant, sodass bereits bei der Konzipierung des Studiendesigns verschiedene Fragen der adaptiven Ansätze beantwortet werden mussten (gelber Kasten).

Abbildung 12

Zusammenhang Untersuchungsszenarien, erforderliches Equipment, Messgrößen und Behaglichkeitsmodelle

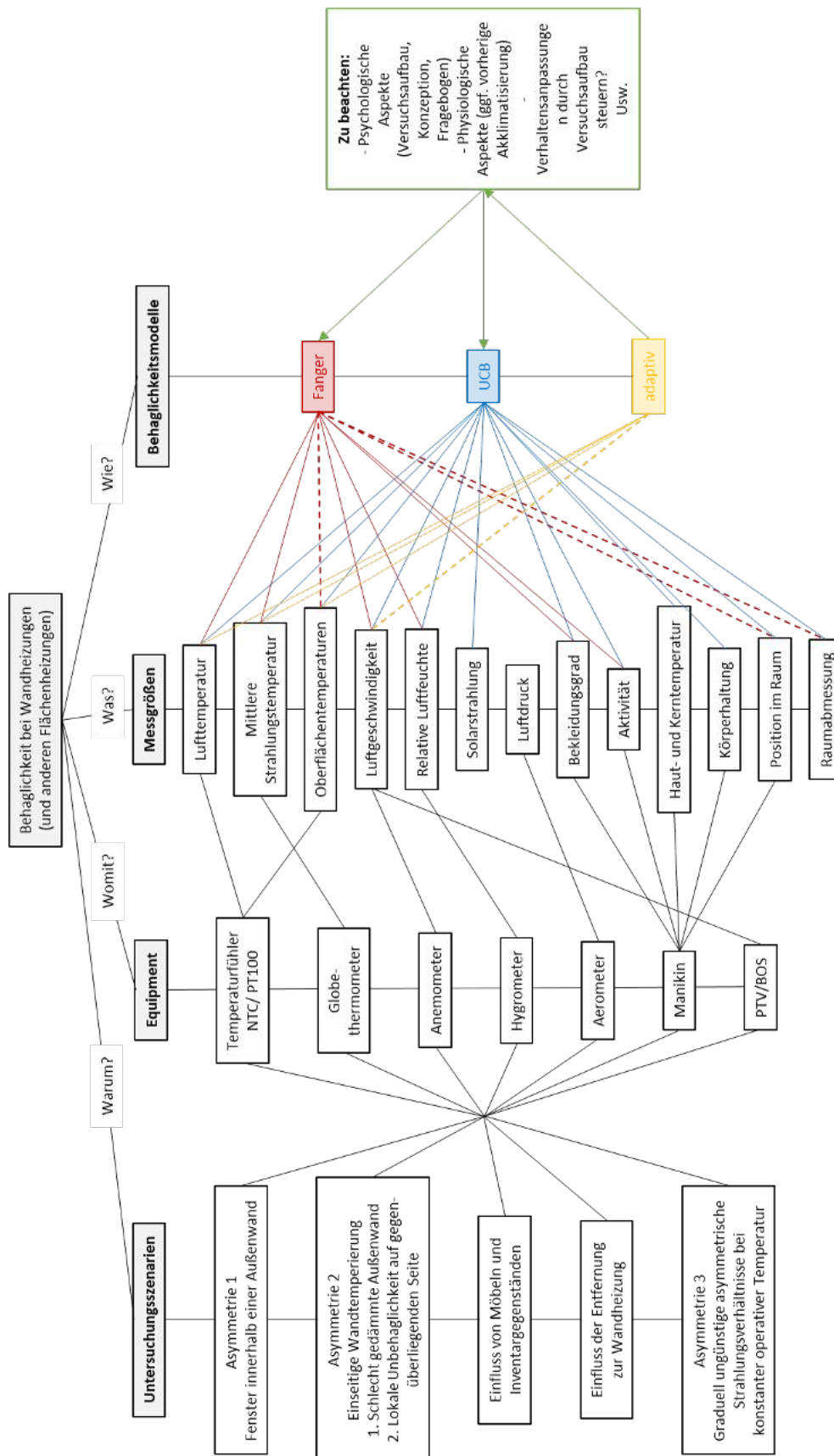


Tabelle 2

Untersuchungsszenarien des 1. Meilensteins für die experimentellen und simulativen Untersuchungen

Untersuchungsgegenstand	Messszenario	Equipment	Messgröße
Fenster innerhalb Außenwandheizung	Wandseite mit Fenster beheizen Unbeheiztes Wandsegment zwischen zwei beheizten Segmenten / Ecksegment unbeheizt		Luftgeschwindigkeit rel. Luftfeuchte
Einseitige Wandtemperierung: Fall schlecht gedämmte Außenwand Fall lokale Unbehaglichkeit auf gegenüberliegender Seite	Eine Wandseite beheizt, 1-2 Wandseiten mit kühlerer Oberflächentemperatur (entsprechend realistischer, schlechter U-Werte)	Globethermometer Anemometer Hygrometer	Luftdruck Solarstrahlung Abmessungen aller Flächen
Einfluss Möbel und Inventargegenstände	Einfluss Schreibtisch / Stuhl auf die lokale Behaglichkeit (Möbel vor Person) Schrank / Bilder / Kommode vor beheizter Wand (Möbel vor Wand)	Luftdruckmesser Kohlendioxidfühler	Strömungsprofile der Luft
Einfluss der Entfernung zur Wandheizung	Entfernung von 0,5/1,0/1,5/2,0/2,5 Metern zur beheizten Wand	Thermisches Manikin Messsystem für Luftströmungen (PIV/PTV)	Temperaturen (Raumluft, mittlere Strahlungstemperatur, Oberflächentemperaturen der Wände und Fenster)
Graduell ungünstige asymmetrische Strahlungsverhältnisse bei gleichbleibender operativer Temperatur	Fall Wandheizung (warme Wand/Wände bei kühleren Wänden/Decken) Fall Fußbodenheizung (warmer Fußboden bei kühleren Wänden/Decken/Böden) Fall Deckenheizung (warme Decke bei kühleren Wänden/Böden)	Schlierenfotografie zur Visualisierung von Luftströmungen (BOS)	Thermisches Manikin (Haut- und Kerntemperatur, Position im Raum, Körperhaltung, PMV/PPD)

Die dargestellten Untersuchungsszenarien wurden in der Zwei-Zonen-Klimakammer des Fachgebiets untersucht. Diesen vorgelagert waren zunächst die Untersuchungen im AP4, welche mithilfe von drei unterschiedlichen Simulationsprogrammen erfolgten: ANSYS Fluent, TRNSYS und TAItherm. Mithilfe des thermischen Gebäudesimulationsprogramms TRNSYS können Gebäude mit unterschiedlichen Heiz- und Kühlsystemen modelliert und anschließend im Rahmen des PMV-Modells die Behaglichkeit analysiert werden. Zusätzlich ermöglicht das Programm die Untersuchung der Energieeffizienz der unterschiedlicher Heiz- und Kühlsysteme. Mit ANSYS Fluent können numerische Strömungs- bzw. CFD-Simulationen

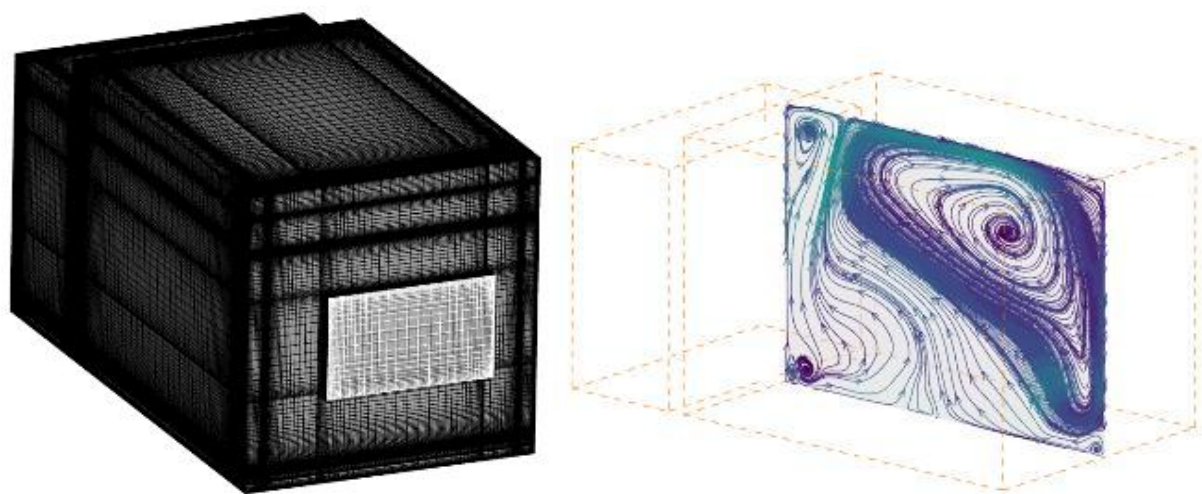
durchgeführt werden. Dadurch können zusätzlich die (natürlichen) Luftströmungen und ihre Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit untersucht werden. Im dritten Programm TAItherm können dreidimensionale thermische Simulationen durchgeführt werden. Der Vorteil dieses Programms liegt in der Integration des UCB-Modells und der Untersuchung einzelner Körpersegmente von im Programm integrierten Körpermodellen.

5.1.7 Simulationen in ANSYS Fluent

Mithilfe von ANSYS Fluent [74] wurden die durch die unterschiedlichen Oberflächentemperaturen entstehenden Luftströmungen analysiert sowie zusätzlich die mittlere Strahlungstemperatur und das PMV-Modell untersucht. Die Ergebnisse der beiden letztgenannten Indikatoren wurden mit den Ergebnissen der Simulationen in TRNSYS verglichen. Die maximale Abweichung der mittleren Strahlungstemperaturen zwischen den beiden Programmen lag in den vorgenommenen Untersuchungen bei etwa 2 %. Die Abweichungen der PMV-Werte waren wesentlich höher und teilweise im dreistelligen Prozentbereich, was auf die unterschiedlichen, im jeweiligen Programm verwendeten, Raumlufttemperaturen zurückzuführen ist. Während in TRNSYS die Temperatur konstant auf 20 °C gehalten wurde, waren die Möglichkeiten in ANSYS Fluent etwas begrenzter, da der Fokus darin auf den Luftbewegungen lag und die Raumlufttemperatur nicht als konstant angesetzt wurde. Vielmehr wurden die Werte im Verlauf der Simulationen berechnet, um dadurch die Interdependenzen zwischen Luftbewegungen und Raumlufttemperatur analysieren zu können. Die Simulationen wurden an einem Modell der fachgebietseigenen Zwei-Zonen-Klimakammer durchgeführt (Abbildung 13). Der Raum des Innenklimas hatte dabei eine Grundfläche von 3 m x 4,2 m und eine Höhe von 3 m.

Abbildung 13

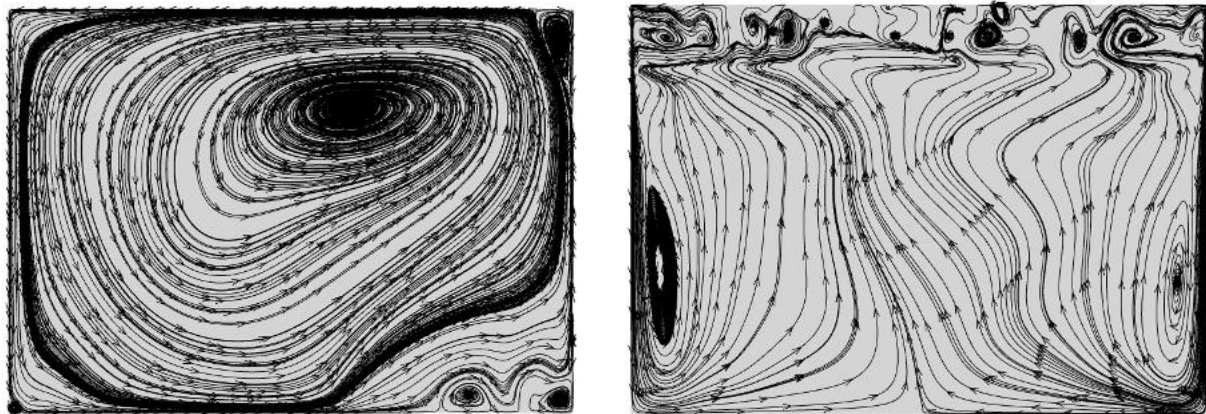
Modell der Klimakammer in ANSYS Fluent (links) mit Schnitt der betrachteten Ebene (rechts)



Luftströmungen und Lufttemperatur wurden in den Modellen simulativ ermittelt, die Oberflächentemperaturen der Wände, der Decke und des Bodens wurden in Abhängigkeit des betrachteten Szenarios vorgegeben. Um möglichst hohe Effekte zu generieren, wurde zunächst die maximal zulässige Temperatur einer Fußbodenheizung [75] von 29 °C als Referenz für die Oberflächentemperaturen gewählt, die restlichen Oberflächen wurden auf 20 °C eingestellt. In Abbildung 14 sind die Strömungsprofile der Luft bei einer Fußbodenheizung (links) und einer Deckenheizung (rechts) mit Oberflächentemperaturen von etwa 29 °C dargestellt. Die abgebildeten Schnitte wurden in der Mitte der Klimakammer in der Ebene parallel zur langen Wand aufgenommen (vgl. Abbildung 13 rechts).

Abbildung 14

Strömungsprofil einer Fußbodenheizung mit 29 °C (links); Strömungsprofil einer Deckenheizung mit 29 °C (rechts). Der Raumquerschnitt ist in Abbildung 13 gezeigt.



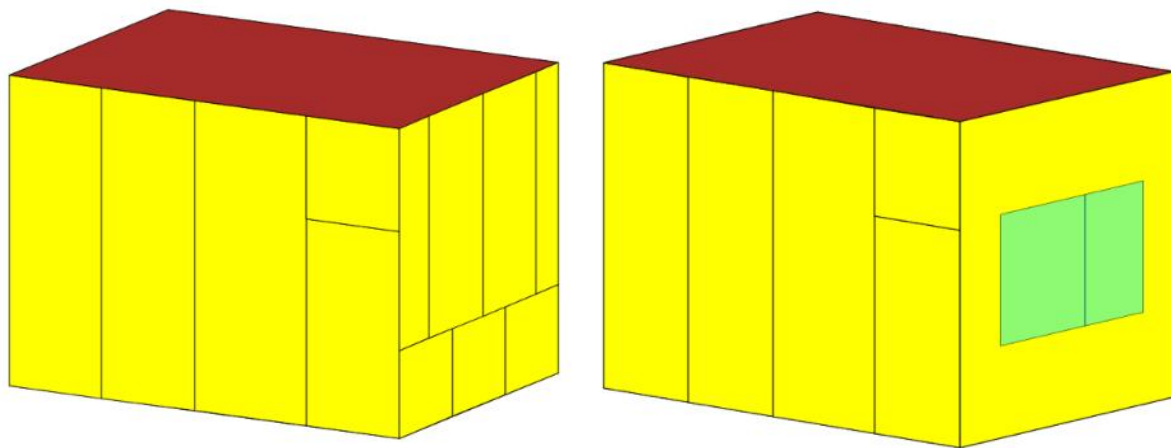
Das Strömungsprofil der Fußbodenheizung weist ein gleichmäßigeres Bild auf als jenes der Deckenheizung. Während links die warme Luft von unten nach oben aufsteigt, dort wieder abkühlt und die Luft zirkuliert, entstehen rechts unterhalb der warmen Decke und an den kühleren Wänden lediglich kleinere Verwirbelungen. Anhand der obigen Darstellungen lassen sich keine Rückschlüsse bzgl. der Luftgeschwindigkeiten ziehen. Diese waren bei der Fußbodenheizung um zwei Größenordnungen größer. Es ist zu betonen, dass die aufgezeigten Bilder nicht repräsentativ für alle Fußboden- und Deckenheizungen sind, da aufgrund der Komplexität des betrachteten Systems und entstehender Turbulenzen dieses meist instabil ist. Ferner waren große Abweichungen bei den Strömungsprofilen anderer Ebenen zu erkennen und auch im Raum anwesende Personen und Inventargegenstände beeinflussen die Strömungsprofile im Raum maßgeblich.

Interessanter als dieser qualitative Blick war die Analyse der sich einstellenden Luftgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung aller untersuchten Szenarien. In den Simulationen für Wand- und Deckenheizsysteme lag die maximale Luftgeschwindigkeit unter 0,1 m/s, auch in Szenarien, in denen die beheizte Wand 29 °C und die gegenüberliegende Wand nur 15,5 °C warm waren. Ohne Belüftung stellten sich also in einem Raum mit Wandheizung als auch in Räumen mit Deckenheizung trotz hoher Temperaturdifferenzen von 14 K zwischen verschiedenen Flächen nur geringe Luftgeschwindigkeiten ein. Die Werte des Szenarios einer Fußbodenheizung waren mit etwa 0,22 m/s wesentlich höher als bei den anderen Szenarien, sodass bei Fußbodenheizungen Zuglufterscheinungen und der Transport von Staubpartikeln über die Konvektionsströmungen eine vergleichbar größere Rolle spielen. Die in ANSYS Fluent simulierten Raumluftgeschwindigkeiten -auch die erhöhten Raumluftgeschwindigkeiten bei Fußbodenheizungen- wurden anschließend für die Simulationen in TRNSYS verwendet und darin im Rahmen der Analyse der thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730 im Modell hinterlegt.

5.1.8 Simulationen in TRNSYS

Für die ersten Untersuchungen in TRNSYS [76] wurde der Innenklimabereich der Klimakammer des Fachgebiets modelliert (Abbildung 15). Da im ersten Schritt lediglich die Auswirkungen der unterschiedlichen Oberflächentemperaturen auf die thermische Behaglichkeit zu untersuchen waren, wurde das Modell auf ein notwendiges Minimum reduziert und etwa der Energieverbrauch usw. vernachlässigt. Der Innenklimabereich der Klimakammer hat Raumabmessungen von 4,2 m x 3,0 m x 3,0 m (L x B x H). Da das einzige Fenster im Raum mit einer beweglichen Wand verdeckt werden kann, wurden zwei Modelle erstellt, einmal mit und einmal ohne Fenster. Aufgrund von Einschränkungen bei der Modellierung in TRNSYS wurde die Wand mit Fenster (rechts) vereinfacht als homogenes Bauteil ohne Unterteilung (vgl. Wand ohne Fenster, links) erstellt.

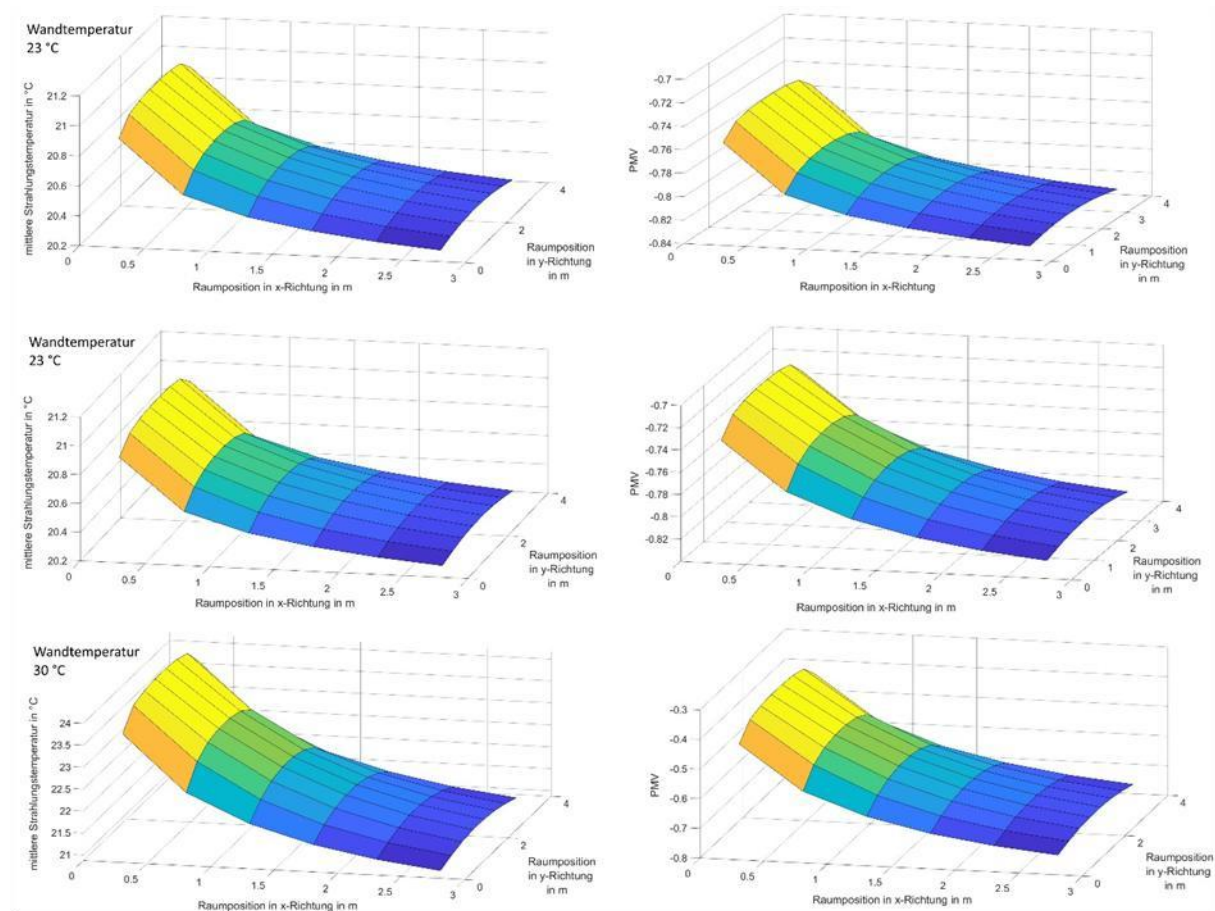
Abbildung 15
Modelle der Klimakammer; links: mit verdecktem Fenster, rechts: mit Fenster



Die Temperaturen der Innenoberflächen ließen sich individuell einstellen und die einzeln ansteuerbaren Wandsegmente wurden analog zur Klimakammer des Fachgebiets erstellt. Im Abstand von 50 cm untereinander und von 25 cm bzw. 35 cm zu den Außenwänden wurden Messpunkte in einer Höhe von 0,25 m bis 1,75 m im Raum programmiert. Für jeden dieser Messpunkte wurde die mittlere Strahlungstemperatur und die Behaglichkeitskennwerte PMV und PPD ermittelt. Die Raumlufttemperatur und die Oberflächentemperaturen wurden dabei entsprechend den Messszenarien des Meilensteins 1 (Tabelle 2) voreingestellt. Dabei wurden die Oberflächentemperaturen zunächst so modelliert, dass ein möglichst realistisches Spektrum für die Heizflächen abgebildet wurde. Die Temperaturen richteten sich etwa nach der maximal zulässigen Temperatur von 29 °C für Fuß- und Deckenheizungen nach DIN EN 1264-2 [75]. Weitere für die thermische Behaglichkeit relevante Randbedingungen entsprechend DIN EN ISO 7730 waren: $I_{cl} = 1 \text{ clo}$, $M = 1 \text{ met}$, $v_{ar} = 0,01\text{-}0,22 \text{ m/s}$, $RH = 50\%$. Die Raumluftgeschwindigkeiten für die Simulationen in TRNSYS wurden den Simulationen zuvor durchgeführten Simulationen in ANSYS Fluent entnommen. Hierbei wurden die maximal auftretenden Luftgeschwindigkeiten gewählt. Die Lufttemperatur betrug 20 °C.

Abbildung 16

Gegenüberstellung der mittleren Strahlungstemperatur und des PMV in Abhängigkeit der Raumposition: Zeile 1 - Höhe 0,25 m; Zeile 2 - Höhe 1,75 m; Zeile 3 - Höhe 1,75 m. Zeile 1&2 Wandtemperatur 23 °C, Zeile 3: Wandtemperatur 30 °C

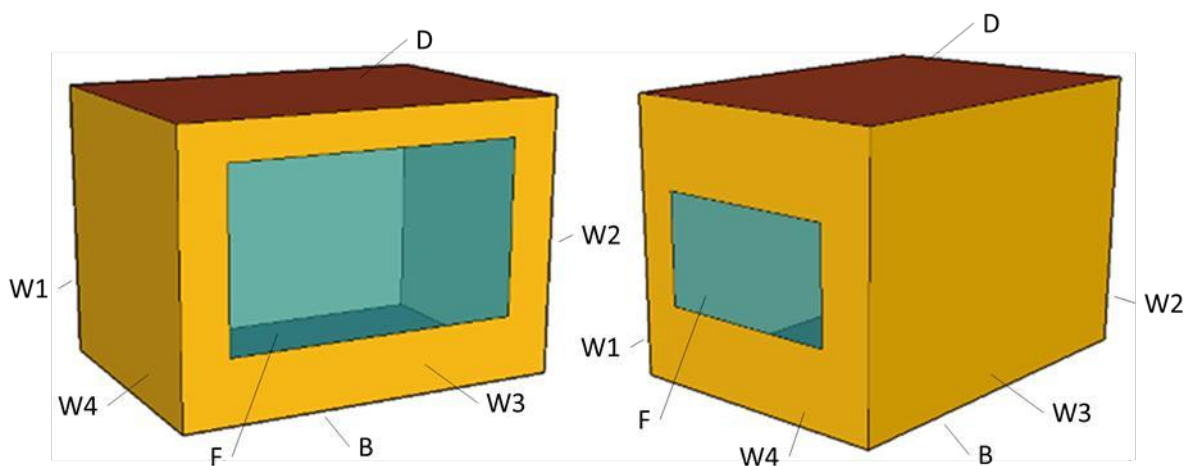


In Abbildung 16 werden die Ergebnisse der mittleren Strahlungstemperatur und des PMV in Abhängigkeit von der Raumposition für die Höhen 0,25 m und 1,75 m und für die Höhe von 1,75 m für unterschiedliche Wandtemperaturen gegenübergestellt. Jede Nullebene des Koordinatensystems bildet eine Wand der Klimakammer ab. Die y-z-Ebene stellt in den Diagrammen die beheizte Wand dar. Auf der linken Seite werden die mittleren Oberflächentemperaturen und auf der rechten Seite die Ergebnisse der PMV-Berechnungen dargestellt. Wie zu erwarten war, ist die mittlere Strahlungstemperatur und auch das PMV umso höher, je näher der Messpunkt an der beheizten Wand ist. Ferner sind beide Werte in der Mitte des Raumes höher als jene, die näher an den kühleren benachbarten Wänden mit Temperaturen von 20 °C sind. Bei einer Wandtemperatur von 23 °C liegen die mittleren Strahlungstemperaturen in Nähe der beheizten Wand in 0,25 m Höhe im Mittel mit 21,0 °C um etwa 1% unter den Werten in einer Höhe von 1,75 m mit etwa 21,2 °C. Bei einer Wandtemperatur von 30 °C erhöht sich diese Differenz auf 3%. Die mittleren Strahlungstemperaturen sind dann 24,0 °C und 23,3 °C. Je weiter sich die Messpunkte von der beheizten Wand entfernten, desto geringer wurden die Werte für die mittleren Strahlungstemperaturen und den PMV. In einer Höhe von 0,25 m und bei einer Wandtemperatur von 23 °C fiel das Mittel der mittleren Strahlungstemperatur von 21 °C auf 20,3 °C, in einer Höhe von 1,75 m von 21,2 °C auf 20,3 °C und bei einer Wandtemperatur und in einer Höhe von 1,75 m von 30 °C von 24,0 °C auf 21,0 °C. Es ist zu erkennen, dass PMV und mittlere Strahlungsasymmetrie sowohl von der Höhe als auch von der Distanz zur beheizten Wand abhängig sind, wobei der Einfluss der Distanz bei höheren Wandtemperaturen größer wird. Diese Untersuchungen wurden mit weiteren Szenarien (unterschiedliche Wandtemperaturen der beheizten und von gegenüberliegenden Wänden, beheizter Boden, beheizte Decke

usw.) durchgeführt. Die dargestellten Effekte der Position der Messpunkte waren für die übrigen Asymmetrieszenarien analog. Mithilfe von TRNSYS konnten auf diese Weise die thermische Behaglichkeit im PMV-Modell und die mittlere Strahlungsasymmetrie analysiert werden. Dabei musste jedoch die Luftgeschwindigkeit als konstante Randbedingungen vorgegeben werden.

Weitere Untersuchungen in TRNSYS fokussierten sich auf die Berechnung von Oberflächentemperaturen möglichst realistischer Asymmetrieszenarien. Dazu wurde neben der Klimakammer ein weiterer Beispielraum modelliert (Abbildung 17) und die beiden Modelle in einem Außenklima aus TRY-Datensätzen [77, 78] für den Standort Kaiserslautern simuliert. Die erforderliche operative Temperatur während der Simulationen wurde auf 20,4 °C eingestellt. Die jeweiligen Heizsysteme mussten die erforderliche Heizlast zum Erreichen dieser Temperatur bereitstellen. Gleichzeitig waren die Temperaturen der Außenbauteile abhängig von den Transmissionswärmeverlusten und somit vom Dämmstandard und dem Außenklima.

Abbildung 17
TRNSYS Modelle eines Beispielraums (links) und der Klimakammer (rechts)



Bei der Klimakammer wurde neben der Wand mit Fenster zusätzlich eine lange Wand als Außenwand abgebildet und bei dem Beispielraum war lediglich die Wand mit Fenster eine Außenwand. Als Dämmstandard wurde ein GEG-Standard [79] mit einem U-Wert der Wände von 0,28 W/m²K gewählt und ein Standard für übliche Gebäude bis 1968 nach [80] mit einem U-Wert von 1,4 W/m²K. Schlechtere U-Werte wurden als unrealistisch bzw. lediglich in Ausnahmefällen relevant erachtet und daher nicht in den Simulationen berücksichtigt. Mit den beiden gewählten U-Werten wurde der Einfluss des Dämmstandards auf die erforderliche Oberflächentemperatur der Heizfläche und somit auch auf die Qualität der Strahlungsasymmetrie untersucht. Die Innenwandoberflächen betrugen in allen Szenarien etwa 20 °C. Die Ergebnisse der Bilanzierungen der sich einstellenden Oberflächentemperaturen für die Klimakammer sind in Tabelle 3 dargestellt, für den Beispielraum in Tabelle 4. Darin werden die Raumlufttemperatur T_a , die Wandtemperaturen T_{W1-W4} , die Bodentemperatur T_B , die Decktemperatur T_D sowie die operative Temperatur T_{op} und die Temperatur der Fensterfläche T_F verglichen.

Tabelle 3
simulierte Temperaturen der Klimakammer aus TRNSYS

	T_a	T_{W1}	T_{W2}	T_{W3}	T_{W4}	T_B	T_D	T_{op}	T_F
Temperaturen Deckenheizung D									
GEG	20,1	20,1	20,1	19,4	19,4	19,4	25,5	20,4	16,1
U = 1,4	20,1	20,0	20,1	16,2	16,1	17,2	32,7	20,4	16,4
Temperaturen Fußbodenheizung B									
GEG	20,2	20,3	20,2	19,5	19,6	24,9	20,2	20,4	15,4
U = 1,4	20,3	20,4	20,1	16,3	16,2	29,7	20,0	20,5	16,7
Temperaturen Wandheizung W1									
GEG	20,2	24,4	20,4	19,7	19,7	19,7	20,3	20,5	16,2
U = 1,4	20,0	32,5	19,9	16,0	15,8	17,0	19,7	20,4	17,5

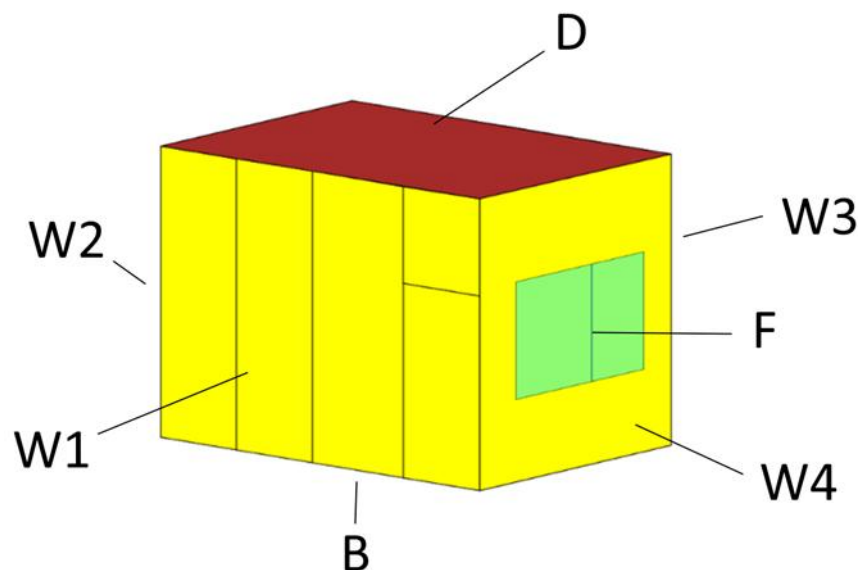
Tabelle 4
simulierte Temperaturen des Beispielsraums aus TRNSYS

	T_a	T_{W1}	T_{W2}	T_{W3}	T_{W4}	T_B	T_D	T_{op}	T_F
Temperaturen Deckenheizung D									
GEG	20,3	20,2	20,2	19,6	20,2	19,5	25,6	20,5	17,0
U = 1,4	20,2	20,3	20,3	16,5	20,3	17,6	28,6	20,4	17,0
Temperaturen Fußbodenheizung B									
GEG	20,2	20,1	20,1	19,6	20,1	24,8	20,1	20,4	16,8
U = 1,4	20,2	20,1	20,1	16,4	20,1	27,0	20,0	20,4	16,8
Temperaturen Wandheizung W1									
GEG	20,2	24,2	20,2	19,7	20,2	19,7	20,2	20,4	17,4
U = 1,4	20,2	29,9	20,1	16,4	20,1	17,4	20,0	20,5	16,8

Die Außenwände sind an den niedrigeren Temperaturen im Vergleich zu den übrigen Wandflächen zu erkennen. In der Klimakammer wurden die Wände W3 und W4 als Außenwände modelliert, im Beispielsraum lediglich die Wand W3. Im Szenario der Wandheizung war die Innenwand W1 in beiden Modellen die beheizte Fläche. Der Einfluss des schlechteren Dämmstandards wird sowohl an den niedrigen Oberflächentemperaturen der Außenwände als auch an den höheren erforderlichen Oberflächentemperaturen der Heizflächen deutlich. Durch die gewählten Grenzwerte wurde so ein realistisches Spektrum möglicher Asymmetrieszenarien erzeugt. Die simulierten Werte dienten anschließend als Randbedingungen für die Simulationen in TAItherm und für die Testpersonenversuche, bei denen diese Temperaturen in der Klimakammer eingestellt werden.

Bei der Versuchskonzeptionierung zeigten sich jedoch zwei wesentliche Änderungen. Aufgrund dessen wurden die finalen Simulationen noch angepasst. In der finalen Simulation ist nicht mehr eine der langen Wände als Flächentemperierung, sondern W2, also die Wand, welche dem Fenster gegenüberliegt. Grund dafür waren nach Rücksprache mit dem BVF eine realistischere Ausführung eines Wandtemperierungssystems. Die zweite Änderung bestand darin, dass W1 und W3 als Außenwände simuliert wurden. Diese Änderung war notwendig, um bei der Untersuchung von Fußboden- und Deckentemperiersystem zwei Testpersonen mit dem gleichen Abstand zur Außenwand in der Klimakammer platzieren zu können. Das finale Simulationsmodell der Klimakammer ist in Abbildung 18 dargestellt. In diesem Modell sind W1 und W4 Außenwände, die restlichen Wände und die Decke grenzen an den Innenraum an, welcher auf 20 °C festgestellt wurde. Der Fußboden ist ein Außenbauteil und grenzt an das Erdreich an. Die U-Werte der Außenbauteile wurden in der Simulation variiert, um zum einen den GEG-Dämmstandard und zum anderen ein schlecht gedämmtes Gebäude mit einem U-Wert der Außenwand von 1,4 W/m²K zu untersuchen. Das Modell entspricht in seinen Abmessungen (3,0 m x 4,2 m x 3,0 m) der tatsächlichen Klimakammer der RPTU. Als Außenklima wurde das TRY2015 am Standort Kaiserslautern verwendet. In der Simulation gibt es keine festen Heiz- und Kühlperioden. Die Heizung setzt ein, wenn die operative Temperatur tagsüber unter 20,4 °C bzw. nachts unter 10 °C fällt, und es wird ab einer Überschreitung von 24 °C gekühlt. Weitere Randbedingungen sind: keine Verschattung des Fensters und ein Luftwechsel von 0,5 1/h.

Abbildung 18
Simulationsmodell der Klimakammer mit Nummerierung der Wandflächen



Im Kühlfall zeigte die Unterscheidung der Dämmstandards keine wesentlichen Unterschiede, weshalb hier bei den Testpersonen nicht unterschieden wird. In den weiteren Versuchen wurden die Szenarien „Fußboden GEG“, „Fußboden 1,4“, „Fußboden Kühlen“, „Decke GEG“, „Decke 1,4“, „Decke Kühlen“, „Wand GEG“, „Wand 1,4“ sowie „Wand Kühlen“ unterschieden. In Tabelle 5 sind die Temperaturen aufgelistet, die anhand der Simulationen für die unterschiedlichen Szenarien der Testpersonenversuche festgelegt wurden.

Tabelle 5
simulierte Oberflächentemperaturen der Klimakammer für die Durchführung der Testpersonenversuche

	T_{W1}	T_{W2}	T_{W3}	T_{W4}	T_B	T_D
Decke						
GEG	20	20	20	20	20	26
$U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	17	20	20	17	18	32
Kühlen	24	24	24	24	24	20
Fußboden						
GEG	20	20	20	20	25	20
$U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	17	20	20	17	30	20
Kühlen	24	24	24	24	20	24
Wand						
GEG	20	28	20	20	20	20
$U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	18	33	20	18	19	20
Kühlen	24	22	24	24	24	24

Neben dem Ziel, mit Hilfe von TRNSYS die notwendigen Oberflächentemperaturen zu ermitteln, wurden die Simulationsmodelle dazu genutzt, den Energiebedarf der jeweiligen Flächenheizung beziehungsweise -kühlung zu ermitteln. Die Energiebedarfe wurden ebenfalls für die Klimakammer der RPTU berechnet. Das Simulationsmodell umfasst auch hier den zuvor detailliert beschriebenen Innenbereich der Klimakammer. Für die Simulation der Energiebedarfe wurden zwei Wände (W4, W1) als Außenwände simuliert, die nach Osten beziehungsweise Süden ausgerichtet sind. W4 verfügt dabei über ein Fenster mit einem U-Wert von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der Fußbodenaufbau grenzt an das Erdreich an, dessen Temperatur über den „Type 77“ bestimmt wird. Die restlichen Wände und die Decke grenzen an einen Innenraum mit 20°C an. Die Simulationen wurden für den GEG-Dämmstandard sowie für ein schlecht gedämmtes Gebäude mit einem U-Wert von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ durchgeführt. Zur Variierung der Dämmstandards wurden bei den Außenbauteilen lediglich die Dicke der Dämmung und nicht der gesamte Aufbau des Bauteils

angepasst. Als weitere Randbedingungen für die Simulation gelten: es wurde kein Sonnenschutz angesetzt, es wurde auf Nachtlüftung verzichtet und die Infiltration beträgt dauerhaft 0,5 1/h. Als Wetterdatensatz liegt das winterfokussierte Testreferenzjahr 2015 am Standort Kaiserslautern den Simulationen zugrunde. Alle Randbedingungen sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6
Zusammenfassung der Simulationsrandbedingungen

Simulationsmodell				
Objekt	Innenklimabereich der Klimakammer der RPTU in Kaiserslautern			
Abmessungen	4,2 m x 3,0 m x 3,0 m (L x B x H).			
Umfassungsflächen				
Bezeichnung	Angrenzung	Ausrichtung	Fläche	U-Wert
W1	Außenluft	Süden	12,6 m ²	1,4 / 0,25 W/m ² K
W2	Innenraum 20°C	Westen	9 m ²	0,30 W/m ² K
W3	Innenraum 20°C	Norden	12,6 m ²	0,30 W/m ² K
W4	Außenluft	Osten	9 m ²	1,4 / 0,25 W/m ² K
Boden	Erdreich mit „Type 77“	-	12,6 m ²	1,2 / 0,30 W/m ² K
Decke	Innenraum 20°C	-	12,6 m ²	0,15 W/m ² K
Fenster in W4	Außenluft	Osten	2,43 m ²	1,1 W/m ² K
Simulation Heizung/ Kühlung				
Steuerung	über Lufttemperatur; Sommer: T ≤ 24 °C; Winter: T ≥ 20 °C (tagsüber) bzw. T ≥ 16 °C (nachts)			
Flächentemperierung	„Active Layer“ in Boden, Decke oder Wand (W2)			
Lufttemperierung	„Heating Type“ bzw. „Cooling Type“			
Weitere Randbedingungen				
Simulationssoftware	TRNSYS 18			
Wetterdatensatz	TRY2015 winterfokussiert am Standort Kaiserslautern			
Nachtlüftung	Keine Nachtlüftung			
Infiltration	0,5 1/h			
Sonnenschutz	Kein Sonnenschutz			

Bei den Simulationen wurde die Auswirkung einer Heizung durch eine warme Fläche - Boden, Wand und Decke - und die Auswirkung der Erwärmung der Raumluft untersucht. Die Erwärmung der Flächen wurde über einen „Aktive Layer“ simuliert, der sich innerhalb der Estrich- oder Gipschicht der jeweiligen zu temperierenden Fläche befindet. Die Lufttemperierung wurde über den „Heating Type“ beziehungsweise „Cooling Type“ in TRNSYS simuliert, weshalb die in der Realität auftretende zusätzliche Luftbewegung aufgrund einer Luftheizung nicht berücksichtigt wird (?). Als Systemgrenze der Simulation gilt die simulierte Klimakammer, weshalb nicht die Energiebedarfe für ein bestimmtes Gerät betrachtet werden, sondern die Energie, die in den simulierten Raum eingebracht wird. Die Steuerung der Heizung erfolgte über die Lufttemperatur. Dabei sollte im Sommer eine Temperatur von 24 °C nicht überschritten werden.

Für die Heizung sollte tagsüber eine Raumlufttemperatur von 20 °C und nachts von 16 °C nicht unterschritten werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Betrachtungen der Energiebedarfe für die Erwärmung der unterschiedlichen Flächen bzw. der Raumluft um einen theoretischen Vergleich handelt, der nicht direkt auf existierende Heizsysteme übertragbar ist. Zum einen ist dies durch die Limitierung von TRNSYS zu begründen. Aufgrund dieser Einschränkungen wurden keine am deutschen Markt verfügbaren Geräte, bspw. Luft-Luft-Wärmepumpe für die Luftheizung und Luft-Wasser-Wärmepumpe für die Flächentemperiersysteme, miteinander verglichen, sondern lediglich die benötigte Energie zum Heizen bzw. Kühlen des betrachteten Raumes simuliert. Eine weitere Randbedingung, die dazu führt, dass die hier dargestellten Ergebnisse keinen realen Raum abbilden, ist das Ziel, die untersuchte Klimakammer simulativ nachzubilden, um wissenschaftlich verwertbare Vergleichsdaten zu erhalten. Dabei wurden die Randbedingungen so gewählt, wie sie auch im tatsächlichen Versuchsraum vorzufinden sind. Deshalb wurde im Modell auch beispielsweise kein Sonnenschutz simuliert, da dieser in Realität auch nicht vorhanden ist. Dies führt unter anderem zu erhöhten Energiebedarfen im Kühlfall, weshalb die Ergebnisse ohne erhebliche Anpassungen nicht direkt auf ein realistisches Wohngebäude übertragbar sind. Zum Beispiel sind bei realen Gebäuden Sonnenschutzvorrichtungen meist verpflichtend.

Abbildung 19

Energiebedarf für den Heiz- und Kühlbetrieb der unterschiedlichen Heiz- und Kühlsystemen bei unterschiedlichen Dämmstandards

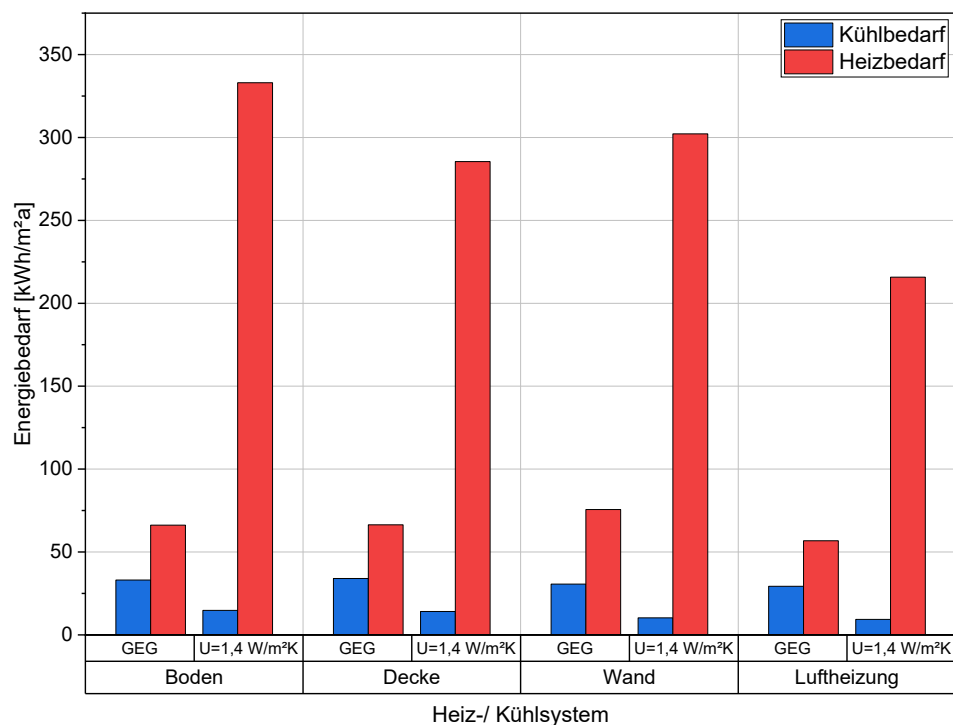


Abbildung 19 zeigt, dass sich im Heizfall deutliche Unterschiede zwischen den Dämmstandards zeigen. Die niedrigsten Heizenergiebedarfe werden beim GEG-Dämmstandard erreicht, wobei das Fußbodensystem mit einem Wert von 66,22 kWh/m²a am effizientesten abschneidet. Dicht dahinter folgt das Deckensystem (66,42 kWh/m²a) und an dritter Stelle das Wandsystem (75,59 kWh/m²a). Der erhöhte Energiebedarf bei der Wandheizung ist auf die kleinere Heizfläche zurückzuführen. Da nur die kurze Innenwand als Heizfläche simuliert wurde, führt dies zu einer Heizfläche von 9 m². Bei Fußboden und Decke stehen hingegen 12,6 m² als Heizfläche zur Verfügung. Werden die Systeme hingegen bei einem Ge-

bäude mit schlechtem Dämmstandard eingesetzt, erhöht sich der Energiebedarf signifikant: Bei der Fußbodenheizung steigt der Bedarf auf 333,01 kWh/m²a, bei der Decke auf 285,46 kWh/m²a und bei der Wand auf 302,18 kWh/m²a. Dies entspricht einer Steigerung um rund 300 % bis 400 % gegenüber den Systemen bei GEG-Standard. Die Fußbodenheizung benötigt beim schlecht gedämmten Gebäude mit einem U-Wert von 1,4 W/m²K am meisten Energie, da der Fußboden ein Außenbauteil darstellt und dadurch mehr Wärme verliert. Decke und Wand grenzen hingegen an Innenräume an, welche auf 20 °C temperiert sind. Im Kühlbetrieb liegen die Bedarfswerte erwartungsgemäß deutlich unter denen des Heizbetriebs. Das energetisch günstigste System ist hier die Wandkühlung mit einem Bedarf von 30,65 kWh/m²a. Die Fußbodenkühlung folgt mit 33,08 kWh/m²a. Die Decke weist mit 34,02 kWh/m²a den höchsten Energiebedarf der Flächentemperiersysteme im Kühlbetrieb auf, jedoch bestehen keine großen Unterschiede zwischen den drei Kühlsystemen. Bei den Kühlsystemen im schlecht gedämmten Gebäude liegt der Energiebedarf zwischen 10,29 kWh/m²a und 14,76 kWh/m²a. Insgesamt zeigt die Analyse, dass wie zu erwarten sowohl der gewählte Systemtyp als auch die energetische Qualität der Gebäudehülle Einfluss auf den Energiebedarf haben. Besonders die Anwendung in älteren Gebäuden mit höherem U-Wert ist kritisch zu bewerten, da sie mit einem deutlich erhöhten Heizenergiebedarf einhergeht. Während im Heizbetrieb Fußbodensysteme energetisch am effizientesten sind, liefern im Kühlbetrieb Wandsysteme die besten Ergebnisse. Die Kühlenergiebedarfe liegen insgesamt deutlich unter den Heizenergiebedarfen, was mit dem gewählten Klima zu erklären ist.

Vergleichend zu den Flächenheizsystemen wurde der untersuchte Raum zusätzlich mit einer Lufttemperierung simuliert (s.o.). Die Lufttemperierung benötigt zum Heizen bei GEG-Standard 56,76 kWh/m²a und beim schlecht gedämmten Zustand 215,76 kWh/m²a. Zum Kühlen werden bei der Luftheizung 29,29 kWh/m²a (GEG) beziehungsweise 9,34 kWh/m²a (U = 1,4 W/m²K) benötigt. Somit ist die einzubringende Energiemenge in allen Fällen geringer als bei den Flächentemperiersystemen.

Tabelle 7

Energiebedarf für den Heiz- und Kühlbetrieb der unterschiedlichen Heiz- und Kühlsystemen bei unterschiedlichen Dämmstandards

Heiz-/Kühlsystem	Dämmstandard	Kühlbedarf [kWh/m ² a]	Heizbedarf [kWh/m ² a]	Gesamt [kWh/m ² a]
Boden	GEG	33,08	66,22	99,30
	U=1,4 W/m ² K	14,76	333,01	347,77
Decke	GEG	34,02	66,42	100,44
	U=1,4 W/m ² K	14,15	285,46	299,61
Wand	GEG	30,65	75,59	106,24
	U=1,4 W/m ² K	10,29	302,18	312,47
Luftheizung	GEG	29,29	56,76	86,05
	U=1,4 W/m ² K	9,34	215,76	225,10

Um die thermische Behaglichkeit bei unterschiedlichen Heizszenarien zu beurteilen und die dabei benötigten Energiebedarfe zu betrachten wurde ein weiteres Simulationsszenario durchgeführt. Dabei wurden Wandtemperierung und Luftheizung jeweils bei GEG-Dämmstandard miteinander verglichen. Zuerst wurde die Steuerungslufttemperatur für die Luftheizung so gewählt, dass sich der PMV für die Luftheizung immer zwischen -0,5 und 0,5 befindet. Dies wurde mit einer Soll-Lufttemperatur für den für den Heizfall von 23,5 °C erreicht (Fall 1). Die Wandflächenheizung wurde für den Fall 1 mit den gleichen

Steuerungstemperaturen betrieben. Für den Fall 2 wurde für Wandheizung und die Luftheizung die Steuerungstemperatur um 2 K reduziert. Dadurch soll eine mögliche Energieeinsparung betrachtet werden können. Zur Beurteilung der daraus resultierenden Behaglichkeit wird der PMV-Wert und die operative Temperatur betrachtet. Der PMV und die operative Temperatur wurden dabei jeweils als Mittelwert über die Heizperiode (Oktober-April) betrachtet. Um mögliche Zuglufterscheinungen aufgrund eines potentiell hohen Luftwechsels zum Erreichen dieser Temperierung zu untersuchen, wurde das Szenario Luftheizung zusätzlich mit einer erhöhten Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/s (Fall 3) und 1 m/s (Fall 4) simuliert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Steuerungstemperaturen bei den unterschiedlichen betrachteten Heizvarianten zu unterschiedlichen PMV-Bewertungen führen. Die Wandflächenheizung wird dabei in jeden Fall wärmer empfunden als die Luftheizung. Auch die operative Temperatur ist für die betrachteten Fälle bei der Wandheizung höher als bei der Luftheizung. Für den Fall 1 liegt die PMV Bewertung bei Wandheizung mit einem mittleren PMV von -0,19 zum einen innerhalb der gesetzten Grenze (s.o.), erfüllt zusätzlich auch die Anforderungen der Kategorie I nach DIN EN ISO 7730 (PMV -0,2 bis +0,2), wohingegen bei Luftheizung Fall 1 nur die Grenzwerte für Kategorie II (PMV -0,5 bis +0,5) eingehalten werden. Berücksichtigt man einen erhöhten Luftwechsel (Fall 3, Fall 4) führt dies zu einer deutlich zu kühlen Bewertung von -0,92 bzw. -1,22. Bei der Absenkung der Solltemperatur um 2 K sinkt der mittlere PMV bei Wandheizung auf -0,66. Er erfüllt damit zwar nicht die vorher definierte Grenze, hält aber die Grenzwerte von Kategorie III nach DIN EN ISO 7730 (PMV 0,7 bis +0,7) ein, was bei Luftheizung für ein PMV von -0,77 nicht der Fall ist. Außerdem ist auffällig, dass bei einer Absenkung der Heiztemperatur um 2 K bei der Wandheizung mehr Energie eingespart wird als bei der Luftheizung.

Tabelle 8

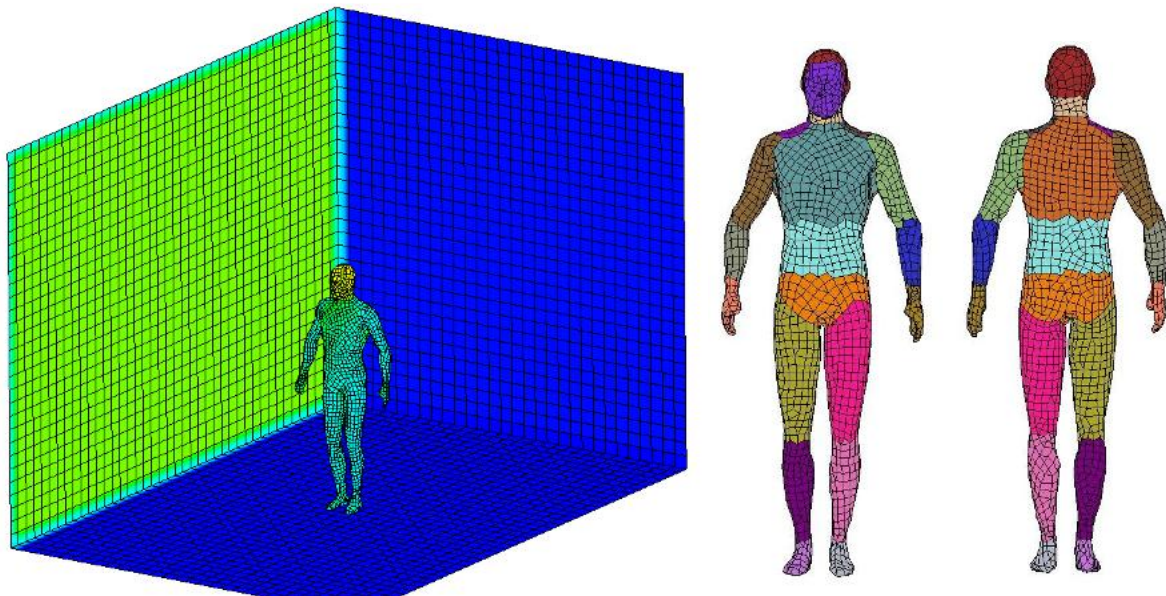
Energiebedarf der Heizperiode für Wandheizung und Luftheizung für die unterschiedlichen Heizfälle mit PMV

	Heizperiode		
	Energie [kWh/m ² a]	PMV [-]	T _{op} [°C]
Wand Fall 1 Sollwert Lufttemperatur 23,5 °C	122,09	-0,19	23,71
Wand Fall 2 Sollwert Lufttemperatur 21,5 °C	88,89	-0,66	21,81
Luftheizung Fall 1 Sollwert Lufttemperatur 23,5 °C	86,63	-0,33	23,14
Luftheizung Fall 2 Sollwert Lufttemperatur 21,5 °C	70,37	-0,77	21,34
Luftheizung Fall 3 Sollwert Lufttemperatur 23,5 °C, erhöhter Luftwechsel 0,5 m/s	86,63	-0,92	23,14
Luftheizung Fall 4 Sollwert Lufttemperatur 23,5 °C, erhöhter Luftwechsel 1 m/s	86,63	-1,22	23,14

5.1.9 Simulationen in TAItherm

Mithilfe des thermischen Simulationsprogramms TAItherm [81] war es möglich, die Strahlungsasymmetrien der in TRNSYS bestimmten Szenarien im Rahmen des UCB Thermal Comfort Modells zu untersuchen. Erste Untersuchungen konzentrierten sich auf die Modellierung des thermischen Manikins bzw. einer Person im Raum. In Abbildung 20 sind das Modell der Klimakammer sowie das zugrundeliegende Körpermodell dargestellt. Die rechte Seite des gezeigten Modells (Blickrichtung des Manikins) war in den Simulationen der beheizten Wand zugewandt. Für jedes der 19 Körpersegmente des UCB-Modells wertet TAItherm die Haut- und Kerntemperaturen aus und ermittelt die lokalen Empfindungen und Behaglichkeiten sowie daraus das globale Empfinden sowie die globale Behaglichkeit. Die Simulationen wurden im Laufe des AP4 mit den relevanten Asymmetrieszenarien der Untersuchungen in TRNSYS durchgeführt.

Abbildung 20
Modell der Klimakammer und des thermischen Manikin in TAItherm



Entsprechend des UCB-Modells werden als Ergebnis sowohl die lokalen und globalen thermischen Empfindungen (Abbildung 21) als auch die lokale und globale thermische Behaglichkeit (Abbildung 22) generiert. Wie auch in der DIN EN ISO 7730 gilt für das UCB-Modell, dass unzufriedene Personen solche sind, die nach der 7-stufigen Klimabeurteilungsskala entweder mit heiß (+3), warm (+2), kühl (-2) oder kalt (-3) urteilen.

Abbildung 21

Thermisches Empfinden einer Person im Raum mit Wandheizung und einer gegenüberliegenden Außenwand mit $U = 1,4$ W/m²K

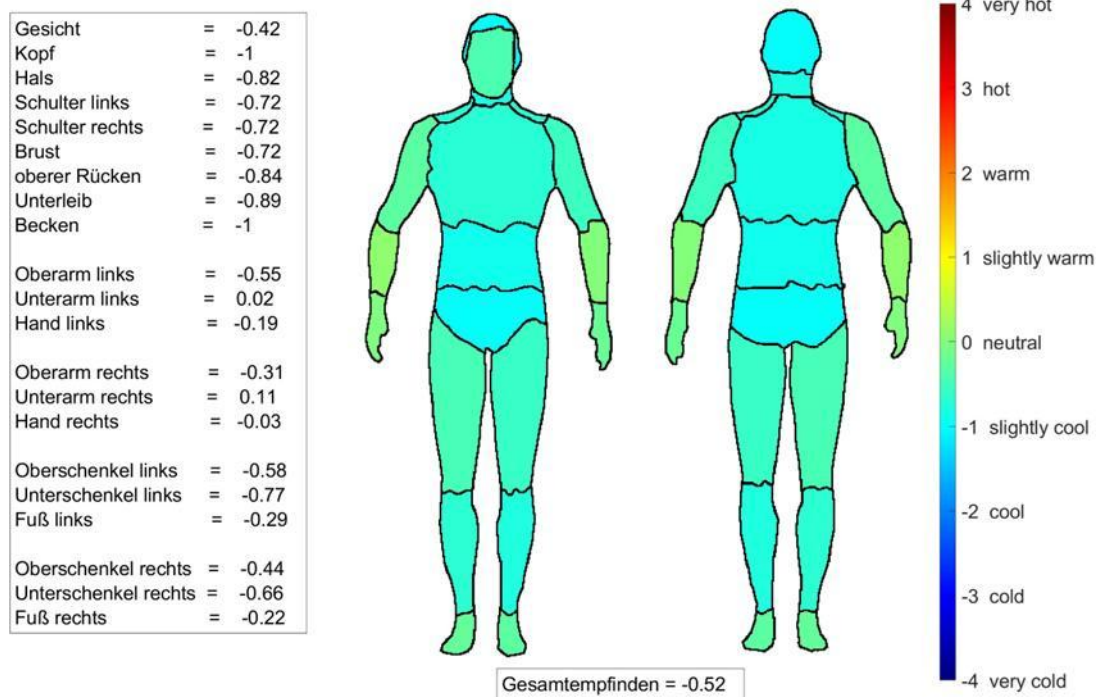
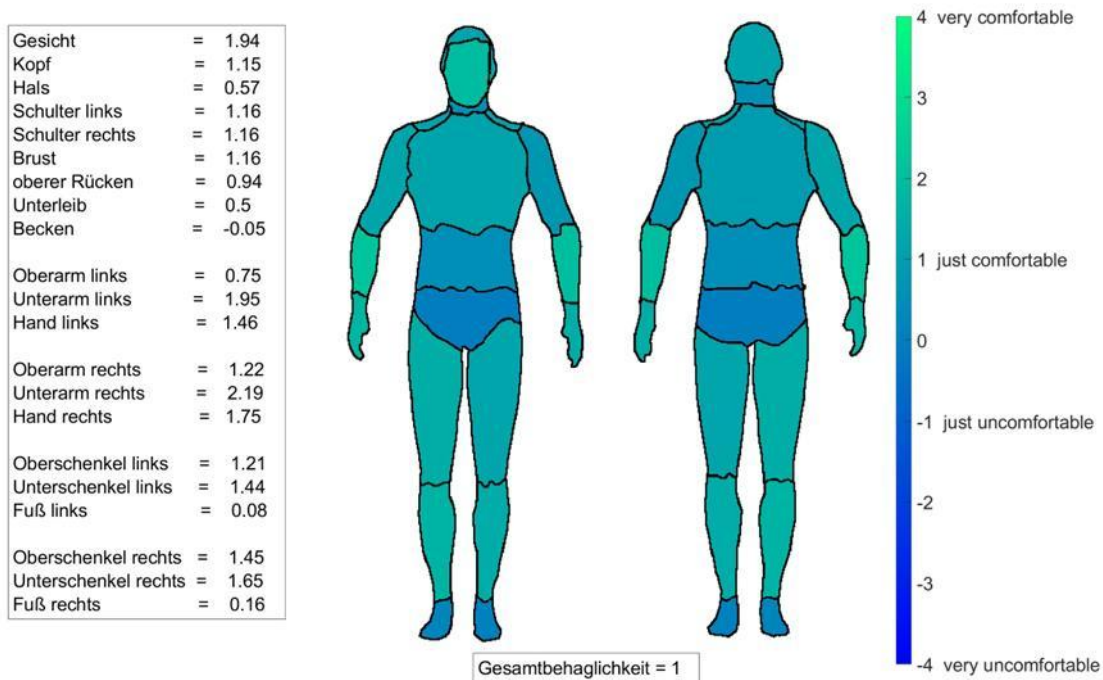


Abbildung 22

Thermische Behaglichkeit einer Person im Raum mit Wandheizung und einer gegenüberliegenden Außenwand mit $U = 1,4$ W/m²K



Daraus ergibt sich der Zusammenhang, dass Werte für das thermische Empfinden zwischen etwas warm (+1) und etwas kühl (-1) zu Wahrnehmungen von mindestens *just comfortable* führen. Dabei ist jedoch auch der Einfluss lokaler Unbehaglichkeiten sowie die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Segmente zu berücksichtigen. Ein Vergleich der Behaglichkeit nach dem UCB-Modell mit den PMV-Werten ist schwierig, da der PMV lediglich das thermische Empfinden darstellt, das UCB-Modell jedoch die thermische Behaglichkeit beschreibt. Daher werden in Tabelle 9 die PMV-Werte des Modells nach Fanger mit dem globalen thermischen Empfinden des UCB-Modells verglichen.

Tabelle 9

Gegenüberstellung der globalen Empfindungen durch PMV, UCB und die operative Temperatur der Simulationen des Beispielsraumes

Heizfläche	U-Wert Außenwand [W/m ² K]	PMV	UCB-Modell		T _{op} [°C]
			globales Empfinden	globale Behaglichkeit	
Wand	0,28 (GEG)	-0,90	-0,52	1,04	20,5
	1,4	-0,91	-0,52	0,99	20,5
Decke	0,28 (GEG)	-0,92	-0,51	1,02	20,4
	1,4	-1,01	-0,55	0,94	20,1
Boden	0,28 (GEG)	-0,86	-0,52	1,13	20,7
	1,4	-0,86	-0,54	1,08	20,7

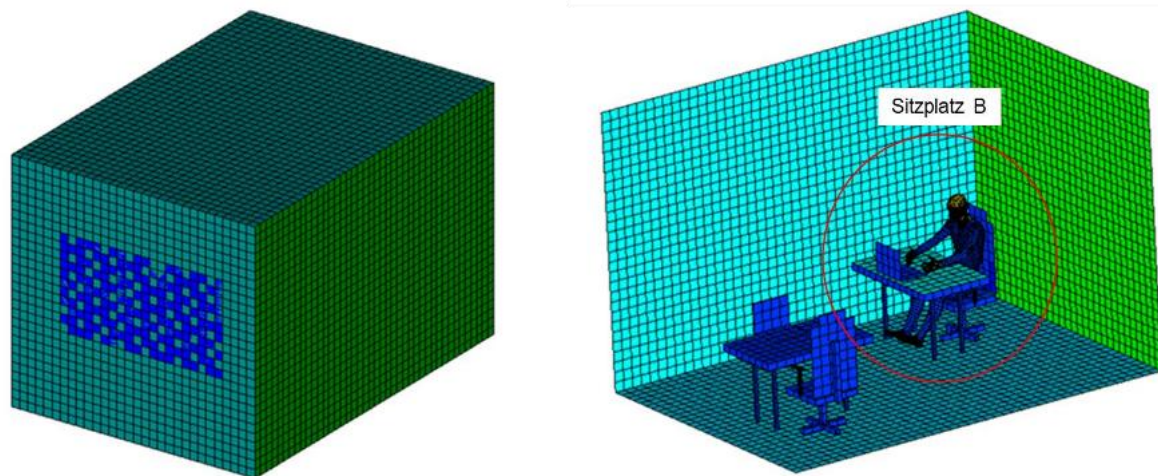
Es ist zu erkennen, dass die Empfindungen im UCB-Modell als etwas wärmer vorhergesagt werden als im Modell nach Fanger. Die Abweichungen der globalen thermischen Empfindungen zwischen den drei Heizarten beim UCB-Modell sind geringer als beim PMV-Modell. Diese Abweichungen des PMV korrelieren mit der operativen Temperatur. Unterschiede in der operativen Temperatur sind darauf zurückzuführen, dass in TAItherm das PMV-Modell am gesamten Manikin bestimmt wird und in TRNSYS lediglich an einem imaginierten Messpunkt in der Mitte des Raumes. In den TRNSYS Simulationen lagen die operativen Temperaturen bei 20,4 °C und die Oberflächentemperaturen der Szenarien entsprechen den dort simulierten Ergebnissen. Da das Manikin in TAItherm jedoch einen direkten Kontakt zum Fußboden hat und sich die Werte auf einen ganzen Körper und nicht nur auf einen Punkt beziehen, entstehen leichte Diskrepanzen zwischen den Simulationsprogrammen, welche sich wiederum auf die operative Temperatur und folglich auch auf die PMV-Werte auswirken. Durch die Berücksichtigung der lokalen Empfindungen scheint das UCB-Modell stabiler gegenüber diesen kleineren Abweichungen zu sein. Auch die operative Temperatur scheint einen größeren Einfluss im Modell nach Fanger zu haben als unter Berücksichtigung der lokalen Empfindungen. Die globale Behaglichkeit nach UCB lag bei allen Szenarien in einem Bereich von 1,04 ± 0,1 (noch behaglich) (s. Tabelle 10). Die höchsten Werte wurden bei der Fußbodenheizung erreicht, was auf die von der Richtung des Wärmestroms abhängigen Wärmeübergänge und den direkten Kontakt zwischen Boden und Füßen zurückzuführen ist. Auch wenn die Abweichungen der globalen thermischen Behaglichkeit der jeweiligen Heizsysteme vom Mittelwert etwa 10% betragen, lohnt sich hier ein Blick auf die Skala des UCB-Modells. Alle Werte liegen unmittelbar um den Bereich (+1) *just comfortable*. Wie sehr die leichten Diskrepanzen für Personen im Raum spürbar wären, wurde

im Zuge der Validierungen der Simulationsmodelle und der experimentellen Untersuchungen beantwortet.

In weiteren Simulationen sollten die in den Testpersonenversuchen gewonnenen Ergebnisse dazu verwendet werden, um die TAItherm Simulationen für die Klimakammer zu validieren. Mittels des validierten Simulationsmodells könnten weitere Situationen simulativ statt experimentell untersucht werden. Dazu wurde ein Modell der Klimakammer inklusive Fenster generiert (Abbildung 23 links) und auch die Ausstattung der Klimakammer wurde den Testpersonenversuchen nachempfunden (Abbildung 23 rechts). In der Auswertung wurde die Position der Testperson an Sitzplatz B betrachtet. Als Eingabe für die Simulationen wurden die gemessenen Oberflächentemperaturen der Wände, des Bodens und der Decke und die am Behaglichkeitsmesstand gemessene Raumlufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und relative Luftfeuchte verwendet. Die Messwerte wurden dafür im ersten Schritt über den gesamten Versuchszeitraum gemittelt. Auf das genaue Messkonzept und der Ablauf der Testpersonenversuche wird in Abschnitt 5.1.12 eingegangen.

Abbildung 23

Modell der Klimakammer mit Versuchsaufbau der Testpersonenversuche von außen (links) und innen (rechts)



Ein erster Vergleich zwischen Umfrage und Simulation wurde für den Fall der Fußbodenheizung beim GEG-Dämmstandard geführt. Hierbei wurden die Simulationsergebnisse mit den erfragten Werten der Testpersonen an Sitzplatz B verglichen, um Einflüsse durch eine andere Raumposition auszuschließen. Vergleicht man die Ergebnisse von Simulation und Umfrage hinsichtlich des Empfindens (Abbildung 24 links) miteinander, lässt sich bei Versuch1 (V1) und Versuch2 (V2) eine gute Übereinstimmung feststellen. Hier fallen die simulierten Ergebnisse in den Bereich der Standardabweichung der erfragten Ergebnisse. In Versuch3 (V3) wird das Empfinden wärmer bewertet als die Simulationsergebnisse es vorhersagen. Bei den Ergebnissen der Behaglichkeit (Abbildung 24 rechts) zeigen sich jedoch keine Übereinstimmungen. Die Behaglichkeit wird vor allem bei V2 und V3 deutlich behaglicher von den Testpersonen angegeben als die simulierten Werte.

Beim Vergleich der Hauttemperaturen (Abbildung 25), die sich für die Randbedingungen bei V1 bei Fußbodenheizung nach GEG-Dämmstandard einstellen, zeigen sich auch große Abweichungen. Vor allem bei den Unterschenkeln und Füßen treten Abweichungen von mehr als 4 K auf. Unter dem Gesichtspunkt, dass die Füße einen großen Einfluss auf das Wärmeempfinden und die Behaglichkeit haben, sind die vorausgesagten Ergebnisse der Simulation kritisch zu betrachten. Die Befragungsmethodik wird in Abschnitt 5.1.12 im Detail beschrieben.

Abbildung 24

Simuliertes und erfragtes Empfinden (links) und simulierte und erfragte Behaglichkeit (rechts) für drei Versuchsdurchläufe mit Fußbodenheizung bei GEG-Dämmstandard

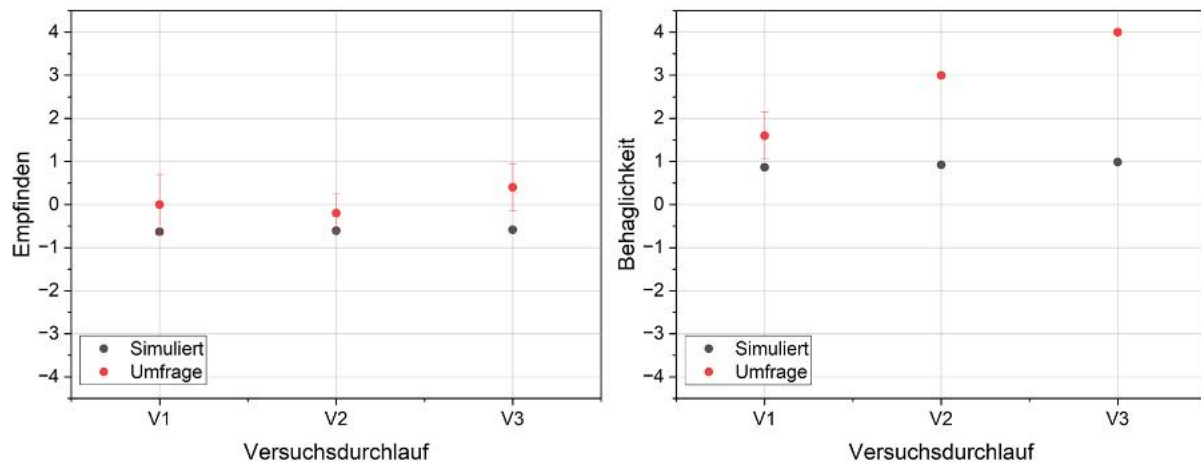
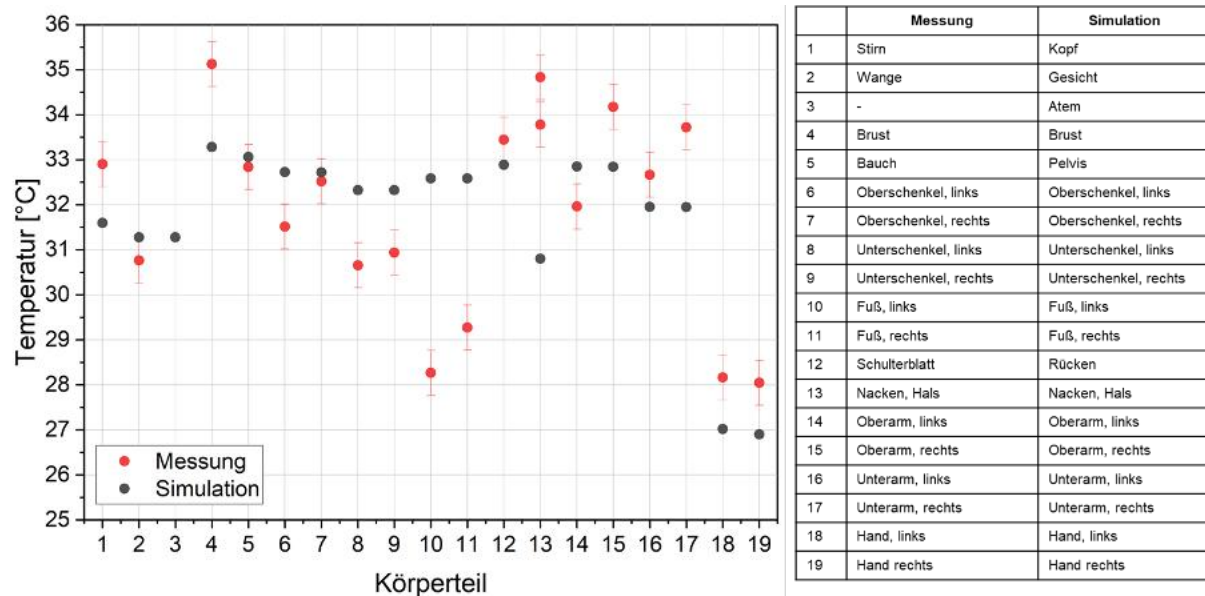


Abbildung 25

Simulierte und gemessene Hauttemperaturen für einen Versuch bei Fußbodenheizung nach GEG-Dämmstandard



Da der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den gemessenen Hauttemperaturen und auch den Umfrageergebnissen keine ausreichende Übereinstimmung zeigt, konnte das Modell im Rahmen des Forschungsprojekts nicht zuverlässig validiert werden. Mögliche Faktoren, die zu den Abweichungen geführt haben können, sind vor allem das den Simulationen zugrunde liegende menschliche Modell. In der Simulation wird nur ein durchschnittlicher westlicher männlicher Mensch abgebildet. Die befragten Testpersonen erfüllen diesen Standard nicht. Außerdem hat der simulierte Mensch eine Körperhaltung, die nicht der der Testpersonen entspricht. Das ist darauf zurück zu führen, dass TAItherm ursprünglich für die Automobilindustrie entwickelt wurde und der simulierte Mensch deshalb eine „Autositzposition“ einnimmt. Dadurch entsteht in der Simulation kein Kontakt zum Fußboden, was die Ergebnisse stark beeinflusst. Ein weiterer Faktor ist, dass die Bekleidung, welche in den Messungen verwendet wurde, nicht genau in der Simulation nachgebildet werden konnte.

Aufgrund dieser starken Abweichungen und der möglichen Einflussfaktoren werden keine weiteren Situationen per Simulationen durchgeführt.

5.1.10 Experimentelle Voruntersuchungen

In einem ersten Schritt wurden mit einem thermischen Manikin experimentelle Untersuchungen mit kleinen beheizbaren Wandflächen und der damit verbundenen thermischen Behaglichkeit, vor allem unter Berücksichtigung der auftretenden Strahlungsasymmetrie, durchgeführt. Das Manikin wurde verwendet, um eine Person mit einer realistischen Körperkern- und Hauttemperatur darzustellen. Die Hauttemperaturen an den einzelnen Körperteilen des Manikins resultieren aus den unterschiedlichen Widerständen der Körperschichten unter dem Einfluss des Raumklimas. Zu diesem Zweck wurde ein Versuchsraum mit vier Heizpaneelen mit einer Gesamtfläche von $2,98 \text{ m}^2$ ausgestattet. Die Heizpaneele sind nicht stufenweise regelbar und heizen auf Temperaturen über 70 °C . Die Oberflächentemperaturen der Heizpaneele sowie die der Wände, der Decke und des Bodens wurden während des Versuchs mit jeweils mehreren Sensoren aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die Raumlufttemperatur, die Strahlungstemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Luftgeschwindigkeit und der Luftdruck in einem Behaglichkeitsmessstand im Testraum gemessen.

Das thermische Manikin wurde auf einem Stuhl sitzend in einem Abstand von $1,5 \text{ m}$ zu den Heizpaneelen platziert. Die Randbedingungen für das Manikin waren ein Isolationswert der Kleidung von 0 clo , ein Energieumsatz von 1 met , was einer sitzenden Tätigkeit entspricht, und eine mechanische Wirkleistung von 0 W/m^2 (Abbildung 26). Die Körperkerntemperatur wurde auf $36,6 \text{ °C}$ eingestellt, was der durchschnittlichen Körperkerntemperatur des Menschen entspricht.

Abbildung 26

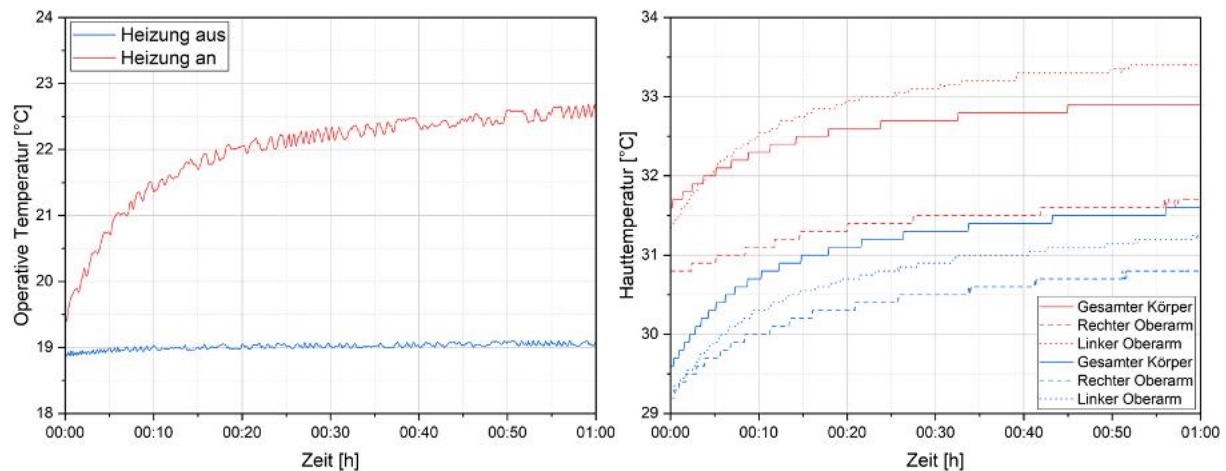
Messaufbau mit thermischem Manikin, Behaglichkeitsmessstand und Heizplatten



Um den Einfluss der Heizpaneele und insbesondere die daraus resultierenden Veränderungen in Bezug auf die thermische Behaglichkeit zu untersuchen, wurden dieselben Messungen mit ein- und ausgeschalteten Heizpaneelen durchgeführt.

Abbildung 27

Vergleich der operativen Temperatur (links) und der Hauttemperaturen am ganzen Körper und getrennt für den linken und rechten Oberarm (rechts), jeweils bei eingeschalteter (rot) und ausgeschalteter (blau) Heizung



Die operative Temperatur lag bei ausgeschalteten Heizpaneelen während der gesamten Versuchsdauer nahezu konstant bei 19 °C. Bei eingeschalteter Heizung hingegen stieg die operative Temperatur im Verlauf des Tests auf ca. 22,5 °C an (Abbildung 27 links). Dieser Unterschied von 3,5 K macht sich auch bei der Betrachtung der Hauttemperatur der Versuchsperson bemerkbar. Die durchschnittliche Hauttemperatur des gesamten Körpers betrug bei ausgeschalteter Heizung maximal 31,6 °C, während bei eingeschalteter Heizung eine Temperatur von 32,9 °C erreicht wurde. Um den Einfluss der Strahlungsasymmetrie zu verdeutlichen, wurde auch die Temperatur der der Heizung zugewandten linken Seite und der von der Heizung abgewandten rechten Seite getrennt betrachtet. Bei ausgeschalteter Heizung waren die Hauttemperaturen an beiden Oberarmen niedriger als die mittlere Hauttemperatur. Der linke und der rechte Oberarm unterschieden sich um 0,5 K, wobei der linke wärmer war als der rechte. Bei eingeschalteter Heizung vergrößerte sich dieser Temperaturunterschied deutlich auf 1,7 K. In diesem Szenario war der der Heizung zugewandte linke Oberarm nach einigen Minuten mit 33,4 °C sogar wärmer als die durchschnittliche Hauttemperatur (Abbildung 27 rechts). In Abbildung 27 ist ebenfalls zu erkennen, dass sich das Manikin nach dem Einschalten erst erwärmen muss, bis die Hauttemperaturen stabil sind. Die höheren Anfangstemperaturen im Fall „Heizung an“ resultieren daraus, dass der Versuch nach dem Versuch „Heizung aus“ durchgeführt wurde, und das Manikin sich nicht mehr erwärmen muss. Hier wird das Manikin durch die eingeschalteten Heizpaneele erwärmt.

Vergleicht man nur die Hauttemperaturen des Manikins, zeigt sich der deutliche Einfluss einer einseitigen Wärmequelle. Wird der PMV zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit der verschiedenen Raumsituationen hinzugezogen, wird deutlich, dass beide Szenarien als zu kalt empfunden werden. Allerdings ist auch hier eine große Veränderung zu beobachten, da der PMV bei ausgeschalteter Heizung -5,2 und bei eingeschalteter Heizung -3,4 beträgt. Weil der PMV lediglich von +3 zu -3 definiert ist, sind beide Situationen normativ mit einem PMV von -3 vorhergesagt.

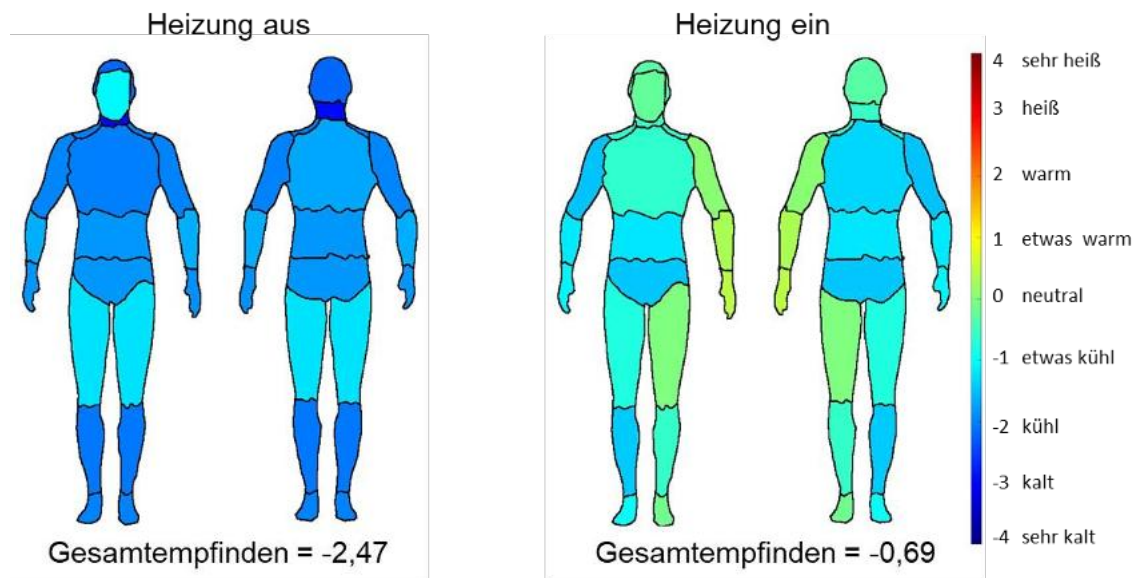
Um die Ergebnisse zu validieren und die Behaglichkeit mit Hilfe des UCB-Modells zu bewerten, wurde der Versuchsaufbau im Simulationsprogramm TAItherm modelliert und die jeweiligen Oberflächentemperaturen sowie die Raumlufttemperatur und -geschwindigkeit auf der Grundlage der experimentellen Messungen eingestellt. Dabei wurde auch zwischen einer Situation ohne und mit eingeschalteten Heizpaneelen unterschieden.

Wie in Abbildung 28 zu sehen ist, zeigt die Visualisierung der Simulationsergebnisse hinsichtlich des thermischen Empfindens eine deutliche Erhöhung der Bewertung bei eingeschalteten Heizpaneelen im Vergleich zur Raumsituation ohne Heizung. Deutlich wird auch, dass die Wirkung auf der linken, der

Heizung zugewandten Seite größer ist als auf der rechten, abgewandten Seite. Mit Heizung haben einige Körperteile wie der linke Oberarm, der linke Unterarm und der linke Oberschenkel ein neutrales bis leicht warmes Empfinden (Tabelle 3). Das globale Wärmeempfinden kann durch den Einsatz der Heizplatten von -2,47 auf -0,69 erhöht werden (Abbildung 28).

Abbildung 28

Lokales und globales Wärmeempfinden bei ausgeschalteten (links) und eingeschalteten (rechts) Heizplatten



Die gleiche Tendenz ist bei der Betrachtung der thermischen Behaglichkeit zu erkennen. Ohne Heizung wird die globale Behaglichkeit mit -2,32 als unangenehm eingestuft, während die thermische globale Behaglichkeit bei Verwendung der Heizpaneele bei 0,29 und damit im positiven Bereich der Bewertungsskala liegt (Abbildung 29). Darüber hinaus wird die Bedeutung der segmentalen sowie der Ganzkörperbetrachtung erneut deutlich, da einige Körperteile wie der Kopf, der linke Oberarm und der linke Unterarm im Heizungsfall als angenehm eingestuft werden, während sich unangenehme Körperteile wie das Becken oder die Füße negativ auf die globale thermische Behaglichkeit auswirken (Tabelle 10).

Tabelle 10

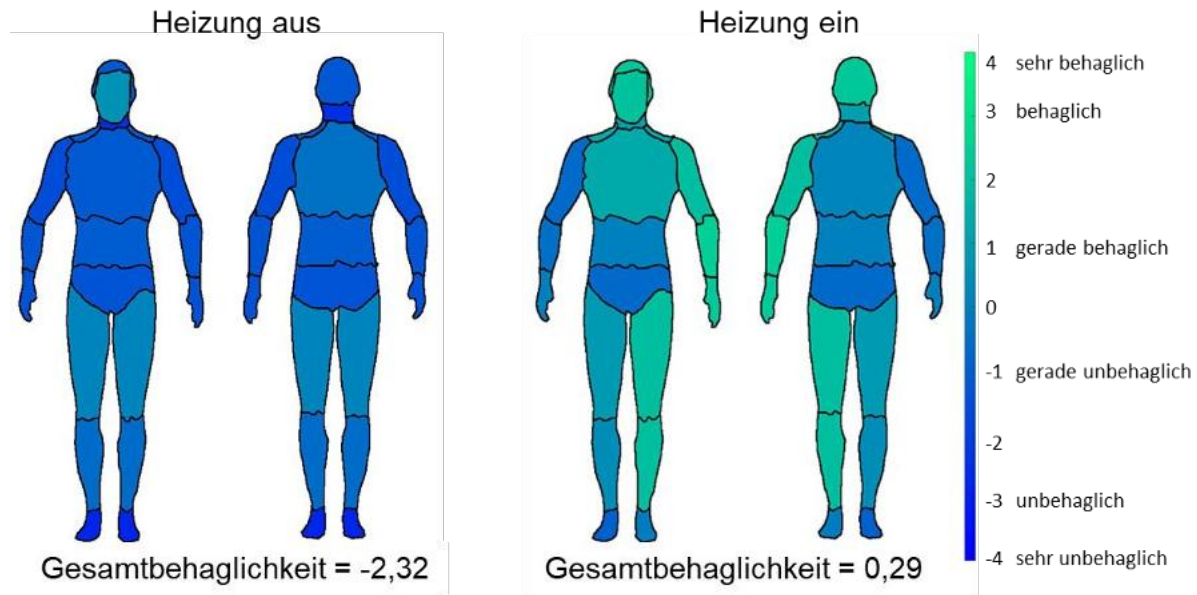
Gegenüberstellung der globalen Empfindungen durch PMV, UCB und die operative Temperatur der Simulationen des Beispielsraumes

	Heizung aus		Heizung an	
	Empfinden	Behaglichkeit	Empfinden	Behaglichkeit
Kopf	-2,22	-1,21	-0,33	2,26
Linker Oberarm	-1,98	-1,59	0,07	1,98
Rechter Oberarm	-1,97	-1,58	-1,48	-0,65
Becken	-1,85	-1,37	-1,46	-0,69
Rechter Oberschenkel	-1,24	0,14	-0,03	1,98

Linker Oberschenkel	-1,23	0,15	-0,78	0,87
Global	-2,47	-2,32	-0,69	0,29

Abbildung 29

Lokaler und globaler thermischer Komfort für ausgeschaltete (links) und eingeschaltete (rechts) Heizplatten



Ein Vergleich von experimenteller Messung und Simulation hinsichtlich der Parameter zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit (Tabelle 11) zeigt, dass die operativen Temperaturen innerhalb eines untersuchten Szenarios nahezu identisch sind. Dies ermöglicht eine gute Vergleichbarkeit der experimentellen und simulativen Datensätze.

Tabelle 11

Vergleich der Ergebnisse zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit aus experimenteller Messung und Simulation

	Experimentelle Messung		Simulation in TAItherm			
			T _{op}	PMV	UCB-Modell	
	T _{op}	PMV			Empfinden	Behaglichkeit
Heizung aus	18,97 °C	-3 (-5,19)	18,97 °C	-3,0	-2,47	-2,32
Heizung an	22,01 °C	-3 (-3,42)	22,01 °C	-2,45	-0,69	0,29

Der aus den Messergebnissen berechnete PMV wird deutlich kälter vorausgesagt als der in TAItherm simulierte PMV. Auf der Grundlage der normativen Bewertungsskala werden jedoch alle Situationen als „kalt“ eingestuft. Zudem endet die PMV-Skala in der Simulation beim normativen Skalenendwert von -3, sodass die Abweichung hier nicht beurteilt werden kann. Der Grund für die Abweichung ist, dass der PMV, der aus den experimentellen Messungen berechnet wurde, an einem imaginären Punkt in der Mitte

des gesamten Raumes ermittelt wird. Der Einfluss des Abstandes zum Heizstrahler wird nicht entsprechend der tatsächlichen Position des Manikins berücksichtigt. Bei den Simulationen mit TAItherm wird der PMV dagegen an der Position des thermischen Manikins bestimmt. Die Abweichung resultiert daher auch aus den unterschiedlichen Strahlungstemperaturen, die zur Bestimmung des PMV verwendet werden.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Empfindungen ohne Heizung im UCB-Modell etwas wärmer vorhergesagt werden als im Modell nach Fanger. Bei eingeschalteter Heizung unterscheiden sich die Empfindungen jedoch stark und werden im UCB-Modell deutlich wärmer vorhergesagt als im PMV-Modell. Dies verdeutlicht insbesondere den Einfluss lokaler Wärmeempfindungen, da jedes Körperteil bei der Bestimmung der globalen Wärmeempfindung eine andere Gewichtung hat. Interessant ist auch, dass ein negatives Wärmeempfinden im UCB-Modell nicht unbedingt zu thermischem Unbehagen führt. Im Fall der eingeschalteten Heizung zeigt dies, dass das Empfinden nach PMV nicht die geeignete Methode ist, die thermische Behaglichkeit zu beurteilen.

In einer weiteren Voruntersuchung wurde der Vergleich zwischen Heizpaneelen, einer Radiatorheizung und ohne Heizung durchgeführt. Dazu wurde zunächst eine experimentelle Raumanalyse durchgeführt, um die Auswirkungen von Heizkörpern und Flächenheizungen auf die physikalischen Eigenschaften des Raumes und den daraus resultierenden thermischen Komfort zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden sowohl die Oberflächentemperaturen als auch die Lufttemperatur des Laborraums mit 20 Sensoren erfasst. An jeder Wand sowie Boden und Decke wurden mindestens zwei Sensoren angebracht, und die Temperaturen der Heizplatten wurde mit jeweils einem Sensor gemessen. Die Lufttemperatur wurde an drei verschiedenen Punkten im Raum in unterschiedlichen Höhen gemessen. Zusätzlich wurden die Raumlufttemperatur, die Strahlungstemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Luftgeschwindigkeit und der Luftdruck im Testraum mit einem Komfortmessstand gemessen. Eine Heizoption bestand aus vier Heizplatten (2,98 m²), die nicht regulierbar sind und sich auf Temperaturen über 70 °C erwärmen (s. o.). Die zweite Option war ein Ölradiator (De Longhi Typ 531220) mit den Abmessungen 60 cm x 65 cm x 17 cm und einer Oberflächenwärme von bis zu ca. 90 °C. Das Manikin wurde unter denselben Randbedingungen wie oben beschrieben im Raum wiederum in einem Abstand von 1,5 m zu den Heizplatten aufgestellt und betrieben (Abbildung 30 links). Der Heizkörper (Abbildung 30 rechts) stand an der gegenüberliegenden Wand in einem Abstand von 3 m zum Manikin. Bei der Durchführung der Tests musste gewartet werden, bis im Raum stationäre Bedingungen erreicht waren, was etwa 15 Minuten dauerte. Die Parameter zur Bestimmung des Komforts wurden dann aufgezeichnet und über einen Zeitraum von 10 Minuten gemittelt.

Abbildung 30

Messaufbau mit Thermischem Manikin und Heizplatten (links) und Ölradiator (rechts)

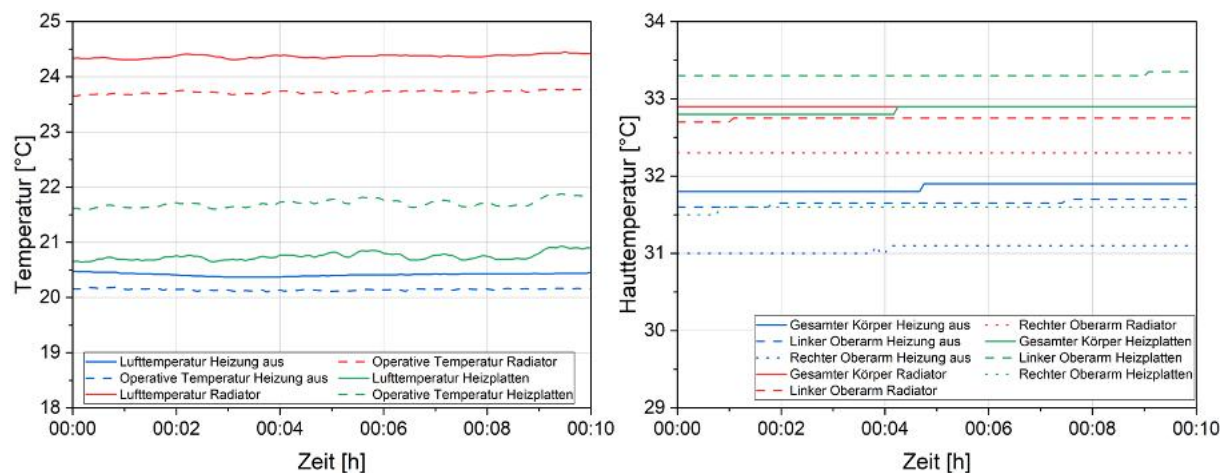


Die Lufttemperatur betrug während des Testzeitraums ohne Heizung etwa 20,4 °C und die operative Temperatur 20,1 °C. Mit der Flächenheizung wurden im Testraum Lufttemperaturen von 20,8 °C und operative Temperaturen von etwa 21,8 °C erreicht. Dies ist das einzige Szenario, in dem die operative Temperatur höher ist als die Lufttemperatur. Die höchsten Temperaturen wurden mit der Radiatorheizung erreicht. In diesem Szenario betrug die Lufttemperatur 24,4 °C. Die operative Temperatur stieg in diesem Szenario auf 23,7 °C. (Abbildung 31 links).

Die höhere Raumlufttemperatur wirkt sich auf die Hauttemperaturen aus. Ohne Heizung betrug die durchschnittliche Hauttemperatur 31,8 °C und stieg unter dem Einfluss des Heizkörpers auf 32,9 °C. Mit der Flächenheizung wird die gleiche durchschnittliche Hauttemperatur wie mit der Heizkörperheizung erreicht, jedoch ist die stärkere Erwärmung der linken Körperhälfte, die den Heizflächen zugewandt ist, deutlich erkennbar. Bei einseitiger Beheizung erhöht sich der Temperaturunterschied zwischen der linken und rechten Körperhälfte auf fast 2 K. Aufgrund der Wechselwirkung mit dem Raumklima und dem Einfluss des Stuhls schwanken die Hauttemperaturen manchmal leicht um 0,1 K (Abbildung 31 rechts).

Abbildung 31

Lufttemperatur und operative Temperatur (links) sowie die Hauttemperaturen für die drei untersuchten Szenarien



Der PMV prognostiziert alle drei Szenarien als zu kalt. Allerdings ist auch hier eine große Veränderung zu beobachten, da der PMV bei ausgeschalteter Heizung bei -4,4 liegt, bei Verwendung der Heizpaneele bei -3,8 und bei Verwendung der Radiatorheizung bei -2,4. Es muss jedoch erwähnt werden, dass die PMV-Skala nur bis -3 definiert ist und PMV-Indizes, die niedriger berechnet werden, ebenfalls mit -3 gekennzeichnet sind.

Zusätzlich zu den experimentellen Untersuchungen wurde der Versuchsaufbau im 3D-Wärmesimulationsprogramm TAItherm modelliert. Die Simulationsergebnisse der thermischen Empfindung zeigen eine deutliche Steigerung der Bewertung bei eingeschalteter Heizung im Vergleich zur Raumsituation ohne Heizung (Abbildung 32). Alle Körperteile zeigen bei Verwendung eines Heizkörpers eine gleichmäßig wärmere Empfindung und bei Verwendung einer Flächenheizung eine wärmere linke Körperhälfte. Das globale Wärmegefühl kann von -2,11 ohne Heizung auf -0,70 durch Verwendung des Heizkörpers erhöht werden, und bei der Flächenheizung wird der Komfort mit -0,76 bewertet. Betrachtet man den thermischen Komfort so zeigt sich, dass ohne Heizung der globalen Behaglichkeit mit -0,59 als eher unangenehm bewertet wird, während mit Heizkörper und Flächenheizung der allgemeine thermische Komfort mit 0,49 bzw. 0,18 bewertet wird und das Raumklima somit in beiden Fällen als angenehm empfunden wird.

Abbildung 32
Lokale und globale Wärmeempfindung und Komfort mit und ohne Heizung

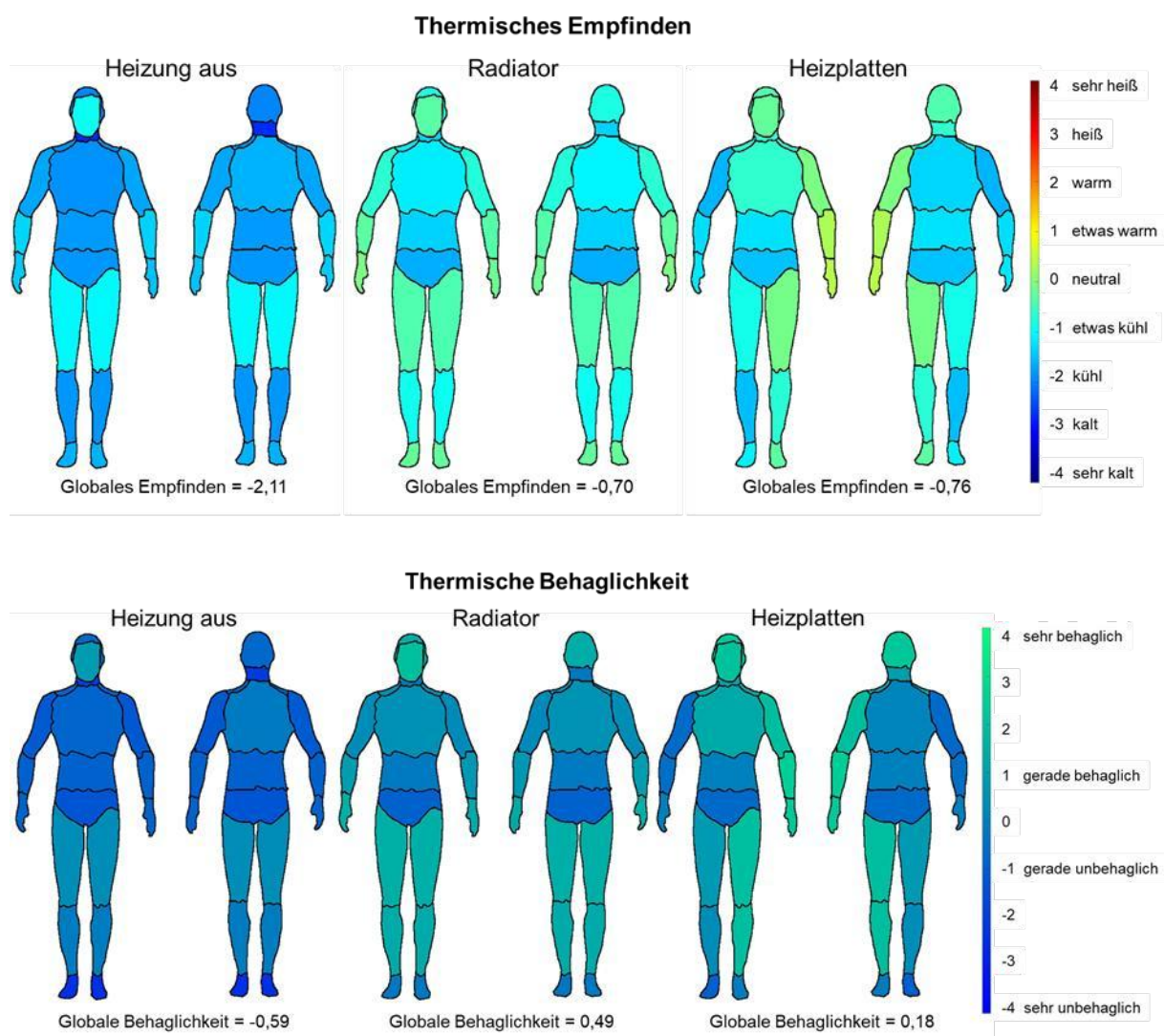


Tabelle 12 zeigt den Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Werten. Die Auswertung des unbeheizten Raums ergibt sowohl im gemessenen als auch im simulierten Fall einen PMV-Index von -3. Ein exakter Vergleich ist jedoch nicht möglich, da die Simulation die Skalierungsgrenze berücksichtigt, während die Messung deutlich niedrigere PMV-Werte ergibt, die jedoch außerhalb der Skala liegen. Im Fall des Heizkörpers stimmen der gemessene PMV und der PMV aus der Simulation überein. Bei den Heizpaneelen unterscheiden sich Messung und Simulation jedoch erheblich. Der PMV wird in der Simulation als deutlich wärmer vorhergesagt.

Tabelle 12
Vergleich der Ergebnisse aus experimentellen Messungen und Simulationen.

	Experimentelle Messung		Simulation in TAItherm			
			T_{op}	PMV	UCB-Modell	
	T_{op}	PMV			Empfinden	Behaglichkeit
Heizung aus	20,1 °C	-3 (-4,4)	20,1 °C	-3,0	-2,11	-0,59
Radiator	23,7 °C	-2,4	23,7 °C	-2,4	-0,70	0,49
Heizplatten	22,6 °C	-3 (-3,8)	22,6 °C	-2,7	-0,76	0,18

Die Simulationsergebnisse zeigen auch, dass alle drei Empfindungen im UCB-Modell deutlich wärmer sind als im PMV-Modell. Darüber hinaus zeigen sie, dass eine globale negative thermische Empfindung im UCB-Modell nicht automatisch zu thermischem Unbehagen führt. Daher kann Behaglichkeit nicht automatisch aus dem thermischen Empfinden abgeleitet werden. Ein Vergleich der Heizszenarien zeigt eine ähnliche globale Behaglichkeit. Die Behaglichkeit wird jedoch deutlich unterschiedlich bewertet. Dies zeigt deutlich den Einfluss der einzelnen Körperteile auf die Empfindung oder die Behaglichkeit, und es ist sinnvoll, beide auf lokaler Ebene zu betrachten.

Die operative Temperatur eignet sich für eine grobe Bewertung und einen Vergleich der Szenarien, jedoch nicht für die Bewertung des detaillierten thermischen Komforts, insbesondere in Situationen mit Strahlungsasymmetrie. Bei der Bewertung des PMV-Modells zeigen sich erhebliche Abweichungen zwischen dem berechneten und dem simulierten PMV im Falle einer Flächenheizung. In der Simulation ist der PMV deutlich wärmer als in der Messung. Das PMV-Modell scheint für Situationen mit hoher Strahlungsasymmetrie nicht gut geeignet zu sein. Beim Heizkörper hingegen stimmt die Simulation gut mit den Messdaten überein. Darüber hinaus zeigen die hier vorgestellten Studien große Unterschiede zwischen dem PMV- und dem UCB-Modell. Das UCB-Modell bewertet die thermische Empfindung sowohl für den unbeheizten als auch für den beheizten Raum als deutlich wärmer als das PMV-Modell. Allerdings sind beide Heizszenarien laut PMV unangenehm, während das UCB-Modell die Situationen im positiven Bewertungsbereich der Komfortskala einstuft. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse des UCB-Modells, dass eine negative Empfindung zu einer komfortablen Bewertung führen kann. Dies unterstreicht die Bedeutung einer Überprüfung der derzeit verwendeten Komfortbewertungen und der Frage, ob eine neutrale Komfortbewertung notwendigerweise mit thermischem Komfort verbunden ist.

Dieser Vergleich zeigt, dass eine differenzierte Betrachtung von Empfindung und Komfort erforderlich ist, was mit dem UCB-Modell möglich ist. Vor allem ist von großem Interesse, den Einfluss der Strahlungsasymmetrie und die daraus resultierende Temperaturregelung einzelner Körperteile genauer zu untersuchen.

5.1.11 Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Flächenheizsysteme auf die Luftströmung mittels Particle Tracking Velocimetry (PTV) und numerischen Strömungssimulationen

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Flächenheizsysteme auf die Luftströmung und auf die thermische Behaglichkeit zu untersuchen, wurden zunächst experimentelle Untersuchungen der Strömungsgeschwindigkeiten in der Zwei-Zonen-Klimakammer der RPTU durchgeführt.

Für die Untersuchungen werden Strömungspartikel mittels Particle Tracking Velocimetry (PTV) verfolgt. Bei den Partikeln in der Messung handelt es sich um Seifenblasen, die mit Luft gefüllt sind und einen Durchmesser von etwa 300 μm haben. In Abbildung 33 (links) ist der Messaufbau in der Klimakammer zu sehen. Die Seeding-Partikel (Seifenblasen) werden erzeugt und in den Raum geblasen, mit LEDs beleuchtet (siehe Abbildung 34) und vor dem schwarzen Hintergrund der Wand mit mehreren Kameras fotografiert. Die Schwärzung des Hintergrundes ist notwendig, um Reflexion zu minimieren, da diese zu Rauschen führt, was bedeuten würde, dass nichtexistierende Partikel rekonstruiert werden. Bei jeder Messung werden 10.000 Bilder mit einer Frequenz von 50 Hz aufgenommen, was einer Messdauer von 200 s entspricht. Für die Bestimmung der Strömungslinien bzw. Strömungsgeschwindigkeiten kommen Lagrange'sche Partikelverfolgungsmethoden zur Analyse zum Einsatz. Anschließend werden die Ergebnisse zeitlich gemittelt, um sie mit den Ergebnissen der numerischen Strömungssimulationen zu vergleichen.

Abbildung 33

Links: Messaufbau, vorne: Kameras, links: Seeding-Partikel-Generator, Mitte links: LEDs, schwarze Fläche rechts: Begrenzung des Messvolumens. Rechts: Abmaße der Klimakammer und des Messvolumens

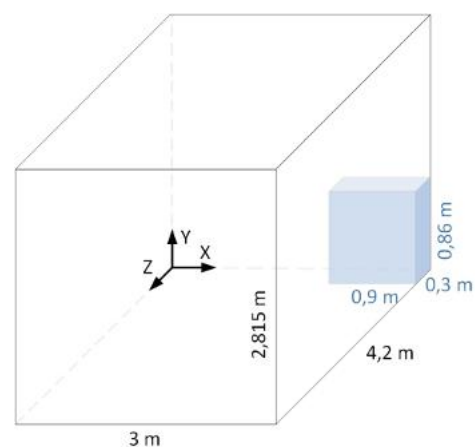
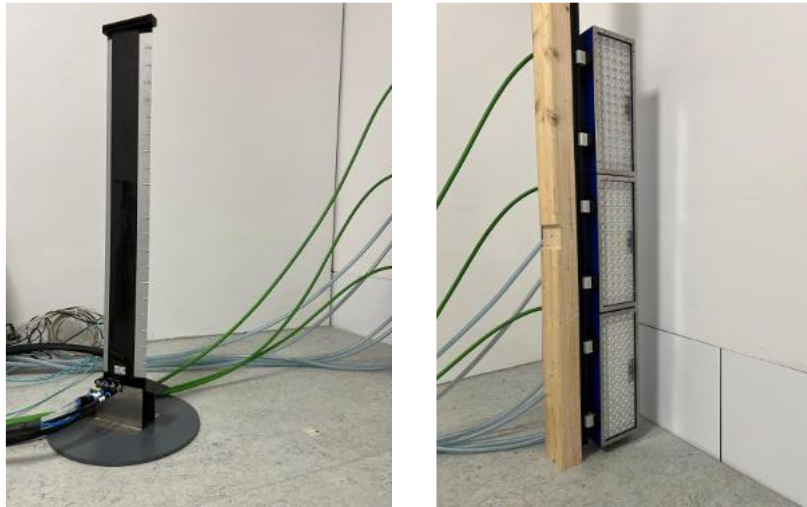


Abbildung 34

Links: Seeding-Partikel-Generator, rechts: LEDs zur Beleuchtung der Partikel.



Es wurden die Heizsysteme Wand und Fußboden untersucht, wobei dasselbe Luftvolumen betrachtet wurde, siehe Abbildung 33 (rechts). Das Heizsystem Decke wurde lediglich in der Simulation untersucht, da die Auswirkungen dieses Heizsystems auf die Geschwindigkeit als äußerst gering erwartet wird.

Für die Messung mit Wandheizung (siehe Abbildung 35 links) wurden folgende Flächentemperaturen eingestellt:

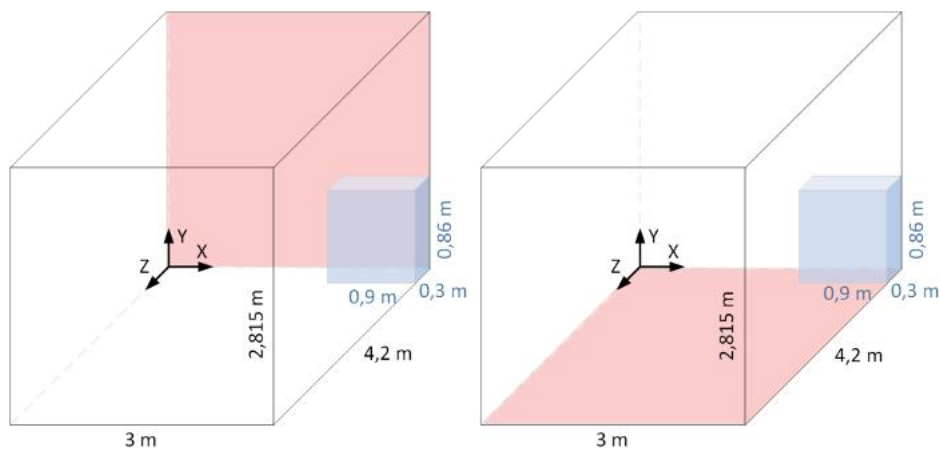
- Wandtemperatur 28 °C
- Andere Flächen 20 °C

Für die Messung mit Fußbodenheizung (siehe Abbildung 35 rechts) wurden folgende Temperaturen eingestellt:

- Fußbodentemperatur 25 °C
- Andere Flächen 20 °C

Abbildung 35

Schema der Messung/Simulation in Klimakammer mit Wandheizung (links), Fußbodenheizung (rechts). Das Messvolumen ist grau schattiert.



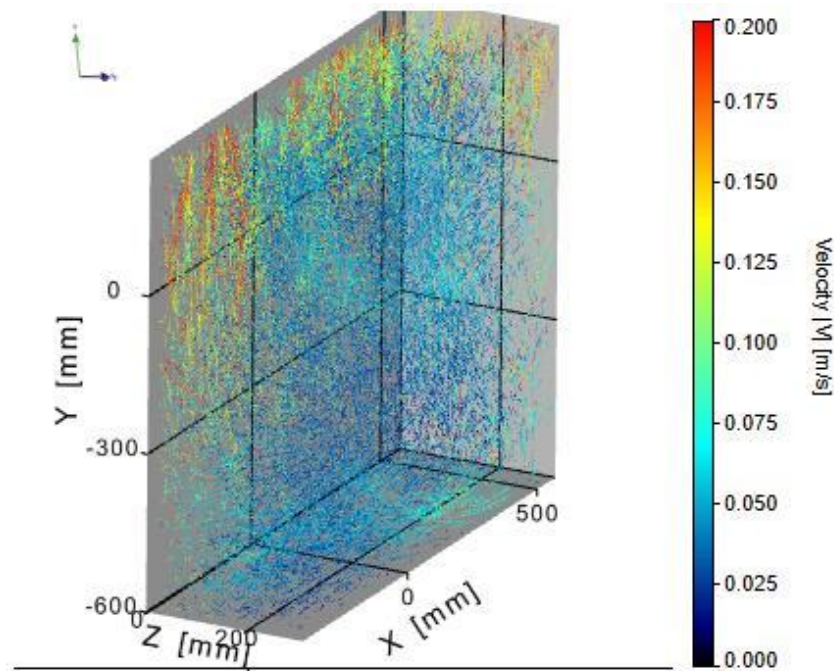
Ergebnisse

Wandheizung

Wie in Abbildung 36 zu erkennen ist, bewirkt die Wandheizung (X-Y-Ebene) hohe Strömungsgeschwindigkeiten in Wandnähe und bei größerer Entfernung vom Fußboden, während die Geschwindigkeiten bei einer Entfernung ab ca. 10 cm von der beheizten Wand relativ homogen erscheinen.

Abbildung 36

Partikelspuren im Messvolumen während eines 1,8 s langen Messzeitraums (Wandheizung)



Um das numerische Strömungsmodell (CFD-Modell) zu validieren und auf andere Situationen erweitern zu können, wurden die Messungen mit den CFD-Simulationen verglichen. In Abbildung 37 sind die Messergebnisse als Schnittdarstellung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsverteilung in vertikalen Ebenen des Messvolumens mit $X = 2,1 \text{ m} / 2,4 \text{ m} / 2,7 \text{ m}$ bzw. mit Abstand $0,9 \text{ m} / 0,6 \text{ m} / 0,3 \text{ m}$ zur Wanddecke dargestellt. Im linken Teil der Abbildung ist das gesamte Messvolumen bis zu $0,3 \text{ m}$ Abstand zur Wandheizung dargestellt, im rechten Teil eine vergrößerte Ansicht bis $0,1 \text{ m}$ Abstand zur Wandheizung. Der Bereich direkt in der Wanddecke wurde von den Messungen ausgenommen, da dort der Hintergrund der Seitenwand trotz der angebrachten schwarzen Folie von den LEDs stark beleuchtet wird, was die Trennung der beleuchteten Partikel von der hellen Wand erschwert. Zwar wurde die hohe Lichtintensität durch Bildnachbearbeitung reduziert, dennoch bleibt ein erhöhtes Rauschniveau bestehen. Dabei wurden zum Teil auch reale Partikel versehentlich entfernt, was insgesamt zu einer schlechteren Datenqualität in diesem Bereich führt. In Abbildung 38 sind die entsprechenden CFD-Simulationen dargestellt.

Abbildung 37

Messung: Schnittdarstellung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsverteilung (Betrag) in vertikalen Ebenen des Messvolumens mit $X = 2,1 \text{ m} / 2,4 \text{ m} / 2,7 \text{ m}$. Links: bis zu $0,3 \text{ m}$ Abstand zur Wandheizung, rechts: vergrößerte Ansicht bis $0,1 \text{ m}$ Abstand zur Wandheizung.

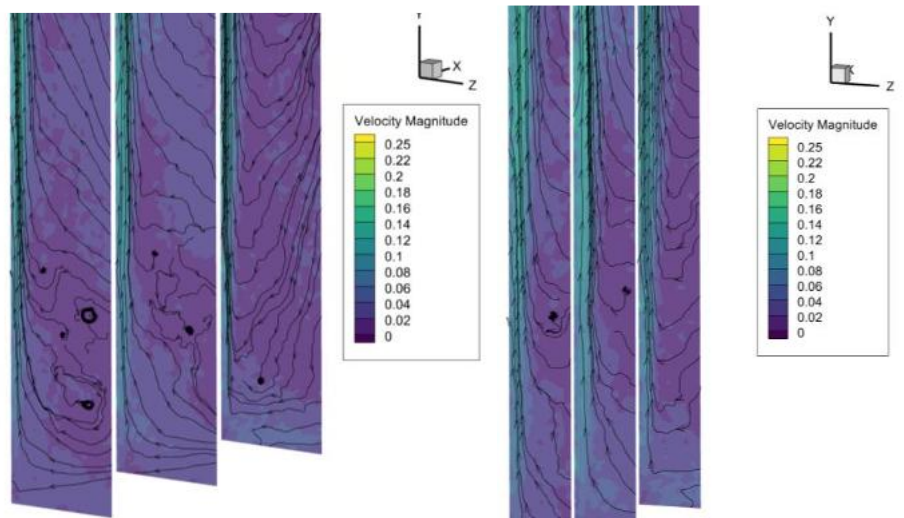
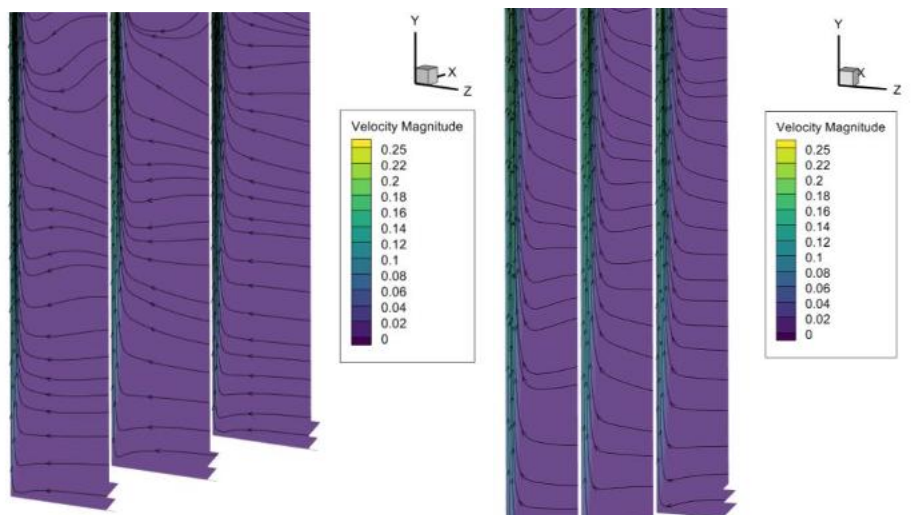


Abbildung 38

CFD-Simulation: Schnittdarstellung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsverteilung (Betrag) in vertikalen Ebenen des Simulationsvolumens mit $X = 2,1 \text{ m} / 2,4 \text{ m} / 2,7 \text{ m}$. Links: bis zu $0,3 \text{ m}$ Abstand zur Wandheizung, rechts: vergrößerte Ansicht bis $0,1 \text{ m}$ Abstand zur Wandheizung.



Zur Ergänzung der obigen Auswertungen wurden zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand, in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe entlang der Wand, erstellt, Abbildung 39 (Messung) und Abbildung 40 (Simulation).

Abbildung 39

Messung: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Wandheizung)

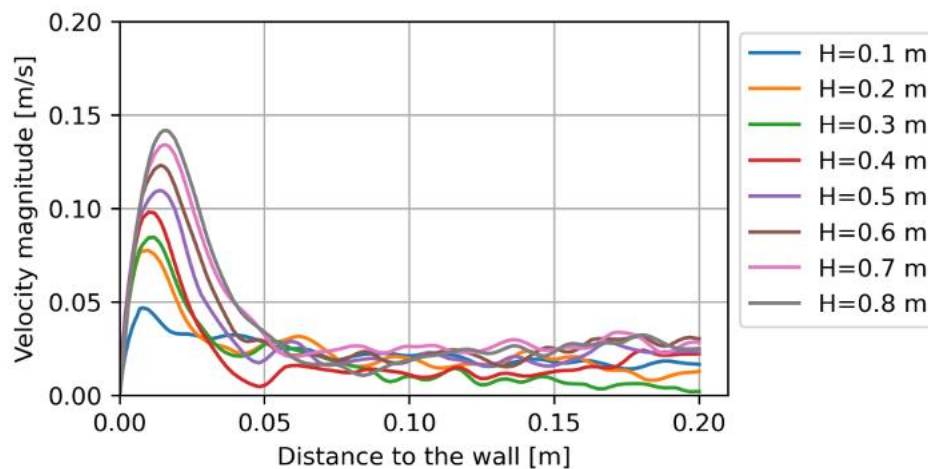
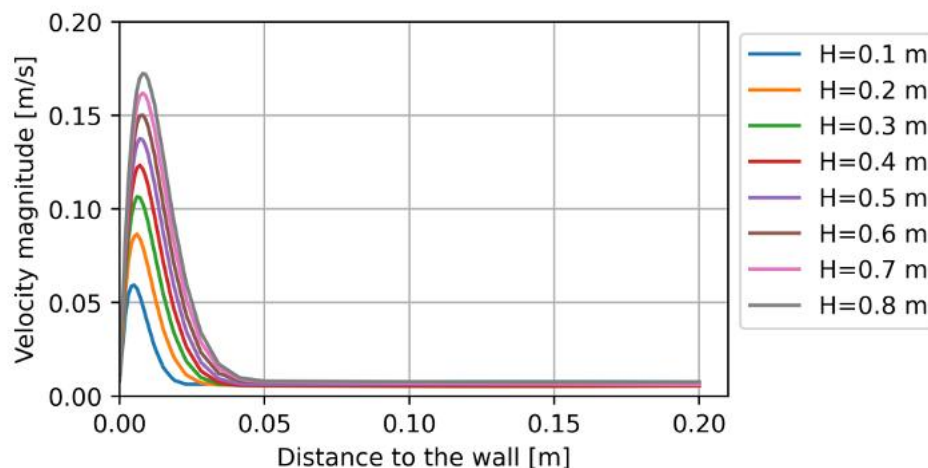


Abbildung 40

Simulation: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Wandheizung)



Wie beim direkten Vergleich der Abbildungen zu erkennen ist, zeigen sich insbesondere im wandfernen Bereich Abweichungen zwischen Messung und Simulation, während in direkter Wandnähe, d. h. in den ersten Zentimetern, ein ähnliches Verhalten zu erkennen ist, wenn auch in unterschiedlicher Magnitude. Der Grund für die Abweichungen im wandfernen Bereich könnte sein, dass sich bei der Wandheizung die Grenzschicht zu Beginn langsam entwickelt, weshalb die Strömung in größerem Abstand zur Wand noch sehr langsam ist. In der CFD-Simulation beträgt die Geschwindigkeit dort nur bis zu 0,008 m/s. Die Oberflächentemperatur in der Klimakammer schwankt während der Messungen um die Zieltemperatur um bis zu ± 2 K. Während die Zieltemperatur an den jeweiligen beheizten Flächen erreicht wurde und damit die Voraussetzung für die Messung erfüllt war, hatten andere Flächen von deren Zieltemperatur abweichende Temperaturen. Daher ist die Strömung bei der Messung eine andere als die idealisierte Strömung, die in den Simulationen berechnet wird, und der Unterschied zeigt sich vor allem in dem Bereich, wo die Simulation Geschwindigkeiten nahe 0 m/s berechnet. Ein weiterer möglicher Grund könnte in den Anfangsbedingungen des Strömungsfelds liegen: Im Messraum standen, wie in Abbildung 33 gezeigt, zahlreiche Messgeräte, die das Strömungsfeld bereits zu Beginn beeinflussen. In der CFD-

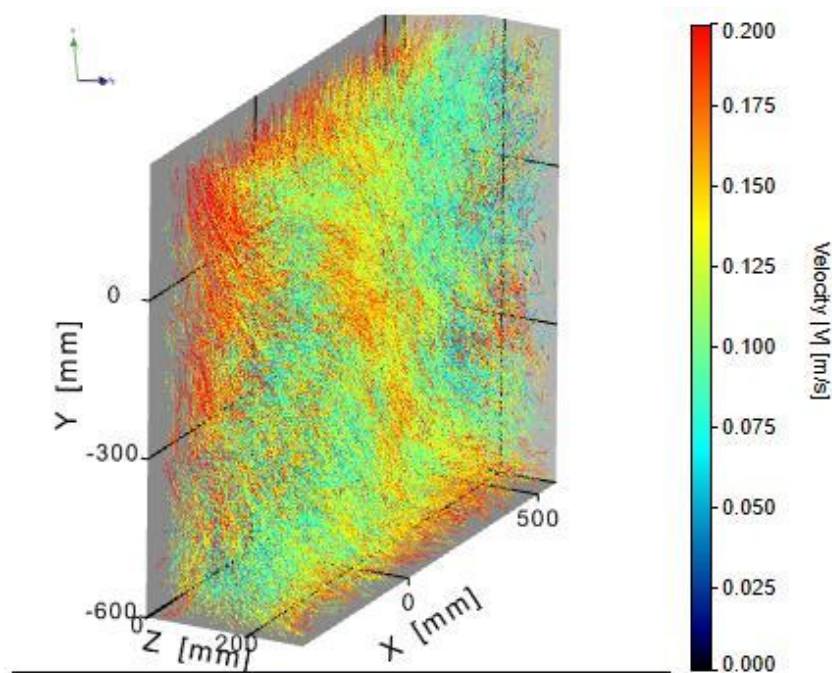
Simulation hingegen wird ein idealisierter Raum ohne Hindernisse angenommen. Des Weiteren sind in den Ergebnissen der Messungen keine Messungenauigkeiten berücksichtigt.

Fußbodenheizung

Wie in Abbildung 41 zu erkennen ist, bewirkt die Fußbodenheizung (X-Z-Ebene) völlig andere Strömungsgeschwindigkeiten als bei einer Wandheizung. Es werden im gesamten Messvolumen höhere Strömungsgeschwindigkeiten gemessen, auffällig sind auch die vergleichsweise hohen Strömungsgeschwindigkeiten direkt an der linken Wand (der Bereich direkt vor der rechten Wand wurde aus der Auswertung ausgeschlossen, s.o.).

Abbildung 41

Partikelspuren im Messvolumen während eines 1,8 s langen Messzeitraums (Fußbodenheizung)



Es wurden wiederum CFD-Simulationen durchgeführt und mit den Messungen verglichen. Der Vergleich ist in Abbildung 42 bis Abbildung 44 dargestellt. Wie man sieht, stimmen die Strömungsfelder sehr gut miteinander überein, so tritt sowohl bei Messung als auch bei der Simulation eine Konvektionswalze in der Ebene, welche am nächsten zur Wandecke liegt, auf und wird mit zunehmender Entfernung schwächer bzw. löst sich auf. Auch das Muster der Strömungslinien zeigt gute Übereinstimmung. Lediglich die Maximalwerte der Geschwindigkeit sind in der Simulation höher, dies könnte durch die idealisierte, störungsfreie Umgebung in der Simulation bedingt sein.

Aufgrund dieser Vergleiche wird das Simulationsmodell als validiert angesehen und es können weitere Situationen mittels Simulation durchgeführt und die Heizsysteme können miteinander verglichen werden.

Abbildung 42

Schnittdarstellung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsverteilung (Betrag) in vertikalen Ebenen des Mess- bzw. Simulationsvolumens mit $X = 2,1 \text{ m} / 2,4 \text{ m} / 2,7 \text{ m}$ bis zu $0,3 \text{ m}$ Abstand zur Wand. Links: Messung, rechts: Simulation. (Fußbodenheizung)

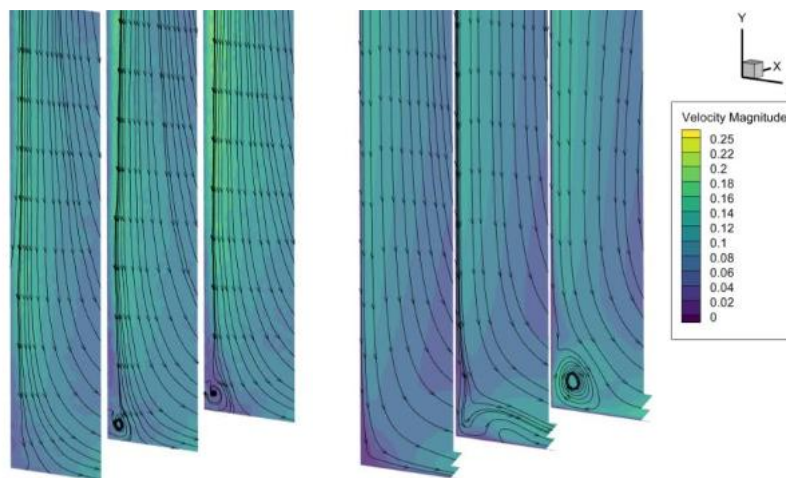


Abbildung 43

Messung: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Fußbodenheizung)

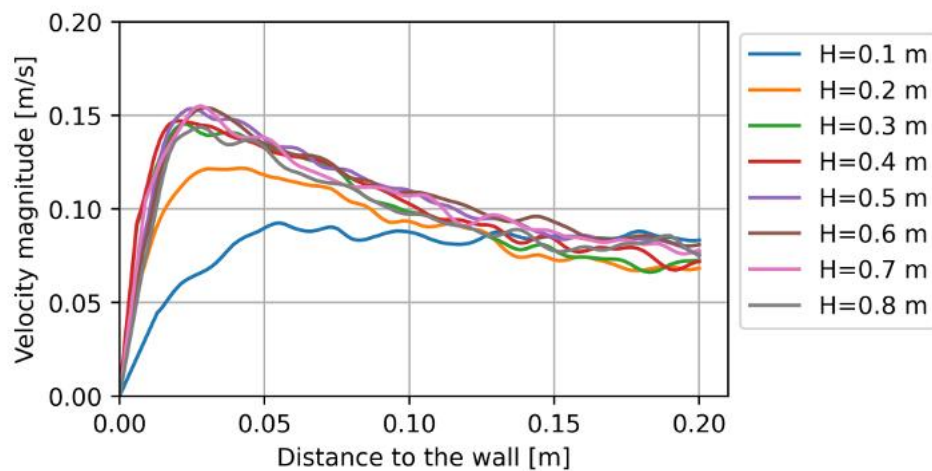
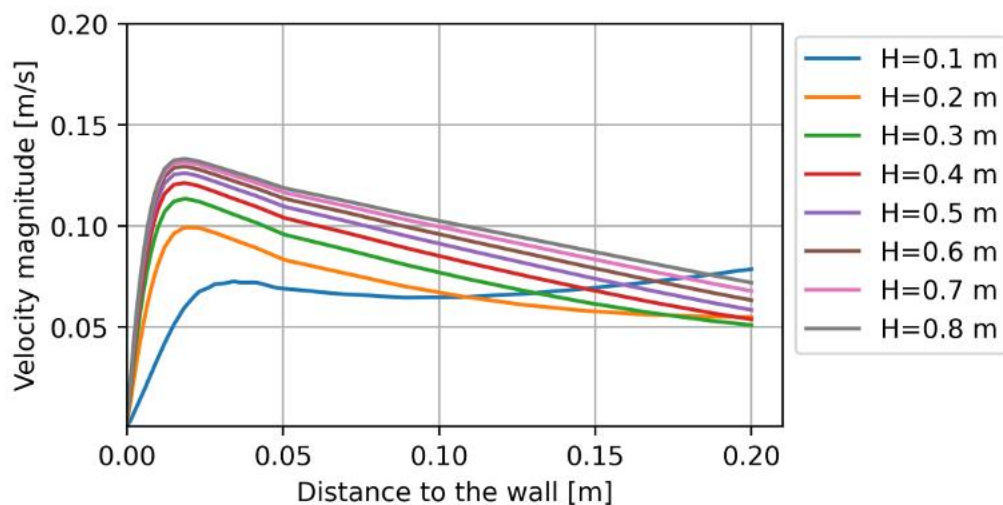


Abbildung 44

Simulation: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Fußbodenheizung)

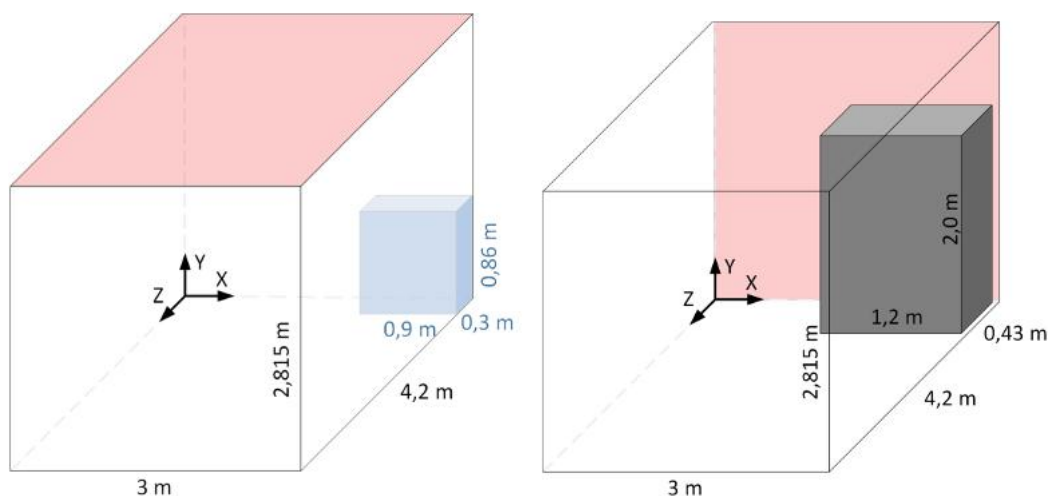


Vergleich der Heizsysteme und Einfluss von Möbeln

Die Luftströmung und die Temperaturfelder im Raum wurden mit ANSYS Fluent [74] simuliert. Zunächst wurde eine Simulation mit einem Deckenheizsystem durchgeführt, siehe Abbildung 45 (links). Die beheizte Decke wurde auf eine Temperatur von 26 °C eingestellt und alle anderen Oberflächen wurden auf 20 °C eingestellt. Für die Simulationen mit Fußboden- und Wandheizung wurden die Oberflächentemperaturen entsprechend den Messszenarien gewählt (s. Tabelle 5). Zudem wurde das Szenario mit Wandheizung um einen Schrank ergänzt, der die beheizte Fläche teilweise verdeckt und in der Raumecke steht, mit je einem Abstand von 0,01 m, siehe Abbildung 45 (rechts). Damit ausschließlich die geometrischen Effekte eines Hindernisses im Raum berücksichtigt werden, wurden die Oberflächen des Schranks als adiabatisch angenommen, wodurch sich die lokale Oberflächentemperatur an die benachbarte Lufttemperatur angleicht.

Abbildung 45

Schema der Simulation in Klimakammer mit Deckenheizung (links) und Wandheizung, welche teilweise von einem Schrank verdeckt ist (rechts).



Basierend auf diesen und den obigen Simulationen wurde für die Position in der Raummitte auf den Höhen 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m, 1,7 m jeweils die Strahlungstemperatur und die operative Temperatur berechnet.

Die Berechnung der Strahlungstemperatur T_r wurde folgendermaßen durchgeführt:

- Es wird eine fiktive, unendlich kleine Kugel an einer bestimmten räumlichen Position angenommen.
- Die auftreffende Strahlungsintensität G wird durch eine Bilanz der Strahlungsenergie im Raum berechnet.
- Die Strahlungstemperatur wird nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz mit folgender Gleichung berechnet:

$$T_r = \left(\frac{G}{4 \cdot 0 \cdot \sigma} \right)^{0.25} - 273.15; \text{ mit der Stefan-Boltzmann-Konstante } \sigma$$

Die Berechnung der operativen Temperatur erfolgte gemäß DIN EN ISO 7730 [26]:

$$T_o = \frac{T_a \sqrt{10 \cdot v_a} + T_r}{1 + \sqrt{10 \cdot v_a}},$$

wobei T_a die Lufttemperatur und v_a die Luftgeschwindigkeit darstellt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 bis Tabelle 16 zusammengefasst. Bei der Fußbodenheizung fällt die operative Temperatur mit zunehmender Höhe. Aufgrund der größeren Entfernung zur beheizten Quelle bei allen anderen Heiztypen nimmt die operative Temperatur mit der Raumhöhe zu. Bei der Deckenheizung und der Wandheizung mit Schrank ist die Luftgeschwindigkeit in Raummitte nahezu null. Für alle Heiztypen und an allen Positionen liegen die operativen Temperaturen zwischen 20,18 °C (Wandheizung mit Schrank, in 0,1 m Höhe) und 21,86 °C (Fußbodenheizung, 0,1 m). Der PMV-Index wird in ANSYS Fluent nicht ausgegeben und wurde deshalb mit Hilfe eines Tools [82] bestimmt. Grundlage der PMV Berechnungen ist ein Bekleidungsisolationswert von 0,61 clo, einem Aktivitätsgrad von 1,2 met und einer wirksamen mechanischen Leistung von 0 W/m². Die Randbedingungen für die Bestimmung des PMV entsprechen den Annahmen bei den experimentellen Messungen. Außerdem wird die relative Luftfeuchte mit 50 % angenommen. Zusammen mit den zugehörigen Luftgeschwindigkeiten ergibt sich an diesen Positionen ein PMV von -1,07 (Wandheizung mit Schrank, 0,1 m) und 0,63 (Fußbodenheizung, 0,1 m). Vergleicht man den Fall der Wandheizung mit dem der Wandheizung mit Schrank, verändert sich der PMV in der Raummitte je nach Position lediglich um 8 - 17 %. Während das Verdecken der Wandheizung aus energetischer Sicht ungünstig sein kann, ist die Auswirkung auf die thermische Behaglichkeit in dem vorliegenden Fall vernachlässigbar.

Tabelle 13

Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Fußbodenheizung.

Fußbodenheizung					
Höhe [m]	Lufttemperatur [°C]	Strahlungstemperatur [°C]	Luftgeschwindigkeit [m/s]	operative Temperatur [°C]	PMV
0,1	21,42	22,33	0,11	21,86	-0,63
0,6	21,13	21,69	0,10	21,41	-0,72
1,1	21,15	21,24	0,09	21,19	-0,78
1,7	21,26	20,91	0,05	21,06	-0,82

Tabelle 14

Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Deckenheizung.

Deckenheizung					
Höhe [m]	Lufttemperatur [°C]	Strahlungstemperatur [°C]	Luftgeschwindigkeit [m/s]	operative Temperatur [°C]	PMV
0,1	20,00	20,64	1,84E-5	20,63	-0,94
0,6	20,00	20,87	1,79E-4	20,84	-0,88
1,1	20,00	21,09	1,81E-4	21,05	-0,82
1,7	20,00	21,47	1,91E-4	21,41	-0,72

Tabelle 15

Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Wandheizung.

Wandheizung					
Höhe [m]	Lufttemperatur [°C]	Strahlungstemperatur [°C]	Luftgeschwindigkeit [m/s]	operative Temperatur [°C]	PMV
0,1	20,04	20,66	0,01	20,52	-0,98
0,6	20,28	20,81	0,02	20,66	-0,93
1,1	20,61	20,92	0,03	20,82	-0,89
1,7	21,20	20,93	0,04	21,03	-0,83

Tabelle 16

Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Wandheizung, welche teilweise mit einem Schrank verdeckt wird.

Wandheizung mit Schrank					
Höhe [m]	Lufttemperatur [°C]	Strahlungstemperatur [°C]	Luftgeschwindigkeit [m/s]	operative Temperatur [°C]	PMV
0,1	20,01	20,21	3,23E-3	20,18	-1,07
0,6	20,06	20,26	3,83E-3	20,23	-1,06
1,1	20,20	20,34	4,89E-3	20,32	-1,03
1,7	20,54	20,40	4,82E-3	20,43	-1,00

5.1.12 Versuche mit Testpersonen

Neben den Simulationen und experimentellen Untersuchungen wurde die subjektive Behaglichkeit mit Hilfe von Testpersonen untersucht. Mit den Daten wurde zum einen versucht, die Simulationen in TAItherm zu validieren (s. 5.1.8 Simulationen in TRNSYS). Die gemessenen Hauttemperaturen wurden dazu mit den Simulationsergebnissen verglichen. Die experimentell gemessenen und simulativen Ergebnisse der thermischen Behaglichkeit und des thermischen Empfindens wurden darüber hinaus verwendet, um die Voraussagen der Modellansätze zu bewerten.

Die Testpersonenversuche fanden in der Klimakammer im SmallHouse III der RPTU in Kaiserslautern statt. Dabei wurden unterschiedliche Szenarien hinsichtlich ihrer Behaglichkeit untersucht. Grundsätzlich wurden drei unterschiedliche Flächentemperiersysteme (Wand, Fußboden und Decke) miteinander verglichen. Die Flächen wurden sowohl für den Anwendungsfall des Heizens als auch für das Kühlen eines Raumes untersucht. Im Heizfall wurde zudem untersucht, wie sich die Flächenheizungen bei einem Gebäude nach GEG-Dämmstandard im Vergleich zu einem Gebäude mit einem U-Wert von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ verhalten. Daraus ergaben sich neun unterschiedliche Untersuchungsszenarien, die mit jeweils 6 Testpersonen erprobt wurden. Die Lufttemperatur und die Oberflächentemperaturen der Flächentemperierungen als auch der restlichen raumumschließenden Flächen wurden zuvor in TRNSYS ermittelt. In Tabelle 17 sind die unterschiedlichen Szenarien und die jeweilige Anzahl der Testpersonen dargestellt.

Tabelle 17
Untersuchungsszenarien mit der jeweiligen Anzahl der Testpersonen

Szenario	Dämmstandard	Flächentemperierung	Anzahl Testpersonen
1	GEG	Wandheizung	6
2	U = $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	Wandheizung	6
3	GEG	Wandkühlung	6
4	GEG	Fußbodenheizung	6
5	U = $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fußbodenheizung	6
6	GEG	Fußbodenkühlung	6
7	GEG	Deckenheizung	6
8	U = $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	Deckenheizung	6
9	GEG	Deckenkühlung	6

Insgesamt nahmen an den Testpersonenversuchen 10 Testpersonen teil. Geplant war ursprünglich, Untersuchungen mit 20 Testpersonen durchzuführen. Jedoch gestaltete sich die Rekrutierung der Testpersonen aus zwei Gründen schwierig. Zum einen wurde ein relativ enger Anforderungsrahmen für die Teilnahme an den Versuchen festgelegt. Auswahlkriterium war das Alter der Testperson zwischen 20 und 26 Jahren. Sie mussten gesund sein und hatten keine Vorkenntnisse über den Versuchsablauf. Zur Untersuchung des Einflusses des biologischen Geschlechts sollten in gleicher Anzahl biologisch weibliche und biologisch männliche Testpersonen teilnehmen. Zum anderen wurde im Projektverlauf deutlich, dass der Untersuchungsrahmen im Vergleich zu den Planungen bei Antragsstellung größer gefasst werden musste, um bspw. auch den Kühlfall abzudecken. Damit einhergehend ergaben sich große zeitliche Aufwendungen für jede Testperson (obwohl nicht jede Person jedem Szenario ausgesetzt wurde). So wurde entschieden, die Anzahl der Testpersonen auf 10 zu reduzieren und dafür jede Testperson immer allen drei Szenarien (Heizung GEG, Heizung 1,4 und Kühlung GEG) eines Flächentemperierungstyps (Wand, Decke oder Fußboden) auszusetzen, um direkte Vergleiche der Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien zu ermöglichen.

Es ergab sich ein Altersdurchschnitt der Testpersonen von 23,6 Jahren. Als weitere Stammdaten wurde das Gewicht, die Körpergröße, der BMI sowie der Körperfettanteil erfasst. Ein Überblick über die Durchschnittswerte mit Standardabweichungen der Stammdaten der Testpersonen ist in Tabelle 18 gegeben.

Tabelle 18
Übersicht über die Anzahl und Stammdaten der Testpersonen

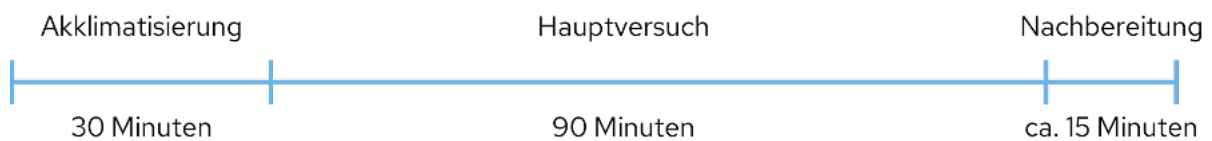
Anzahl Testpersonen	Stammdaten im Durchschnitt				
	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfettanteil
10 (davon 5 weiblich und 5 männlich)	23,6 ($\pm 2,07$)	174,75 cm ($\pm 8,18$)	75,39 kg ($\pm 13,88$)	24,69 ($\pm 4,25$)	29,6 % ($\pm 6,60$)

Grundsätzlich war jeder Versuchsablauf in drei Phasen unterteilt (s. Abbildung 47). In der ersten Phase, der Akklimatisierungsphase, wurden die Versuchspersonen nach der Begrüßung mit den notwendigsten Informationen zum Versuchsablauf versorgt. Danach legten die Versuchspersonen die Versuchskleidung und die notwendigen Sensoren an. Die Versuchskleidung bestand für den Heizfall aus einem Langarmshirt, einer langen Jogginghose, kurzen Socken und Gummiclogs; im Sommerszenario aus T-Shirt, kurzer Jogginghose, kurzen Socken und Gummiclogs (s. Abbildung 46). Während des Versuchs trugen die Versuchspersonen eine Pulsuhr, einen Sensor zum Erfassen der Körperkerntemperatur sowie 19 Sensoren zum Aufzeichnen der Hauttemperatur an unterschiedlichen Körperstellen (s. Abbildung 48). Nach dem Anlegen der Sensoren und dem Umziehen fand eine kurze Befragung der Testpersonen statt. Bei ihrem ersten Versuch wurden die Stammdaten (Alter, Geschlecht, Größe, Körperfettanteil) der Testpersonen sowie die sportliche Verfassung abgefragt. In der mündlich durchgeführten Vorbefragung, die vor jedem Versuchsdurchlauf stattfand, wurde ein allgemeiner Eindruck über die Versuchsperson gewonnen und geprüft, ob sie sich an die Anweisungen vor dem Versuch gehalten haben (Anreise, Schlaf, Ernährung). Die Fragebögen sind im Angang 12.1 zu finden.

Abbildung 46
Bekleidung der Testpersonen für den Heizfall (links) und den Kühlfall (rechts)

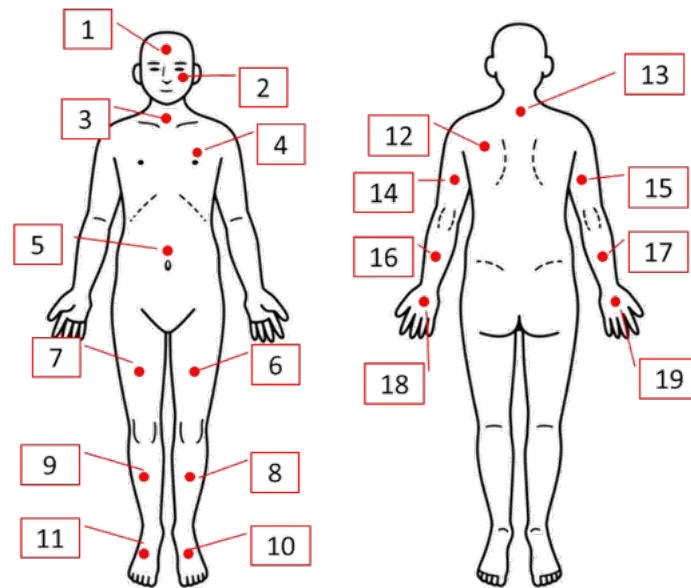


Abbildung 47
Zeitlicher Ablauf der Testpersonenversuche



Mithilfe eines Ohrthermometers wurde vor Betreten der Kammer die Körperkerntemperatur erfasst. Zuletzt erhielten die Versuchspersonen genaue Instruktionen, wie sie sich während des Hauptversuchs zu verhalten haben. Die Akklimationisierung dauerte 30 Minuten und fand im Vorraum der Klimakammer statt.

Abbildung 48
Platzierung der iButton-Tempersensoren an den Testpersonen

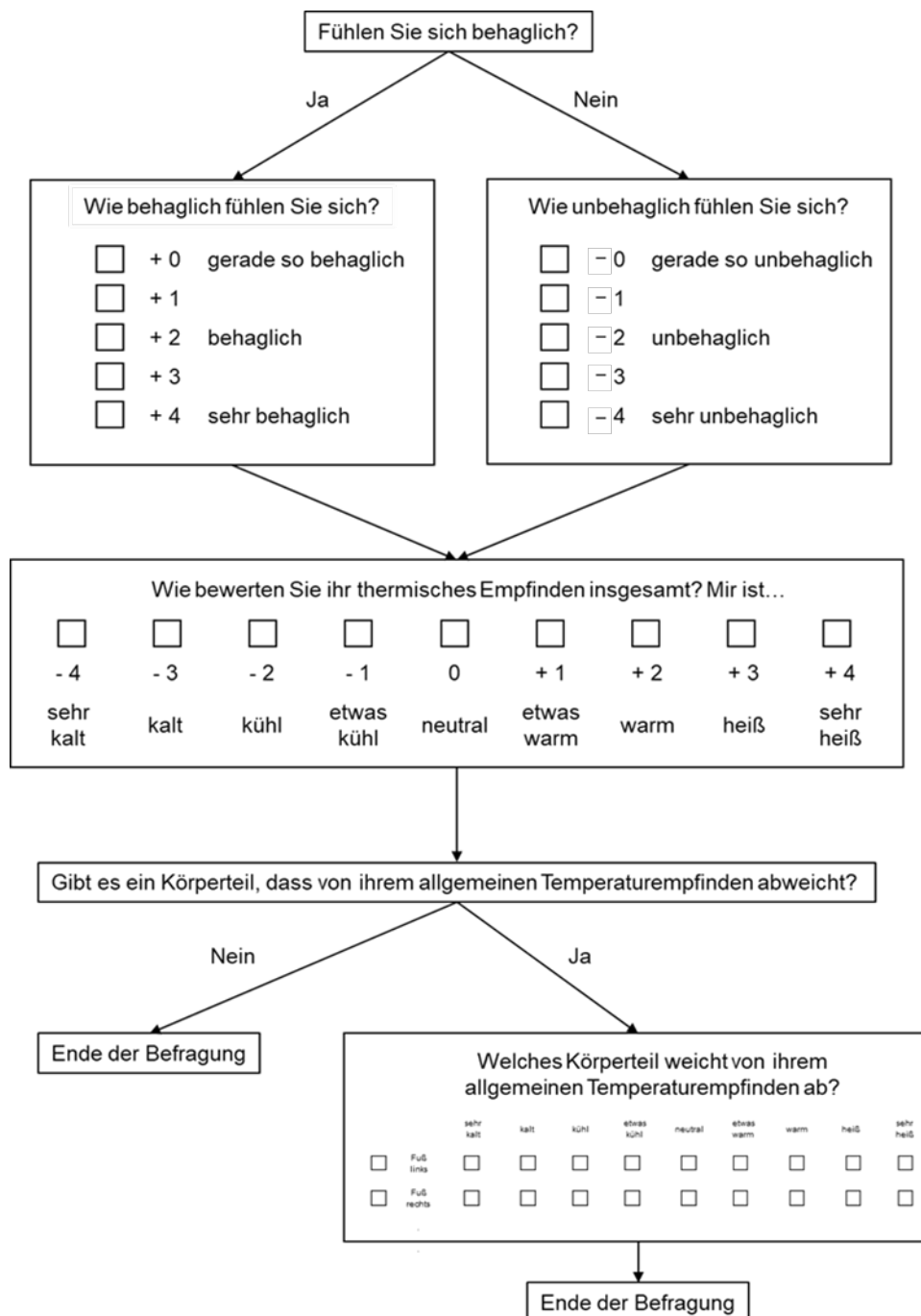


Die Hauptphase (90 Minuten) des Versuchs verbrachten die Versuchspersonen in der Klimakammer. Bei den Versuchen zu Fußboden- und Deckentemperierung konnten zwei Testpersonen parallel untersucht werden, während im Heizfall mit der Wand nur jeweils eine Person untersucht werden konnte. Die Sitzplätze waren so gewählt, dass die Testpersonen für die Szenarien Fußboden- bzw. Deckentemperierung jeweils den gleichen Abstand zu Innen- und Außenwänden hatten. Die Testpersonen verbrachten die Zeit sitzend an einem Tisch (s. Abbildung 49). Da eine büroähnliche Situation simuliert werden sollte, durften sie während der Versuchszeit am Laptop arbeiten oder andere einfache Tätigkeiten (z. B. Lesen, Lernen) durchführen. Während des 90-minütigen Hauptexperiments wurden die Testpersonen zu Beginn und im 15-Minutentakt nach ihrem thermischen Empfinden und thermischen Komfort befragt. Der Ablauf des Fragebogens ist in Abbildung 50 dargestellt. Die Darstellung der Anzeige während der Versuche ist im Anhang 12.1 zu finden. Die Fragebögen wurden in Zusammenarbeit mit einem Sozialwissenschaftler erstellt. Bei dem Fragebogen des Hauptexperiments wurden die Fragen, die auch bei der Entwicklung des UCB-Modells verwendet wurden, genutzt.

Abbildung 49
Situation mit zwei Testpersonen in der Klimakammer



Abbildung 50
Ablauf der Befragung während des Hauptversuchs



Nachdem die Personen den Versuchsraum verlassen haben, wurde erneut die Temperatur mit dem Ohrthermometer gemessen und eine kurze Nachbefragung zum Experiment durchgeführt. Die Testpersonen wurden nach ihrem Wohlbefinden während des Experiments gefragt. Zum einen gaben die Antworten Aufschluss über das allgemeine Wohlbefinden einer Person am jeweiligen Tag, zum anderen konnten eventuelle Störfaktoren im Experiment aufgedeckt werden. Nach dem letzten Versuchsdurchlauf der Testpersonen wurden diese gebeten, einen umfangreicheren Fragebogen zu beantworten (s.

Anhang 12.1). Dabei ging es zum einen um das thermische Empfinden der Versuchspersonen im Alltag. Zum anderen wurde damit das Feedback der Versuchspersonen zur gesamten Versuchsreihe eingeholt.

Neben den stationären Szenarien, die miteinander verglichen wurden, wurden mit den Personen Versuche zum Erfassen der Setpointtemperatur durchgeführt. Diese wird für das UCB-Modell benötigt. An den Setpointversuchen konnten zwei Personen gleichzeitig teilnehmen. In dieser Reihe wurde nach der Akklimatisierungsphase die Temperatur in der Klimakammer innerhalb des 90-minütigen Versuchsablaufs von 19 auf 25 Grad gesteigert, um den Bereich zu erfassen, in dem sich die jeweilige Testperson neutral fühlt. Der elektronische Fragebogen wurde dazu leicht angepasst und erfragte in kürzeren Abständen (alle 5 Minuten) nur das thermische Empfinden. Die Randbedingungen wie erfasste Temperaturen wurden wie in den Untersuchungsszenarien davor beibehalten. Als Bekleidung trugen die Personen während der Versuche zur Setpointtemperatur die Bekleidung für den Heizfall. Jede Testperson nahm an den Versuchen zur Setpointtemperatur teil.

Der zeitliche Ablauf sowie die Benennung der Versuche für den weiteren Auswertungsverlauf können Tabelle 19 entnommen werden.

Tabelle 19
Benennung der Untersuchungsszenarien und Durchführungszeiten

Versuchsbezeichnung	Dämmstandard	Flächentemperaturierung	Versuchsdurchlauf	Datum	Uhrzeit
Wand GEG (1)	GEG	Wandheizung	V1	11.06.2025	7:49 – 9:52 Uhr
			V2	11.06.2025	10:28 – 12:32 Uhr
			V3	11.06.2025	13:02 – 15:03 Uhr
Wand GEG (2)			V4	12.06.2025	8:02 – 10:02 Uhr
			V5	12.06.2025	10:25 – 12:26 Uhr
			V6	12.06.2025	12:44 – 14:53 Uhr
Wand 1,4 (1)	U = 1,4 W/m²K	Wandheizung	V1	16.06.2025	7:52 – 9:53 Uhr
			V2	16.06.2025	10:27 – 12:27 Uhr
			V3	16.06.2025	12:47 – 14:49 Uhr
Wand 1,4 (2)			V4	17.06.2025	8:20 – 10:20 Uhr
			V5	17.06.2025	10:24 – 10:55 Uhr
			V6	17.06.2025	12:58 – 15:02 Uhr
Wand Kühlen (1)	GEG	Wandkühlung	V1	18.06.2025	8:00 – 10:00 Uhr
			V2	18.06.2025	10:31 – 12:31 Uhr
			V3	18.06.2025	12:51 – 15:01 Uhr
Wand Kühlen (2)			V4	25.06.2025	8:04 – 10:05 Uhr
			V5	25.06.2025	12:56 – 14:56 Uhr

Versuchsbezeichnung	Dämmstandard	Flächentemperaturierung	Versuchsdurchlauf	Datum	Uhrzeit
			V6	25.06.2025	15:16 – 17:20 Uhr
Fußboden GEG	GEG	Fußbodenheizung	V1	10.06.2025	8:00 – 10:08 Uhr
			V2	10.06.2025	10:25 – 12:45 Uhr
			V3	10.06.2025	13:01 – 15:40 Uhr
Fußboden 1,4	U = 1,4 W/m ² K	Fußbodenheizung	V1	13.06.2025	8:04 – 10:07 Uhr
			V2	13.06.2025	10:25 – 12:42 Uhr
			V3	13.06.2025	12:53 – 14:56 Uhr
Fußboden Kühlen	GEG	Fußbodenkühlung	V1	26.06.2025	8:03 – 10:04 Uhr
			V2	26.06.2025	10:45 – 12:45 Uhr
			V3	26.06.2025	12:54 – 14:54 Uhr
			V4	26.06.2025	15:13 – 17:17 Uhr
Decke GEG	GEG	Deckenheizung	V1	23.06.2025	8:02 – 10:02 Uhr
			V2	23.06.2025	10:32 – 12:32 Uhr
			V3	23.06.2025	12:52 – 14:59 Uhr
Decke 1,4	U = 1,4 W/m ² K	Deckenheizung	V1	24.06.2025	8:00 – 10:00 Uhr
			V2	24.06.2025	10:33 – 12:33 Uhr
			V3	24.06.2025	12:52 – 14:55 Uhr
Decke kühlen	GEG	Deckenkühlung	V1	20.06.2025	8:04 – 10:20 Uhr
			V2	20.06.2025	10:31 – 12:34 Uhr
			V3	20.06.2025	12:52 – 14:53 Uhr

Ergebnisse der Befragung vor und nach den Versuchen

Allgemein hielten sich die Teilnehmenden an die Versuchsanweisungen. Sie kamen pünktlich und ohne erhöhte körperliche Aktivität zum Versuch und hatten ihre letzte Mahlzeit über eine Stunde vor der Akklimatisationszeit eingenommen. Da das Wohlbefinden im Alltag schwankt, ist dies auch in den Versuchen zu erwarten gewesen. Dabei ging es den Teilnehmenden allgemein gut. Nur in einem Versuch gab es starke Einschränkungen, weil die Versuchsperson kaum geschlafen hatte. In drei Fällen hätte die vorige Mahlzeit mit etwas mehr zeitlichem Abstand eingenommen werden können. Fünfmal äußerten Teilnehmende, dass sie etwas müde sind und einmal, dass die Person sich kraftlos fühlt. Zwei Personen gaben an, dass ihre Pollenallergie gerade virulent ist. Eine Person verkörperte jemand, der Kaffee trinkt. Sie achtete darauf diesen, wie gefordert, mindestens bis zwei Stunden vor dem Versuch zu sich zu nehmen. Eine andere Person hatte nur vor dem Setpoint-Szenario eine Stunde vor dem Versuch Kaffee getrunken, aus den Ergebnissen ist hier allerdings kein Einfluss zu erkennen. Andere anregende Stoffe

wurden nicht konsumiert, so wie es die Vorbereitung der Testpersonen forderte. Unter den Testpersonen hat außerdem niemand geraucht. Die Einschränkungen sind in Tabelle 20 aufgelistet.

Tabelle 20

Einschränkungen der Testpersonen für die einzelnen Versuche aus Vor- und Nachbefragung

	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10
Boden GEG	Ohne Einschränkung Erstversuch	Ohne Einschränkung Erstversuch	Ohne Einschränkung Erstversuch	Ohne Einschränkung Erstversuch	Ohne Einschränkung Erstversuch	Starke Allergie Erstversuch	-	-	-	-
Boden 1,4	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	-	-	-	-
Boden kühlen	Ohne Einschränkung	Innerhalb der letzten 2 Stunden gegessen	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	-	-	-	-
Decke GEG	-	-	Ohne Einschränkung	-	-	Ohne Einschränkung	Gab an „bisschen müde“ zu sein	Gab an „bisschen müde“ zu sein	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung
Decke 1,4	-	-	Ohne Einschränkung	-	-	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung
Decke kühlen	-	-	Ohne Einschränkung	-	-	Starke Allergie	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Starke Allergie	Ohne Einschränkung Erstversuch
Wand GEG	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	-	Starke Allergie	Ohne Einschränkung	-	Ohne Einschränkung Erstversuch	Ohne Einschränkung Erstversuch	-	-
Wand 1,4	Innerhalb der letzten 2 Stunden gegessen	Ohne Einschränkung	-	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	-	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	-	-
Wand kühlen	Ohne Einschränkung	Zu wenig Schlaf	-	Ohne Einschränkung	„kraftlos“ wegen hohem Arbeitspensum	-	Ohne Einschränkung	Gab an „bisschen müde“ zu sein	-	-
Set-point	Innerhalb der letzten 2 Stunden gegessen	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Ohne Einschränkung	Gab an „bisschen müde“ zu sein	eine Stunde vor dem Versuch Kaffee getrunken

Akklimatisierungsphase

Das Ziel der Akklimatisierungsphase war es zu gewährleisten, dass die Testpersonen alle im gleichen Grundzustand mit den Versuchen beginnen. Es war geplant, dass sich die Testpersonen eine halbe Stunde vor dem Hauptversuch im Vorraum der Klimakammer bei konstanten 20 °C aufhalten. Allerdings war es aufgrund der warmen Außenlufttemperaturen nicht möglich, die Temperatur auf 20 °C zu halten (s. Abbildung 51 - Abbildung 53). Vor allem der Effekt, dass sich die Testpersonen beim Wechsel vom Vorraum in die Klimakammer sehr behaglich fühlen aufgrund der schlagartig kühleren Temperaturen konnte dadurch nicht verhindert werden. Aufgrund dessen wurde die Akklimatisierungszeit um die erste halbe Stunde im Versuchsraum erweitern. Dadurch reduziert sich die Versuchszeit des Hauptversuchs auf eine Stunde.

Abbildung 51

Temperaturen im Vorraum der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung inkl. Fehlerband des Temperatursensors

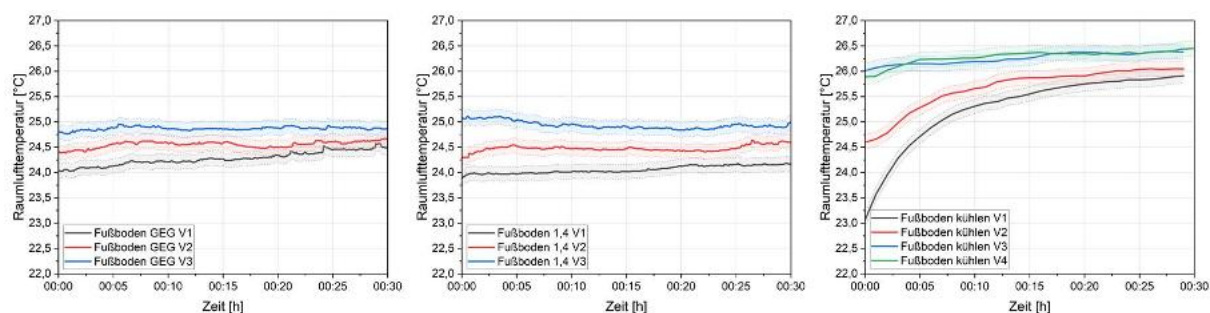


Abbildung 52

Temperaturen im Vorraum der Klimakammer bei den Versuchen mit Deckentemperierung inkl. Fehlerband des Temperatursensors

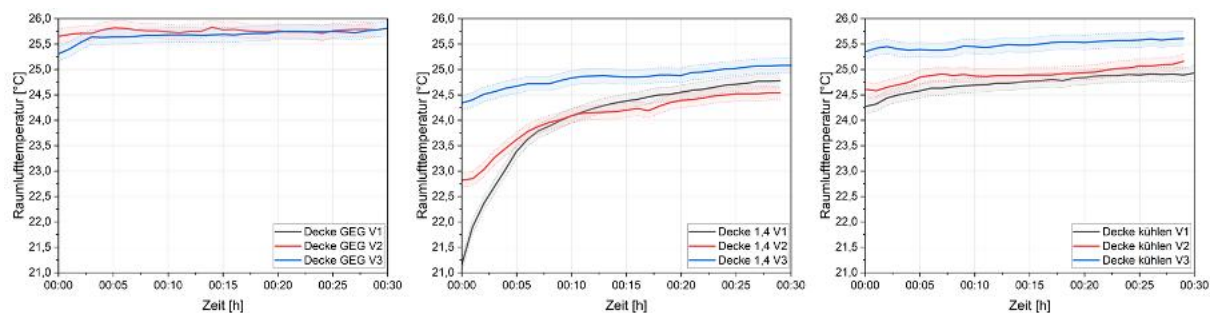
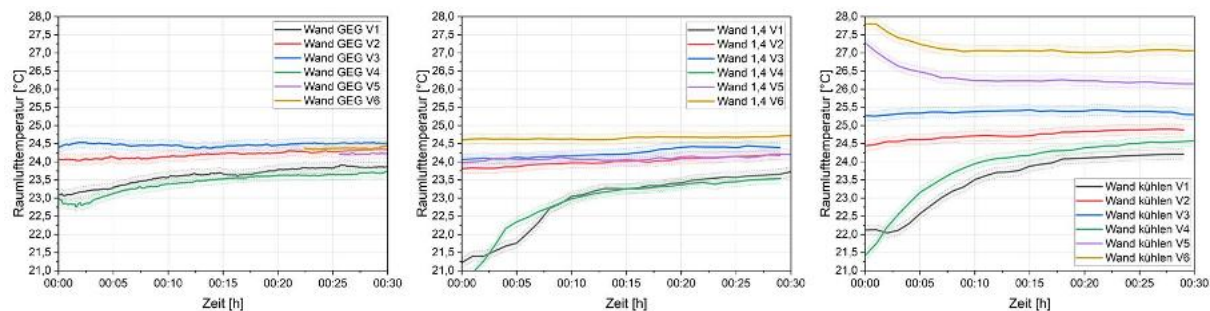


Abbildung 53

Temperaturen im Vorraum der Klimakammer bei den Versuchen mit Wandtemperierung inkl. Fehlerband des Temperatursensors



Hauptversuchsphase

Wie oben erwähnt, wurde die Hauptversuchsphase aufgrund der nicht einheitlichen Akklimationierung auf eine Stunde verkürzt. Während der gesamten 1,5 Stunden, die sich die Testpersonen in der Klimakammer aufhielten, stellen sich überwiegend konstante Bedingungen hinsichtlich der operativen Temperatur ein (s. Abbildung 54 bis Abbildung 56). Die operative Temperatur wird aus dem Mittel zwischen Globe- und Raumlufthtemperatur gebildet, welche am Behaglichkeitsmesstand in Raummitte gemessen wurden. Die Globetemperatur ist die Temperatur im Inneren einer geschwärzten Hohlkugel aus einem dünnen, gut wärmeleitenden Material und gibt einen Wert für die Strahlungstemperatur an dieser Position an. Die während des Versuchsdurchlaufs ansteigenden Temperaturen sind zum einen auf die Erwärmung der Raumlufthtemperatur durch die Personen im Raum und zum anderen durch die Erwärmung des Fensters zurückzuführen. Die Versuche mussten jedoch mit Fenster durchgeführt werden, da ein geschlossener Raum ohne Fenster als eine unrealistische Büroumgebung wahrgenommen werden könnte, was zur Unbehaglichkeit führen könnte. Auch konnte die Lüftung nicht höher reguliert werden, um dadurch einem Erwärmen der Raumlufthtemperatur entgegenzuwirken, da dadurch erhöhte Luftgeschwindigkeiten im Raum entstehen könnten, welche wiederum als unbehaglich empfunden werden können.

Aufgrund zu hoher operativer Temperaturen wurden V4 „Fußbodenheizung Kühlen“, V4 „Wand GEG“ und V6 „Wand Kühlen“ nicht zum Vergleich der einzelnen Szenarien herangezogen. Im Falle von V6 bei der Deckenkühlung deckt sich der Temperaturverlauf mit einem der anderen Versuche. V4 beim Kühlen des Fußbodens deckt sich zwar mit V3, jedoch ist die Abweichung zu den Versuchen V1 und V2 zu hoch. Bei den restlichen Versuchen stellten sich vergleichbare operative Temperaturen ein und ermöglichen einen Vergleich (Tabelle 21).

Tabelle 21
mittlere operative Temperatur (in °C) während des jeweiligen Versuchsdurchlaufs für alle untersuchten Szenarien

	Heizfall GEG	Heizfall U = 1,4 W/m ² K	Kühlfall GEG
Fußbodenheizung			
g			
V1	22,0	22,2	24,1
V2	22,2	22,2	24,3
V3	22,6	22,6	24,6
V4	-	-	(25,1)
Deckenheizung			
V1	22,2	21,4	23,9
V2	22,0	21,6	24,1
V3	22,2	21,9	24,5
Wandheizung			
V1	21,5	21,4	23,9
V2	21,7	21,6	24,4
V3	21,9	22,0	24,8
V4	(21,2)	21,5	24,1

V5	21,6	21,7	24,6
V6	22,0	21,9	(25,7)

Abbildung 54

Verlauf der operativen Temperatur bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung inkl. Fehlerband durch Messabweichung der Temperatursensoren

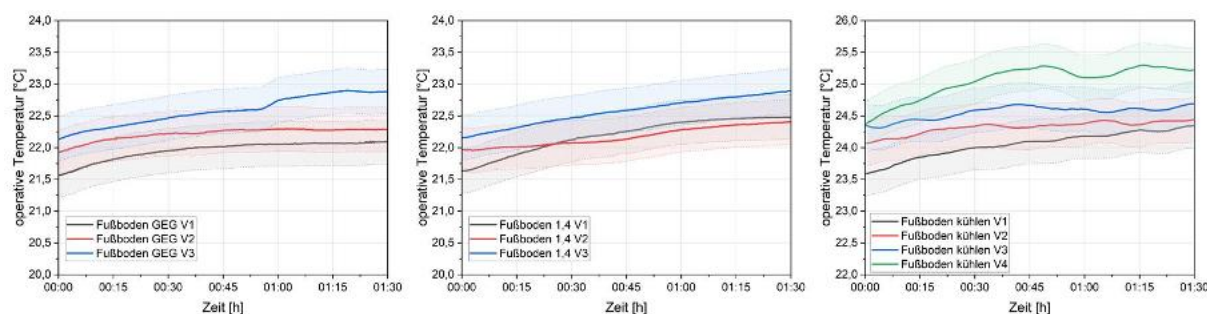


Abbildung 55

Verlauf der operativen Temperatur bei den Versuchen mit Deckentemperierung inkl. Fehlerband durch Messabweichung der Temperatursensoren

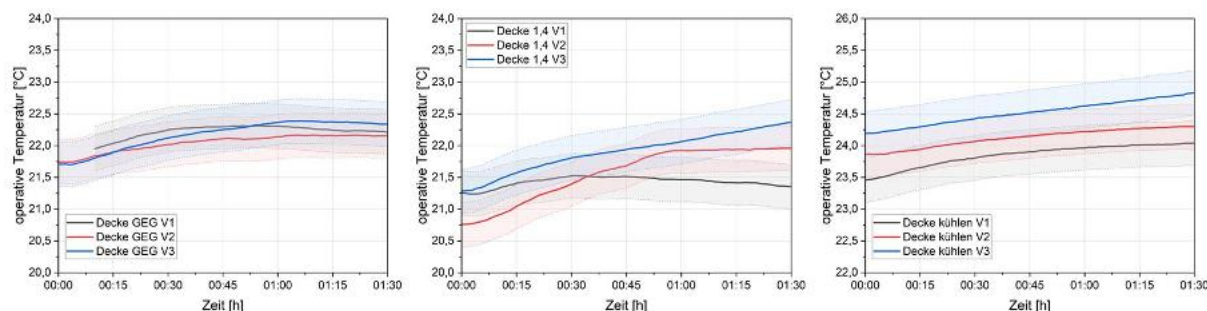
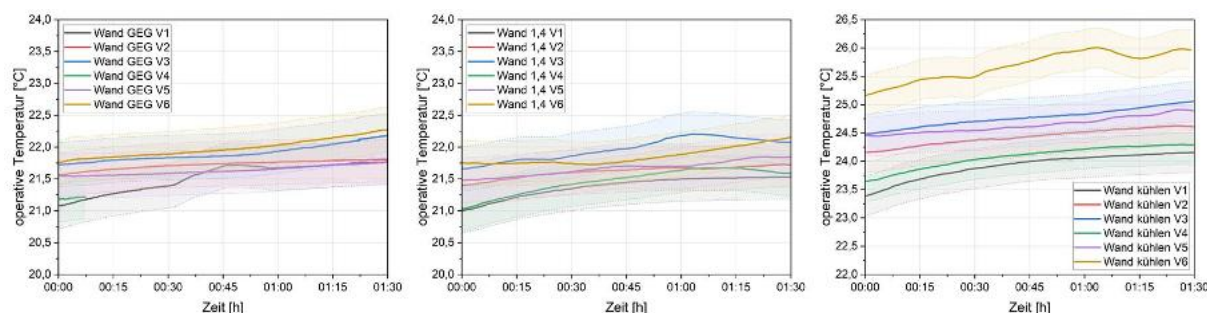


Abbildung 56

Verlauf der operativen Temperatur bei den Versuchen mit Wandtemperierung inkl. Fehlerband durch Messabweichung der Temperatursensoren



Betrachtet man die Oberflächentemperaturen der Klimakammer über die jeweiligen Versuchszeiträume (Abbildung 57 bis Abbildung 59) zeigt sich, dass die gesteuerten Oberflächen nahezu konstant auf den eingestellten Solltemperaturen gehalten werden konnten. Auffällig ist hier die Fensterfläche, die nicht gesteuert werden kann und sich deshalb im Laufe des Tages durch steigende Außenlufttemperaturen und solare Einstrahlung erwärmt. Um trotzdem die Solltemperatur der Fensterwand zu erreichen, wurde die umliegende Wandfläche dementsprechend herunter gekühlt, um im Mittel die Solltemperatur der Fläche zu erreichen. Ein außenliegender Sonnenschutz stand in dem Gebäude nicht zur Verfügung.

Während der gesamten Durchführung der Testpersonenversuche kam es zu einigen Zeitpunkten zu Komplikationen. Aufgrund einer ausgefallenen Messung können die Versuche zur Deckenheizung bei schlechten Dämmstandard nicht genau ausgewertet werden, da hier nicht nachvollzogen werden kann, wie konstant die Temperaturen gehalten werden können. In manchen Versuchen, wie beispielsweise beim Szenario Fußboden kühlen, schwanken die Temperaturen sehr stark um den Sollwert. Da aber die operativen Temperaturen während der Versuchsabläufe weniger als 1 K voneinander abweichen, können diese trotzdem gut miteinander verglichen werden.

Abbildung 57

Verläufe der Oberflächentemperaturen der Wände, Boden, Decke sowie Fenster in der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung

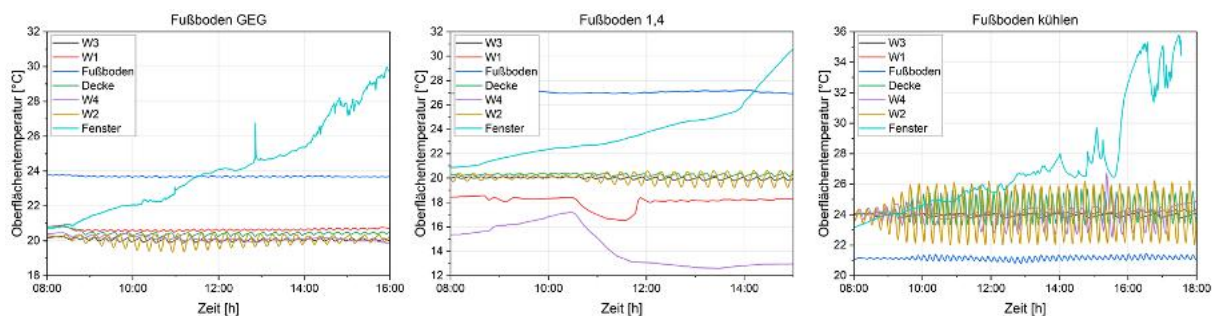


Abbildung 58

Verläufe der Oberflächentemperaturen der Wände, Boden, Decke sowie Fenster in der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung

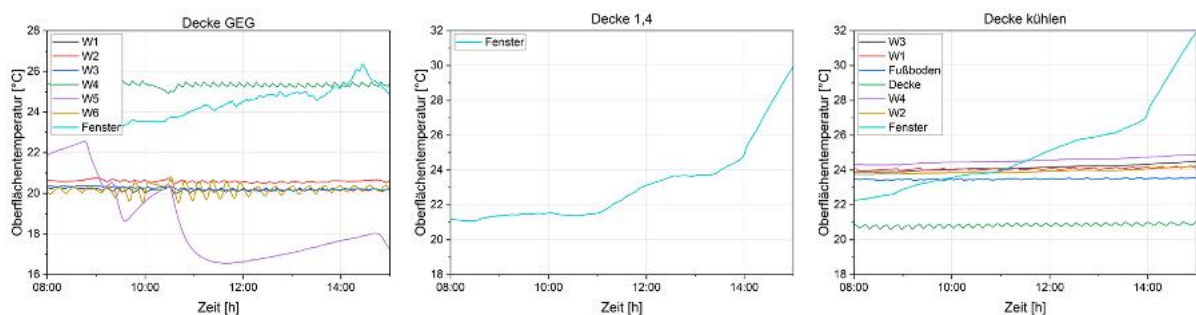
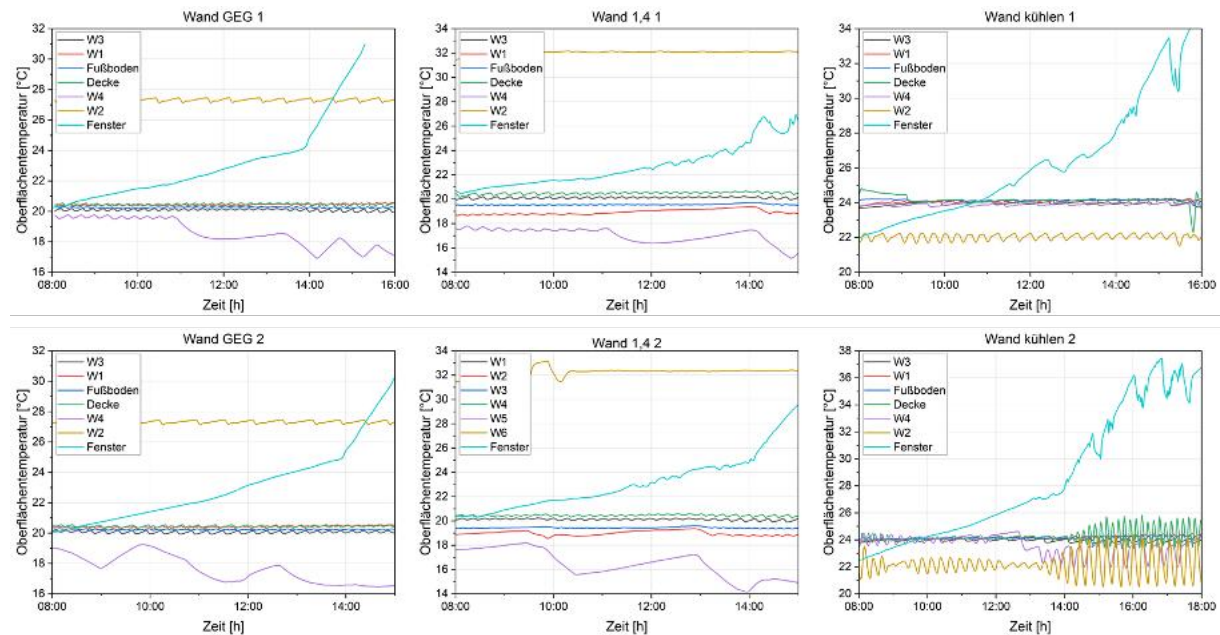


Abbildung 59

Verläufe der Oberflächentemperaturen der Wände, Boden, Decke sowie Fenster in der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung



Auswertung der Umfrageergebnisse der Testpersonen

Tabelle 22 gibt eine Übersicht über die Bewertung der Testpersonen bzgl. der thermischen Behaglichkeit bei den unterschiedlichen Versuchsszenarien, auf der Skala von +4 sehr behaglich bis -4 sehr unbehaglich. Dabei wurden alle Angaben der Testpersonen beim jeweiligen Versuchszeitraum über den Hauptversuch gemittelt.

Die Fußbodensysteme erzielen durchweg die höchsten Mittelwerte. Die höchsten Behaglichkeitswerte wurden bei „Fußboden Kühlen“ erreicht (Mittelwert (MW): 3,20; Standardabweichung (SD): 0,41). Dieser Wert deutet auf eine sehr homogene und durchgängig als behaglich empfundene Temperaturverteilung hin, was auch durch das hohe Minimum von 3 gestützt wird. Auch die Varianten „Fußboden GEG“ (MW: 2,97; SD: 0,87) und „Fußboden 1,4“ (MW: 3,17; SD: 0,79) zeigen ein sehr hohes Maß an thermischer Behaglichkeit, wobei letztere tendenziell leicht besser bewertet wurde. Die Fläche des Fußbodens ist bei „Fußboden 1,4“ deutlich wärmer als bei „Fußboden GEG“, was das wärmere Empfinden erklärt. Die relativ geringen Standardabweichungen in allen drei Fällen belegen eine geringe Streuung der subjektiven Bewertungen, was auf eine hohe Gleichmäßigkeit des Behaglichkeitsempfindens schließen lässt.

Im Vergleich zu den Fußbodensystemen fallen die Bewertungen der Deckensysteme deutlich heterogener aus. Während „Decke GEG“ einen mittleren Behaglichkeitswert von 2,10 aufweist (SD: 1,69), liegt der Wert für „Decke 1,4“ lediglich bei 1,00 (SD: 2,20). Besonders kritisch ist hierbei die hohe Standardabweichung sowie das Minimum von -3, was auf eine stark polarisierende Wahrnehmung und Unbehaglichkeit hinweist. Die Variante „Decke Kühlen“ schneidet mit einem Mittelwert von 2,23 (SD: 1,07) deutlich besser ab als die Heizvarianten. Das Minimum von 1 zeigt, dass keine Bewertung in den unbehaglichen Bereich fiel. Insgesamt lässt sich feststellen, dass Deckenkühlung eine deutlich höhere Akzeptanz aufweist als Deckenheizung, insbesondere im schlecht gedämmten Szenario.

Die Wandsysteme weisen hinsichtlich der Mittelwerte eine moderate thermische Behaglichkeit auf. „Wand GEG“ erreicht einen Mittelwert von 2,00 (SD: 1,73), „Wand 1,4“ liegt mit 1,83 (SD: 1,91) etwas darunter. In beiden Fällen sind jedoch auch negative Bewertungen vorhanden (Minimum: -2 bzw. -3),

was auf vereinzelte Unbehaglichkeitserfahrungen hinweist. „Wand Kühlen“ hingegen erzielt eine signifikant bessere Bewertung mit einem Mittelwert von 2,40 und einer geringen Standardabweichung von 0,82. Wie bei den Deckensystemen zeigt sich auch hier, dass der Kühlbetrieb als behaglicher wahrgenommen wird als der Heizbetrieb.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, für den vorliegenden Fall, dass Fußbodensysteme die höchste thermische Behaglichkeit aufweisen. Die Kombination aus hohem Mittelwert und geringer Streuung macht diese Systeme zur bevorzugten Lösung aus Sicht des thermischen Komforts. Decken- und Wandsysteme im Heizbetrieb, insbesondere bei einem schlechteren Dämmstandard, weisen hingegen sowohl niedrigere Mittelwerte als auch größere Streuungen auf, was auf eine höhere Variabilität im subjektiven Behaglichkeitsempfinden schließen lässt. Der Kühlbetrieb zeigt sich bei den durchgeführten Untersuchungen bei allen Flächenheizungen als überlegen gegenüber dem Heizbetrieb.

Tabelle 22

Ergebnis der subjektiven Bewertung der thermischen Behaglichkeit der Testpersonenversuche verschiedener Flächenheiz- und kühlssysteme unter Berücksichtigung unterschiedlicher Auslegungsszenarien

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Fußboden GEG	2,97	0,87	1	4
Fußboden 1,4 W/m²K	3,17	0,79	1	4
Fußboden Kühlen	3,20	0,41	3	4
Decke GEG	2,10	1,69	-2	4
Decke 1,4 W/m²K	1,00	2,20	-3	4
Decke Kühlen	2,23	1,07	1	4
Wand GEG	2,00	1,73	-2	4
Wand 1,4 W/m²K	1,83	1,91	-3	4
Wand Kühlen	2,40	0,82	1	4

Neben der thermischen Behaglichkeit wurde auch das thermische Empfinden für verschiedene Flächenheiz- und -kühlssysteme untersucht (Tabelle 23). Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Fußbodensysteme im Durchschnitt sehr nahe an der thermischen Neutralität liegen. Die Mittelwerte für die Varianten „Fußboden GEG“ (0,07), „Fußboden 1,4“ (0,10) und „Fußboden Kühlen“ (0,08) liegen allesamt im Bereich leicht über 0, was auf ein minimales Wärmeempfinden hindeutet, welches jedoch nicht als störend wahrgenommen wurde. Gleichzeitig weisen diese Varianten eine geringe Standardabweichung auf (zwischen 0,40 und 0,64), was auf eine homogene Verteilung der subjektiven Bewertungen und somit eine hohe Konstanz im Empfinden hinweist. Auch die Minimal- und Maximalwerte (jeweils zwischen -1 und +1) verdeutlichen, dass extreme thermische Empfindungen in diesen Fällen praktisch nicht auftraten.

Demgegenüber stehen die Deckensysteme, bei denen eine deutlich höhere Abweichung vom Neutralwert festgestellt wurde. Während beim Kühlen der Decke der Mittelwert von -0,13 relativ nahe an der Neutralität liegt, weisen die Heizvarianten deutliche negative Mittelwerte auf. Das zeigt, dass das thermische Empfinden hier tendenziell als kälter beurteilt wurde.

Auch die Wandsysteme zeigen ein differenziertes Bild. Die Varianten „Wand GEG“ (-0,14) und „Wand 1,4“ (-0,27) liegen beide leicht unterhalb der thermischen Neutralität und wurden damit kühler empfunden. Die Variante „Wand Kühlen“ hingegen weist mit einem Mittelwert von 0,12 sogar einen leicht positiven Wert auf, was auf ein geringeres, aber nicht störendes Wärmeempfinden hinweist. In dieser Kategorie zeigt sich ebenfalls, dass der Kühlbetrieb vorteilhafter bewertet wurde als der Heizbetrieb. Die Standardabweichungen liegen zwischen 0,67 und 1,03 und deuten auf eine etwas größere Streuung im individuellen Empfinden, jedoch ohne das Auftreten extremer Bewertungen.

Tabelle 23

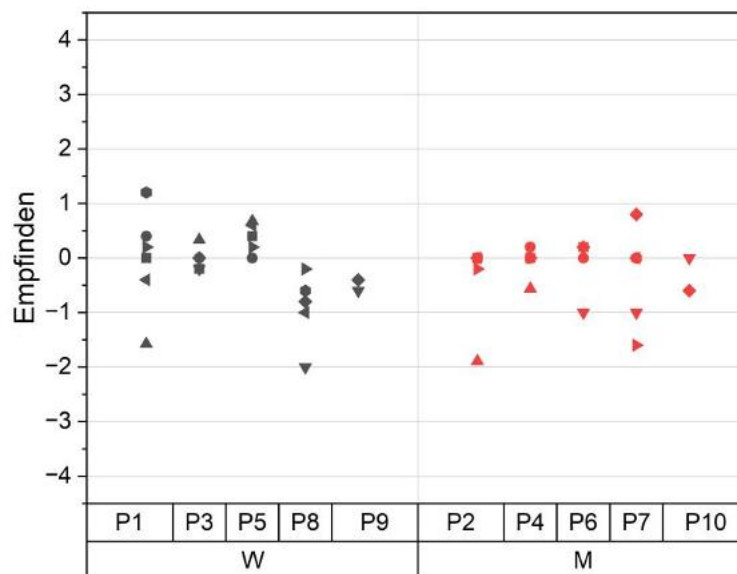
Ergebnis der subjektiven Bewertung des thermischen Empfindens der Testpersonenversuche verschiedener Flächenheiz- und kühlssysteme unter Berücksichtigung unterschiedlicher Auslegungsszenarien

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Fußboden GEG	0,07	0,53	-1	1
Fußboden 1,4 W/m²K	0,10	0,40	-1	1
Fußboden Kühlen	0,08	0,64	-1	1
Decke GEG	-0,80	0,81	-2	0
Decke 1,4 W/m²K	-1,20	0,89	-3	0
Decke Kühlen	-0,13	0,68	-1	1
Wand GEG	-0,14	1,03	-2	2
Wand 1,4 W/m²K	-0,27	0,91	-3	1
Wand Kühlen	0,12	0,67	-1	2

Betrachtet man die abgegebenen Empfindungen differenziert nach biologischem Geschlecht (Abbildung 60) der Testpersonen lässt sich keine Tendenz feststellen. Die Unterschiede zwischen einzelnen Personen dominierten hier. Aufgrund dieser starken Abweichungen der Personen voneinander wird eine differenzierte Betrachtung nach biologischem Geschlecht für die restlichen Betrachtungen verworfen.

Abbildung 60

Gesamelte abgebende Empfindungsbewertungen der Testpersonen in allen Szenarien (unterschiedliche Marker) sortiert nach biologisch weiblich (W) und biologisch männlich (M)



Grundsätzlich muss bei allen durchgeführten Situationen berücksichtigt werden, dass die Experimente alle im Sommer bei warmen Außenlufttemperaturen durchgeführt wurden. Dadurch kann der Effekt entstanden sein, dass die Heizszenarien möglicherweise behaglicher bewertet wurden, da die Raumlufttemperatur wesentlich geringer war und die Testpersonen die Abkühlung als angenehm empfanden. Außerdem waren die Testpersonen, die am ersten Versuch des Tages teilnahmen, deutlich geringeren Außenlufttemperaturen ausgesetzt als die Testpersonen, die am letzten Versuch teilnahmen. Für zukünftige Untersuchungen muss berücksichtigt werden, dass Heizszenarien im Optimalfall auch bei entsprechenden Außenlufttemperaturen untersucht werden. Darüber hinaus ist die Situation mit dem sich stark erheizenden Fenster ebenfalls nicht ideal. Bei weiteren Untersuchungen sollte über einen außenliegenden Sonnenschutz nachgedacht werden. Eine weitere Komplikation stellt die Akklimatisierungsphase dar. Diese sollte in weiteren Versuchen in einer kontrollierten, gleichmäßigeren Umgebung durchgeführt werden.

Vergleich berechnete und erfragte Behaglichkeitsbewertung

Zur Erfassung der thermophysiologischen Reaktionen unter verschiedenen Randbedingungen wurde die Hauttemperatur an insgesamt 19 Körperstellen bei den Testpersonen gemessen. Abbildung 61 zeigt die ermittelten Setpointtemperaturen der Testpersonen. Bei Person 10 wurde kein Setpoint erreicht. Die Temperaturen wurden hier zuerst als zu kalt, dann als zu warm aber nie neutral bewertet. Die Setpointtemperatur beschreibt den Mittelwert der Hauttemperaturen über den Zeitraum, in dem die Testperson das Raumklima während der Setpointversuche als neutral bewerteten.

Die gemessenen Setpointtemperaturen bewegen sich überwiegend im Bereich zwischen 30 °C und 35 °C. Die höchsten Temperaturen wurden konsistent an Stirn und Wange sowie zentral gelegenen Körperstellen wie Brust und Bauch beobachtet. Diese Bereiche sind durch eine vergleichsweise gute Durchblutung gekennzeichnet und liegen näher am Körperkern, wodurch höhere Temperaturen zu erwarten sind.

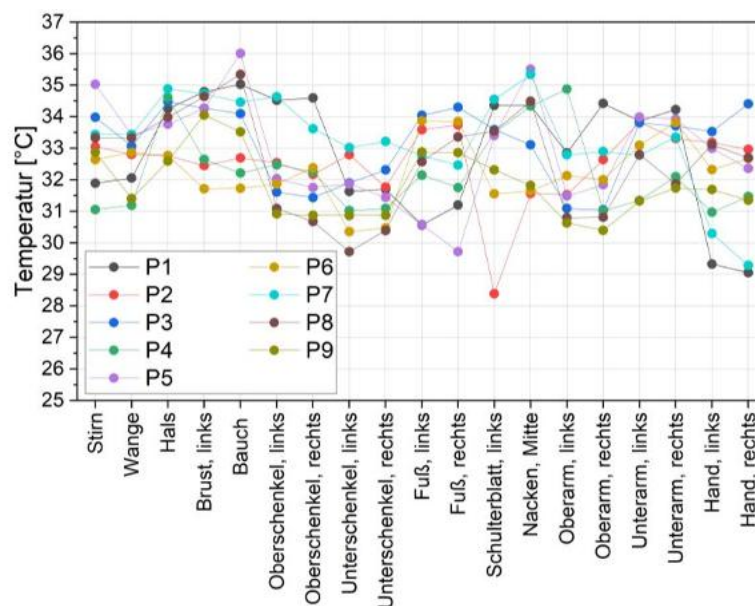
Im Gegensatz dazu zeigen periphere Regionen, insbesondere die Unterschenkel sowie die Füße, tendenziell niedrigere Hauttemperaturen. Auch an den Schulterblättern und im Nackenbereich wurden häufig

fig niedrigere Werte gemessen. Diese Unterschiede spiegeln typische Muster der Wärmeverteilung wider, bei denen der Körper unter thermoregulatorischen Gesichtspunkten periphere Regionen stärker abkühlt, um Wärmeverluste zu reduzieren.

Besonders auffällig ist eine stark abweichende Einzelmessung bei Testperson P2 im Bereich des Schulterblatts, wo eine Temperatur unterhalb von 28 °C registriert wurde. Diese Abweichung könnte auf lokale Kühleffekte, eine individuelle Reaktion oder potenzielle Messfehler oder einen abgelösten Sensor zurückzuführen sein. Insgesamt zeigen die Kurvenverläufe eine gewisse interindividuelle Streuung. Während Person P7 insgesamt ein relativ hohes Temperaturniveau über nahezu alle Messstellen hinweg aufweist, liegen bei P5 und P9 insbesondere in den unteren Extremitäten niedrigere Temperaturen vor. Diese Unterschiede können durch individuelle Faktoren wie Durchblutung, Stoffwechselrate, körperliche Aktivität oder thermische Vorgeschichte vor der Messung bedingt sein. P9 gab an, vor dem Setpointversuch schlechter geschlafen zu haben als gewöhnlich und merkte ein kaltes Empfinden in der Nachbefragung an. Bei beiden Testpersonen handelt es sich um biologisch weibliche Personen.

Die Temperaturverläufe innerhalb einzelner Personen sind größtenteils konsistent. Nur vereinzelt zeigen sich sprunghafte Änderungen zwischen benachbarten Körperstellen, etwa bei P1 und P2, was möglicherweise auf lokale Einflussfaktoren oder sensorbedingte Messungenauigkeiten zurückzuführen ist. Ein weiterer möglicher Einflussfaktor ist die Unsicherheit der Testpersonen gegenüber der Bewertung.

Abbildung 61
Setpointtemperaturen der einzelnen Testpersonen



In Abbildung 62 sind die Hauttemperaturen der einzelnen Körperteile für die jeweiligen Testpersonen bei „Fußbodenheizung GEG“ gegeben. Über die Hauttemperaturen und Setpointtemperaturen kann über das UCB-Modell das Empfinden und die Behaglichkeit berechnet werden. Die Ergebnisse aus Umfrage sowie berechnetem Empfinden nach PMV-Modell und UCB-Modell sind in Abbildung 63 links dargestellt und die Ergebnisse der Behaglichkeit in Abbildung 63 rechts. Für das Szenario „Fußboden GEG“ zeigt sich, dass das subjektive thermische Empfinden der Testpersonen in der Regel etwas wärmer wahrgenommen wurde als vom PMV-Modell berechnet. Dieser Trend ist konsistent über die Mehrheit der Versuchspersonen hinweg und weist auf eine tendenzielle Überschätzung der thermischen Neutralität im Vergleich zur modellbasierten Vorhersage hin.

Hinsichtlich des Empfindens nach UCB-Modell zeigen sich bei P1 und P2 sehr starke Abweichungen zwischen Berechnung und Umfrage. Diese sind durch Extremwerte in den lokalen Hauttemperaturen zu

erklären. Bei Testperson P1 und P2 zeigen sich im Vergleich zu den anderen Personen deutliche Abweichungen. Bei P1 wurde insbesondere im Bereich der Wange deutlich niedrigere und beim rechten Oberarm eine deutlich wärmere Temperatur gemessen als bei den restlichen Personen. Bei P2 war die Brustregion betroffen, hier ist der Sensor während des Versuchsdurchlauf verrutscht, was dazu führt, dass keine exakte Messung durchgeführt werden konnte. Zusätzlich ist bei P2 der Setpoint des linken Schulterblatts außergewöhnlich gering, was zu einem ungünstig gesetzten Referenzpunkt im Modell führen kann.

Auch in der Bewertung der thermischen Behaglichkeit zeigt sich eine Diskrepanz: Die subjektive Behaglichkeit wurde deutlich wärmer angegeben als es die rechnerische Bewertung anhand des UCB-Modells erwarten ließ.

Abbildung 62
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Fußboden GEG

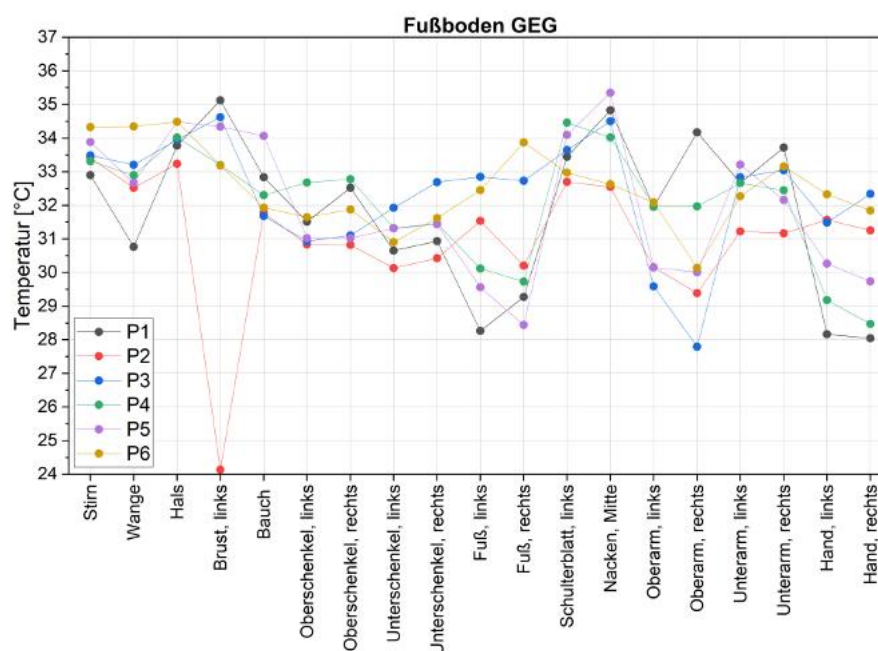
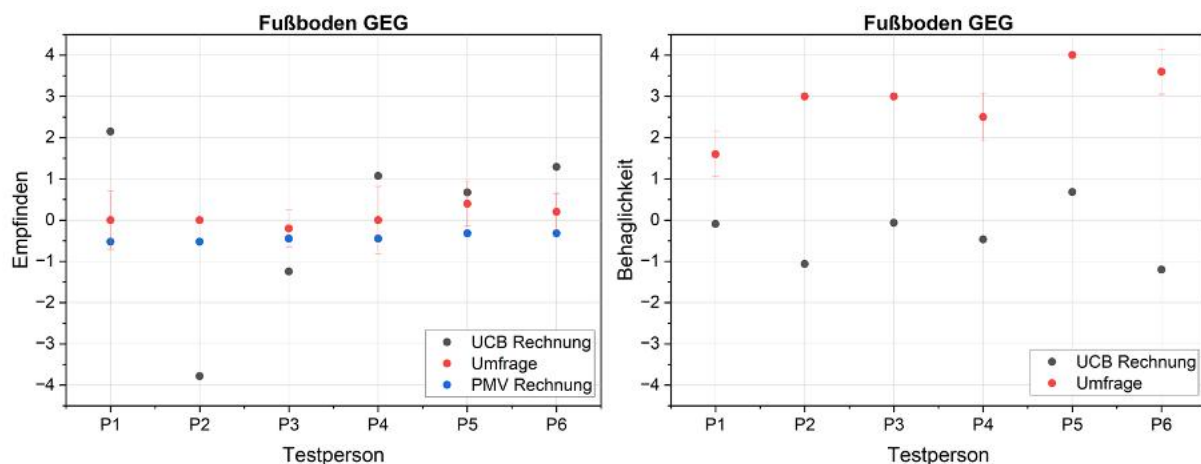


Abbildung 63
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Fußboden GEG



In Abbildung 64 und Abbildung 65 sind die Ergebnisse für das Szenario „Fußboden 1,4“ dargestellt. Hier zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie zuvor beim „Fußboden GEG“. Das Empfinden zeigt wie zuvor bei P3 eine gute Übereinstimmung zwischen berechnetem und erfragtem Wert. Jedoch weicht das erfragte Empfinden und das berechnete Empfinden nach UCB-Modell bei P2 stark voneinander ab. Da die gleichen Setpoints bei jedem Szenario verwendet werden, kommt es bei P2 auch in diesem Szenario zu Abweichungen. Eine gute Übereinstimmung wird nur bei P3 erreicht. Hier sind sowohl PMV, als auch Empfinden nach UCB und erfragtes Empfinden nahezu identisch. Sonst kommt es wiederum zu starken Abweichungen. Es lässt sich nicht feststellen, ob das UCB das Empfinden immer wärmer oder kälter voraussagt, da sowohl negative als auch positive Abweichungen auftreten. Die Abweichungen bei der thermischen Behaglichkeit bleiben hoch.

Abbildung 64
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Fußboden1,4

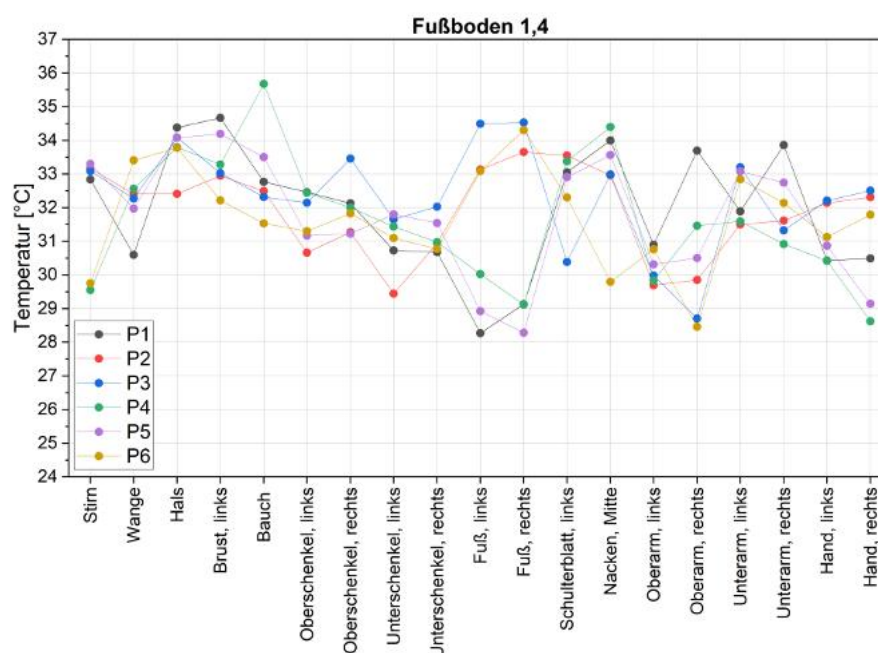
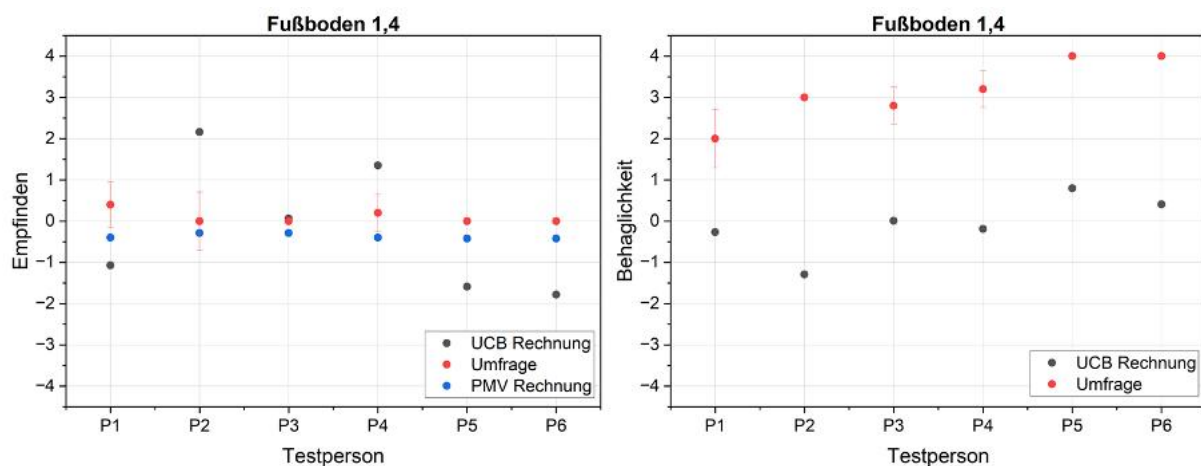


Abbildung 65
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Fußboden 1,4



Bei dem Szenario „Fußboden Kühlen“ (Abbildung 66, Abbildung 67) zeigen sich beim Empfinden nach UCB-Modell und erfragtem Empfinden höhere Übereinstimmungen als bei den Untersuchungen zuvor. Außer bei P1 wird das Empfinden nach UCB etwas wärmer vorhergesagt, als die Personen es angegeben haben. Bei der Behaglichkeit sind auch hier noch sehr starke Abweichungen zu erkennen. Das UCB-Modell sagt die untersuchte Situation für fast alle Personen als etwas unbehaglich voraus. Die Testpersonen selbst bewerteten das Szenario aber durchweg als behaglich und teilweise sogar sehr behaglich.

Abbildung 66
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Fußboden kühlen

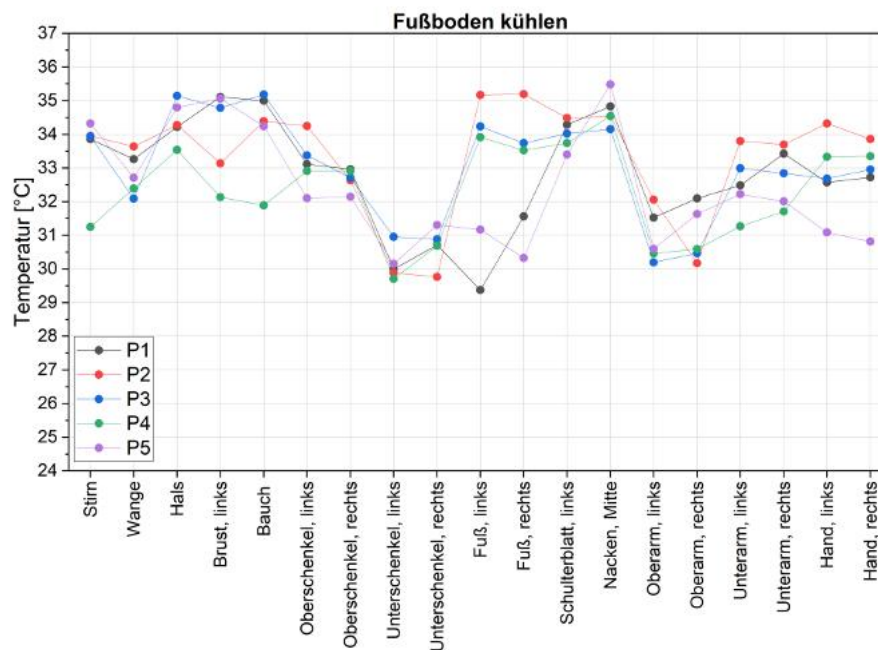
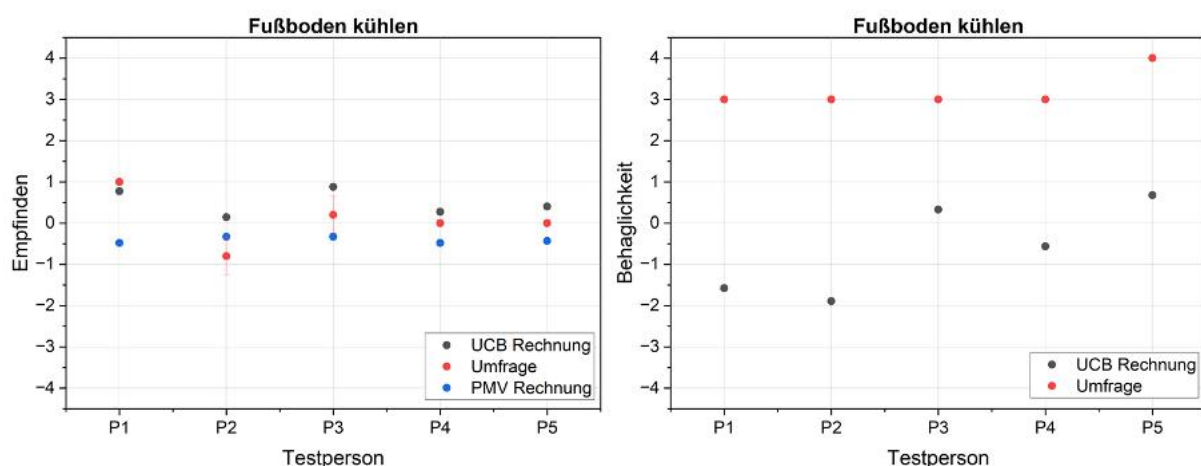


Abbildung 67
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Fußboden kühlen



Bei dem Szenario der „Deckenheizung GEG“ (Abbildung 63, Abbildung 64) konnten weniger Personen für die rechnerische Auswertung nach UCB-Modell herangezogen werden. Das ist zum einen deshalb der Fall, weil bei P3, P6 und P7 der Sensor am linken Fuß ausgefallen ist. Deshalb liegen hier keine Haut-

temperaturen vor. Für die Auswertung hätte entweder das Berechnungsmodell angepasst werden müssen, da sich ja die Anzahl der Körperteile ändert, oder es hätte eine Temperatur angenommen werden müssen. Dieser Schritt wurde an diesem Punkt der Auswertung verworfen, da schon bei den zuvor betrachteten Szenarien große Abweichungen auftraten. Für P10 wurden keine Setpoints erreicht, weshalb hier keine UCB-Auswertung erfolgen konnte. Bei P8 und P9 treten deutliche Abweichungen auf, das Empfinden nach UCB wird deutlich wärmer vorhergesagt. Das deckt sich mit den erhöhten Temperaturen des Bauchs bei beiden Personen im Vergleich zu den restlichen Personen. P7 und P8 gaben zudem an „ein bisschen“ müde zu sein, was das kühlere Empfinden, vor allem bei P8, erklären könnte.

Abbildung 68
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Decke GEG

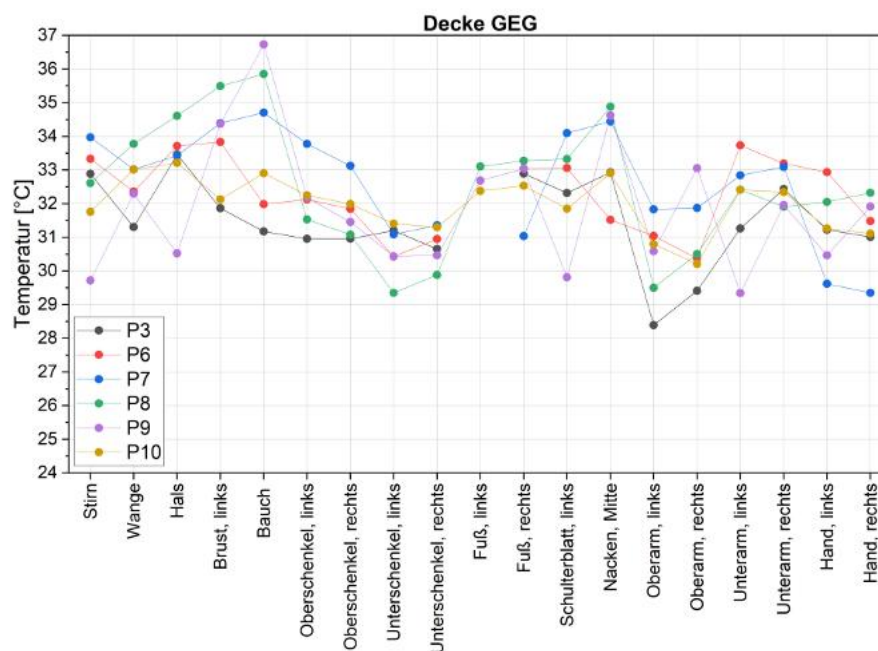
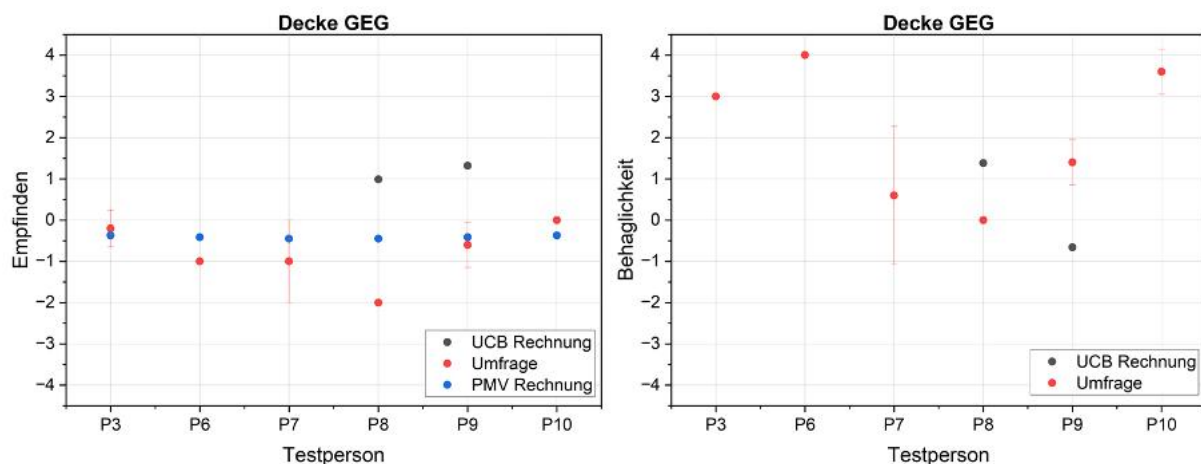


Abbildung 69
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Decke GEG



Die Ergebnisse der Deckenkühlung (Abbildung 70, Abbildung 71) zeigen hinsichtlich der Abweichungen ein ähnliches Bild wie die Szenarien zuvor. Die starken Abweichungen bei P7 lassen sich durch die niedrigen Temperaturen der Hände erklären. Auch hier sind sehr starke Abweichungen bei der Behaglichkeit zu sehen.

Abbildung 70
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Decke kühlen

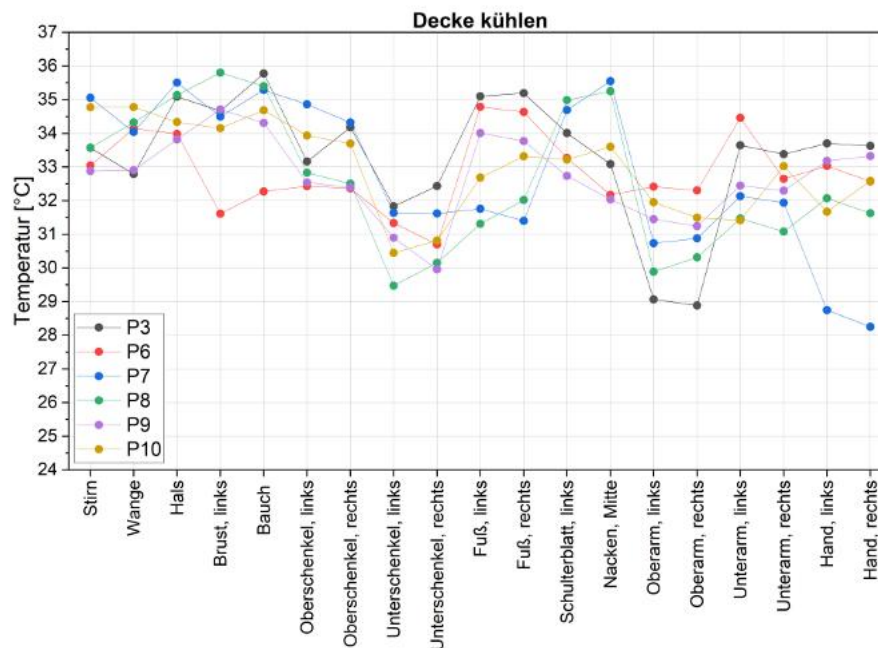
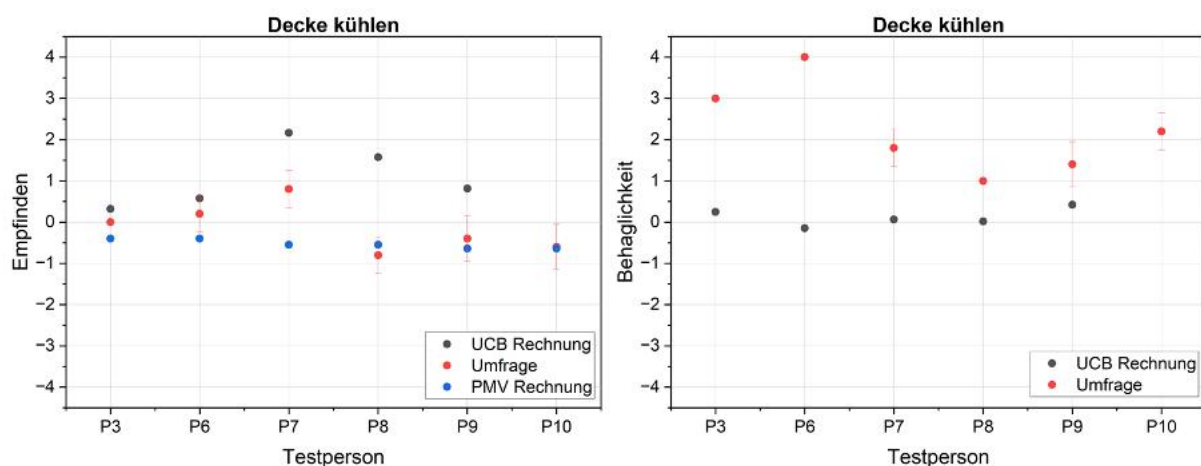


Abbildung 71
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Decke kühlen



Bei allen Szenarien mit Wandtemperierung (Abbildung 72-Abbildung 77) zeigt sich im Vergleich zwischen den Modellen und den Umfrageergebnissen wie auch schon zuvor sehr starke Abweichungen sowohl beim Empfinden als auch bei der Behaglichkeit. Hinsichtlich des Empfindens zeigt sich nicht einheitlich, ob die erfragten Empfindungen immer höher oder niedriger sind als die berechneten Werte. Die Behaglichkeit wird bis auf zwei Ausnahmen (P1 „Wand GEG“, P7 „Wand 1,4“) von den Testpersonen

immer höher angegeben als das UCB-Modell vorhersagt. Obwohl während der Versuche mehrere Personen angaben, „ein bisschen“ müde zu sein und eine Person (P2, „Wand Kühlen“) sogar deutlich zu wenig Schlaf hatte, lässt sich das in den Ergebnissen nicht nachvollziehen. Aufgrund fehlender Messungen sind die Daten bei P4 für dieses Szenario nicht dargestellt.

Abbildung 72
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Wand GEG

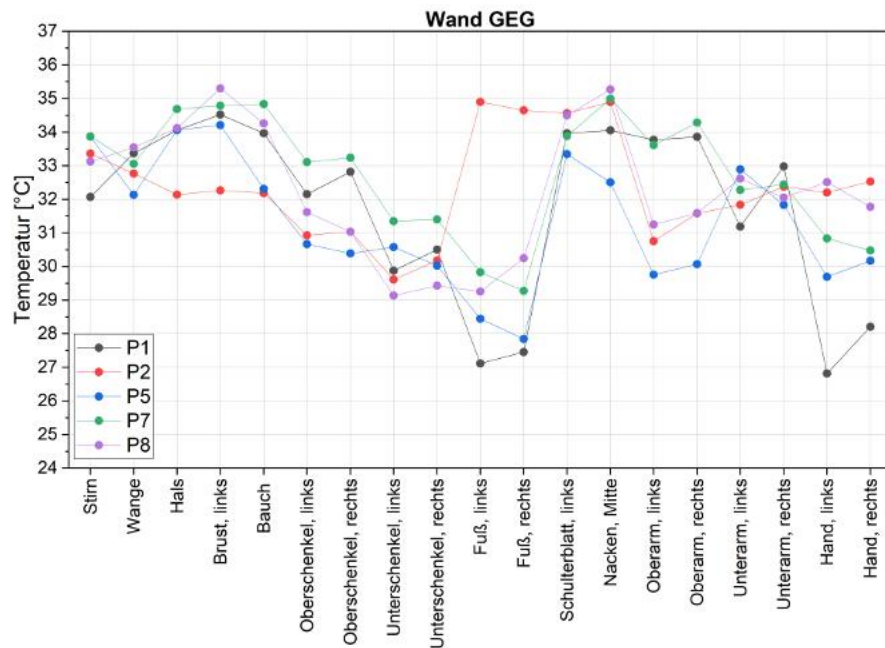


Abbildung 73
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Wand GEG

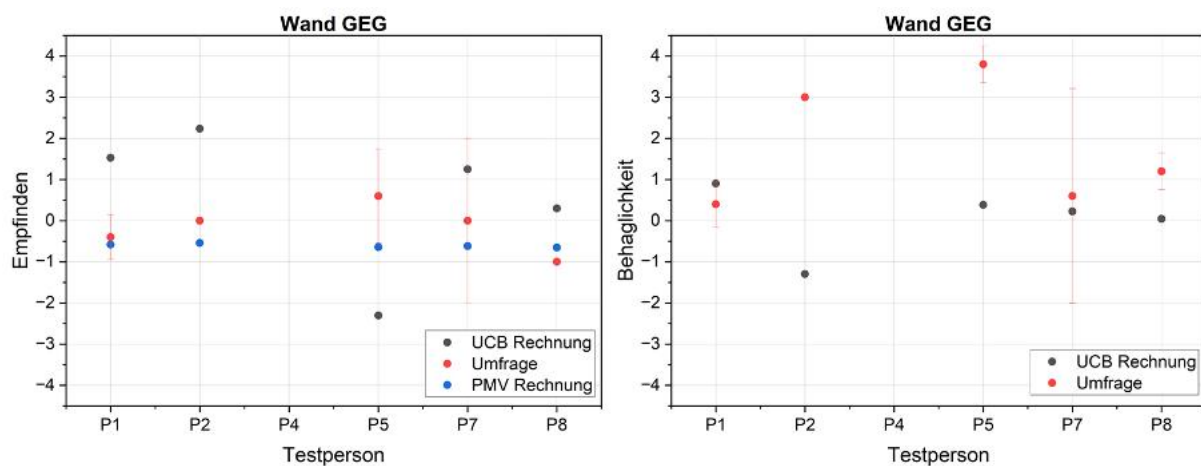


Abbildung 74
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Wand 1,4

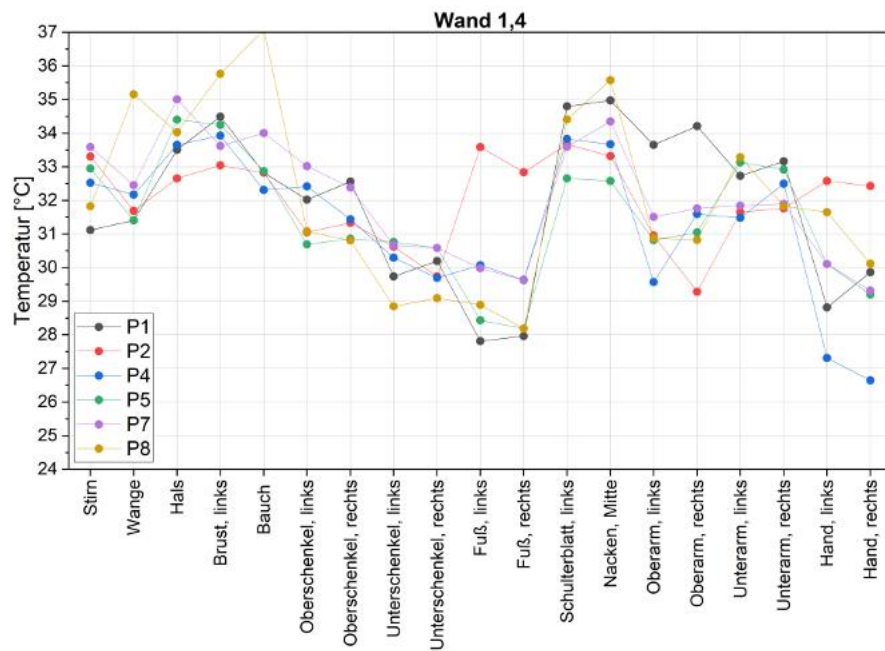


Abbildung 75
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Wand 1,4

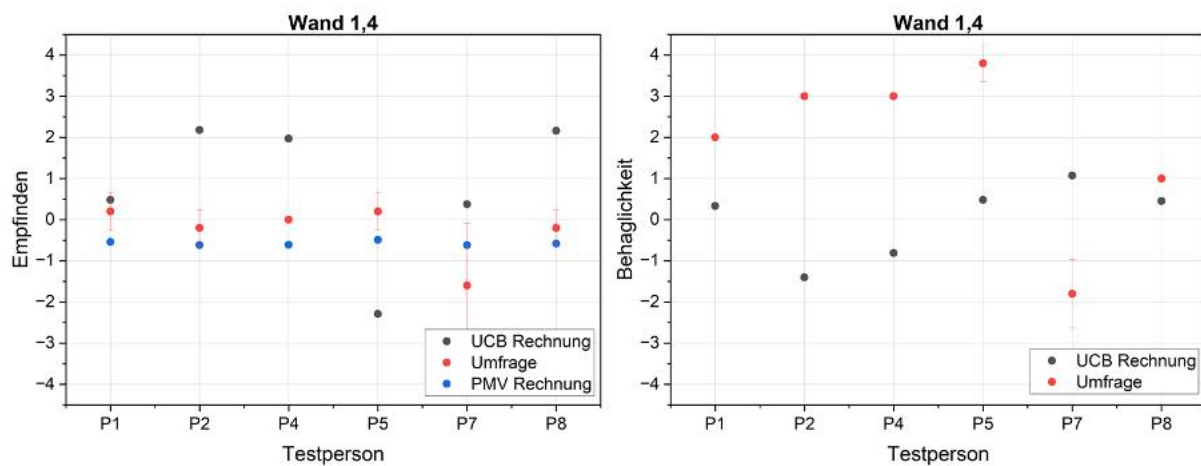


Abbildung 76
mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Wand kühlen

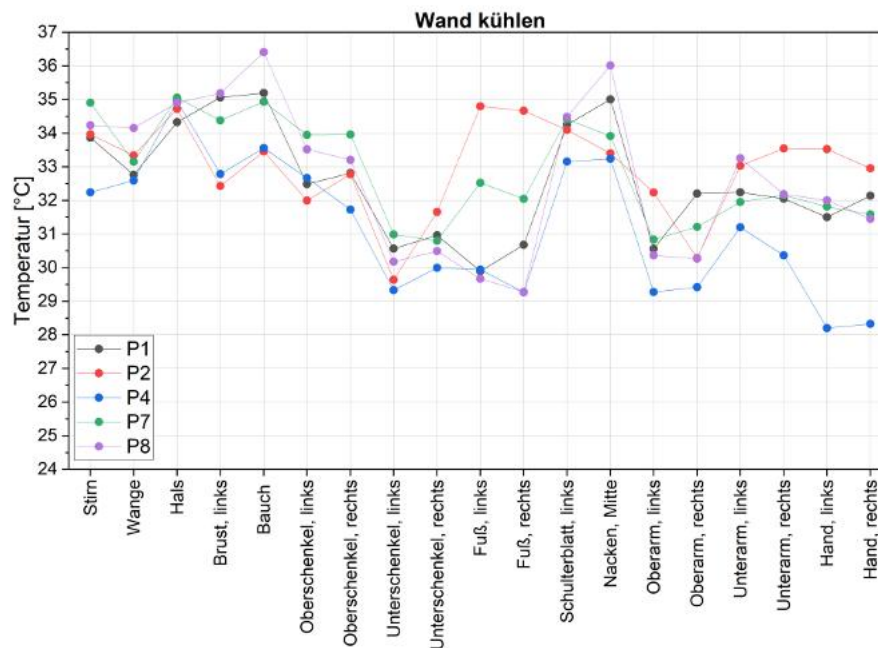
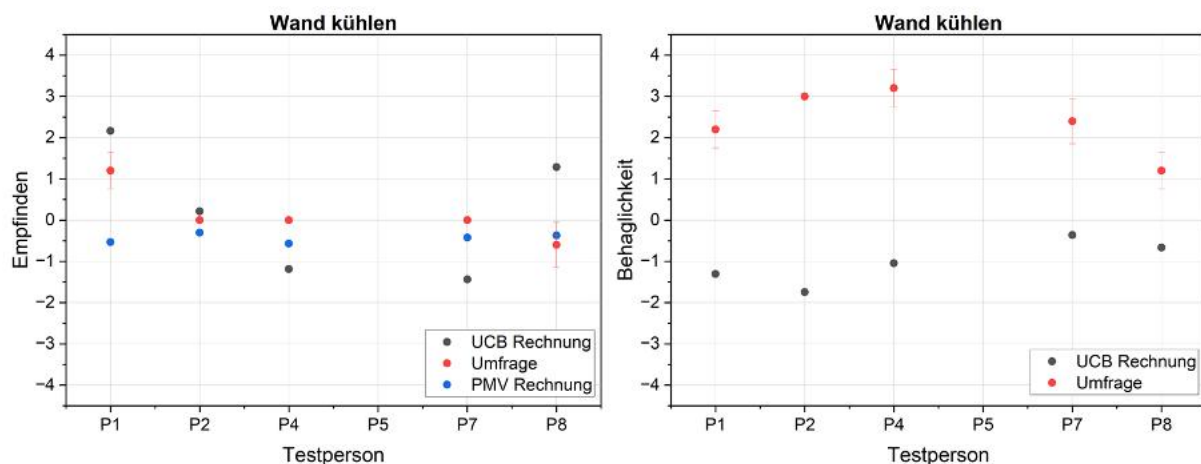


Abbildung 77
Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Wand kühlen



Die ersten Vergleiche zwischen der mittels UCB-Modell berechneten Vorhersagen und den subjektiv erfassten Nutzerbewertungen zeigen teils erhebliche Abweichungen. Insbesondere bei der thermischen Behaglichkeit liegt die erfragte Bewertung systematisch über den berechneten Werten. Diese Diskrepanz deutet darauf hin, dass das Modell die tatsächliche subjektive Wahrnehmung in diesen Fällen nicht vollständig abbildet. Die Behaglichkeit wurde beim UCB-Modell nach „Rule 2“ (vgl. Abschnitt 5.1.4) berechnet, da die Ergebnisse plausibler waren als nach „Rule 1“. Unter Verwendung von „Rule 2“ werden nur die zwei minimalen lokalen Behaglichkeiten einbezogen. Rule 2 berücksichtigt neben den zwei minimalen auch den maximalen lokalen Behaglichkeitswert. Nach Rule 1 wären die Voraussagen der Behaglichkeit noch unbehaglicher.

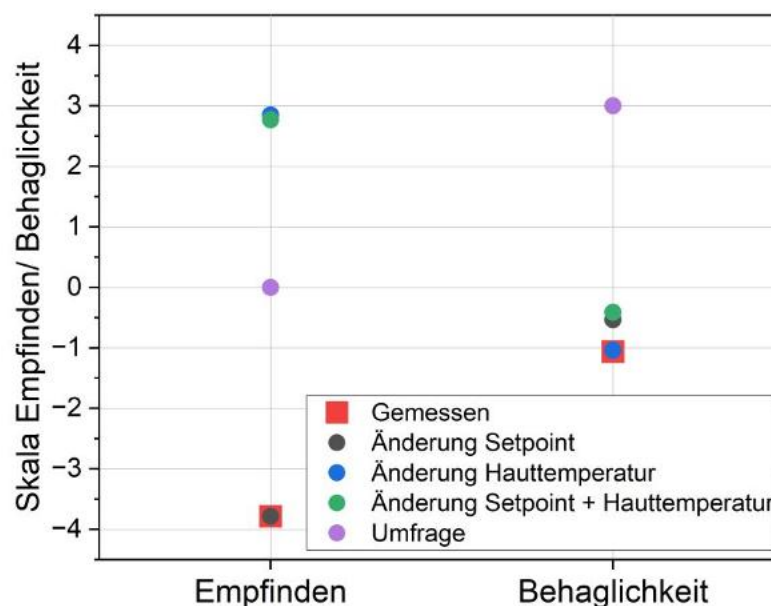
Beim thermischen Empfinden hingegen zeigen sich uneinheitliche Ergebnisse: In einigen Fällen stimmen berechnete und subjektiv empfundene Werte gut überein, in anderen hingegen kommt es zu signifikanten Abweichungen. Als zentrale Einflussgrößen lassen sich hierbei die Setpointtemperaturen und insbesondere die lokal gemessenen Hauttemperaturen identifizieren. Gerade bei fehlerhaften oder unplausiblen Temperaturmesswerten – etwa durch Messabweichungen oder unzureichenden Sensorenkontakt – verliert der Datensatz deutlich an Aussagekraft. In solchen Fällen ist eine verlässliche Bewertung des thermischen Komforts nahezu ausgeschlossen, was die Bedeutung einer hohen Messqualität und systematischen Plausibilitätsprüfung im Rahmen thermophysiologischer Studien unterstreicht.

Einfluss der gemessenen Temperaturen auf das UCB-Modell

Durch diesen ersten Vergleich wurde deutlich, dass der Einfluss der Setpointtemperaturen und Hauttemperaturen genauer untersucht werden muss. Dies wurde anhand P2 beim Szenario „Fußboden GEG“ durchgeführt. Hier lag zum einen eine extreme Abweichung der Setpointtemperatur am linken Schulterblatt als auch eine starke Abweichung der Hauttemperatur an der Brust im Vergleich zu den restlichen Testpersonen auf. Um den Einfluss der Setpointtemperatur zu untersuchen, wurde die gemessene Setpointtemperatur am Schulterblatt von P2 durch die Setpointtemperatur von P6 ersetzt. Diese Person hatte im Mittel die geringste Abweichung der gesamten Setpointtemperaturen von denen, die bei P2 gemessen wurden. Auf diese Weise wurde auch eine neue Hauttemperatur für das Schulterblatt bestimmt. Die neue Hauttemperatur der Brust wurde durch die von P3 ersetzt. Abbildung 78 zeigt, dass eine Anpassung des Schulterblatt-Setpoints zu keiner Änderung beim Empfinden führt. Das wird dadurch verursacht, dass das lokale Empfinden der Brust so dominiert, dass sich das globale Empfinden nur aus dieser Bewertung zusammensetzt. Dementsprechend führt eine Anpassung der Hauttemperatur der Brust dazu, dass das Empfinden deutlich wärmer vorhergesagt wird. Wird nun noch der Setpoint des Schulterblatts angepasst, führt dies zu minimalen Änderungen des vorausgesagten Empfindens. Durch keine der Anpassungen konnte eine Übereinstimmung mit dem bewerteten Empfinden erreicht werden. Hinsichtlich der vorausgesagten Behaglichkeit führt die Anpassung von Setpoint- und Hauttemperatur in dem von uns beobachteten Fall nicht zu wesentlichen Veränderungen. Diese werden immer noch deutlich schlechter vorhergesagt, als die Testperson tatsächlich angegeben hat.

Abbildung 78

Änderungen im Empfinden und der Behaglichkeit bei P2 durch Anpassung von Setpointtemperatur und/ oder Hauttemperatur



Die Anpassungen haben gezeigt, dass die Vorhersage des UCB-Modells stärker von den Hauttemperaturen abhängig ist als die Beurteilungen der Testpersonen. Allerdings kam es bei den durchgeführten Versuchen zeitweise zu Problemen mit der Erfassung. Durch das Schwitzen bei manchen Testpersonen hielten die Sensoren nicht während des gesamten Hautversuchs zuverlässig auf der Haut und mussten nachträglich nochmals befestigt werden. Das führt allerdings auch zum Verrutschen der Sensoren oder den zeitweisen Verlust des Kontakts von Sensor zur Haut. Diese Problematik trat auch beim Erfassen der Setpointtemperaturen auf. Außerdem wurde bei den hier durchgeführten Testpersonenversuchen lediglich der Setpoint bei langer Bekleidung erfasst. Nach derzeitigem Stand sollte in zukünftigen Untersuchungen der Setpoint für die jeweilige Bekleidungssituation bestimmt werden. Darüber hinaus könnte auch berücksichtigt werden, wie während der Setpointversuche die Temperatur gesteigert wird. In den hier gezeigten Untersuchungen wurde eine homogene Temperaturerhöhung durch die Anpassung aller Wandflächen der Decke und des Fußbodens erzielt. In weiteren Untersuchungen könnte berücksichtigt werden, dass der Setpoint auch im gleichen Szenario erfasst wird. Wenn beispielsweise eine Wandheizung untersucht wird, könnte der Setpoint auch unter Situation mit Wandheizung gemessen werden.

Anpassung des UCB-Modells

Aufgrund der großen Abweichungen der experimentellen Ergebnisse mit den berechneten Vorhersagen wurde in Folge untersucht, ob eine Vereinfachung des UCB-Modells eine bessere Übereinstimmung mit den erfolgten Testpersonenversuchen ergeben kann. Im Rahmen der vorgenommenen Anpassungen wurde die Anzahl der analysierten Körperzonen auf sechs reduziert. Diese waren Kopf, Torso, linker und rechter Arm sowie linkes und rechtes Bein. Die Messwerte der Körpersegmente wurden für die Zonen zu Mittelwerten zusammengefasst, um eine vereinfachte und dennoch aussagekräftige Darstellung zu ermöglichen. So setzt sich die Zone Kopf aus Stirn, Wange, Hals und Nacken zusammen, während der Torso die Bereiche Brust, Bauch und Schulterblatt umfasst. Die Extremitäten wurden ebenfalls gebündelt: Die Arme besteht aus jeweils linkem bzw. rechtem Oberarm, Unterarm und Hand, die Beine aus Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß beider Beine.

Für die Bewertung des thermischen Empfindens und der Behaglichkeit wurden die Koeffizienten des UCB-Modells angepasst. Bei der Berechnung des Empfindens wurden die minimalen Koeffizienten und bei Berechnung der Behaglichkeit die maximalen Koeffizienten aller in der Zone beteiligten Körperteile verwendet. Die grundlegende Berechnungsmethodik des Modells blieb unverändert. Auch die Ermittlung der mittleren Hauttemperatur erfolgt weiterhin nach der etablierten Gewichtung nach Hardy und DuBois. Die globale thermische Behaglichkeit wird zum einen weiterhin nach Rule 2 berechnet, aber auch durch das arithmetische Mittel der lokal berechneten Behaglichkeitswerte bestimmt.

In Abbildung 79 sind die Ergebnisse für das Empfinden (links) und die Behaglichkeit (rechts) sowohl für die ursprüngliche UCB-Modell Berechnung als auch für die Berechnung nach der Anpassung dargestellt. Außerdem sind auch die Umfrageergebnisse aufgetragen, um die Übereinstimmung der Anpassung mit den subjektiven Bewertungen abzugleichen. Der Vergleich ist hier für das Szenario „Fußboden GEG heizen“ dargestellt. Es zeigt sich, dass die Empfindungen vor allem bei den Testpersonen, bei denen zuvor starke Abweichungen zwischen Rechnung und Bewertung auftraten (P1 und P2), mit der Anpassung bessere Übereinstimmungen erzielt werden konnten. Allerdings zeigt die Anpassung keine konsistent bessere Übereinstimmung, da bspw. bei P5 und P6 größere Abweichungen vom erfragten Wert entstehen. In Tabelle 24 sind die Abweichungen gegeben. Im Mittel weichen die angepassten Empfindungen etwas stärker von den Erfragten ab. Die Abweichungen sind außerdem im Mittel negativ, also werden die Empfindungen von den Testpersonen wärmer angegeben als berechnet. Hinsichtlich der Behaglichkeit weisen die angepassten Bewertungen jedoch durchgehend eine bessere Übereinstimmung mit den Umfragewerten auf. Die Abweichungen sind vor allem dann deutlich geringer, wenn die globale Behaglichkeit aus dem Mittelwert gebildet wird (Tabelle 25).

Abbildung 79

Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach UCB-Modell und UCB-Modell mit Anpassungen für das Szenario Fußboden GEG

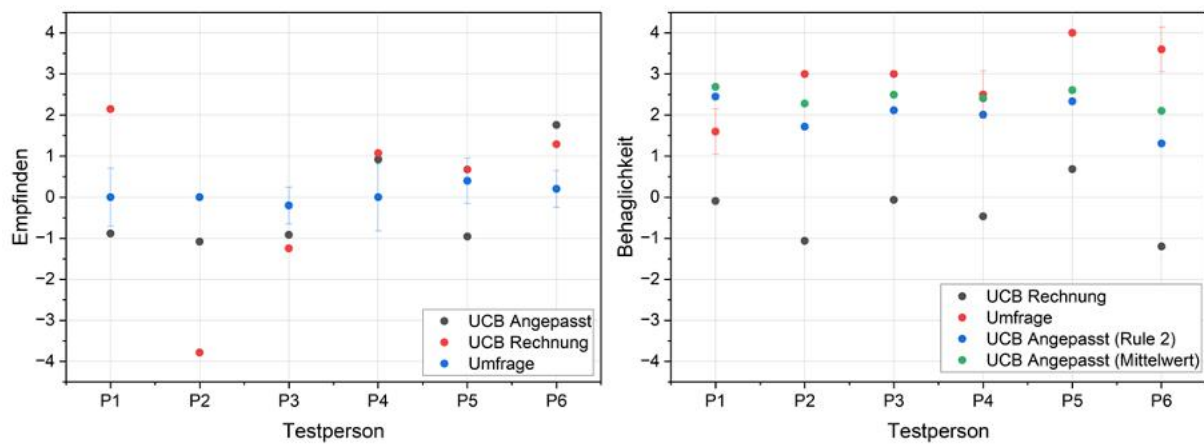


Tabelle 24

Errechnete und erfragte globalen Empfindungen für einzelne Testpersonen und Abweichung vor und nach der Anpassung von Rechnung zur Umfrageergebnissen

	Rechnung	Umfrage	Anpassung	Abweichung Rechnung Umfrage	Abweichung Anpassung Umfrage
P1	2,1	0	-0,9	2,1	-0,9
P2	-3,8	0	-1,1	-3,8	-1,1
P3	-1,2	-0,2	-0,9	-1	-0,7
P4	1,1	0	0,9	1,1	0,9
P5	0,7	0,4	-1,0	0,3	-1,4
P6	1,3	0,2	1,8	1,1	1,6
Durchschnitt				-0,03	-0,27

Tabelle 25

Errechnete und erfragte globalen Behaglichkeiten für einzelne Testpersonen und Abweichung vor und nach der Anpassung von Rechnung zur Umfrageergebnissen

	Rechnung	Umfrage	Anpassung (Rule 2)	Anpassung (MW)	Abweichung Rechnung Umfrage	Abweichung Anpassung Umfrage (Rule 2)	Abweichung Anpassung Umfrage (MW)
P1	-0,1	1,6	2,4	2,7	-1,7	0,8	1,1
P2	-1,1	3	1,7	2,3	-4,1	-1,3	-0,7
P3	-0,1	3	2,1	2,5	-3,1	-0,9	-0,5
P4	-0,5	2,5	2,0	2,4	-3	-0,5	-0,1
P5	0,7	4	2,3	2,6	-3,3	-1,7	-1,4
P6	-1,2	3,6	1,3	2,1	-4,8	-2,3	-1,5
Durchschnitt					-3,3	-1,0	-0,5

Trotz der vorgenommenen Anpassungen bestehen weiterhin kritische Aspekte hinsichtlich der methodischen Stringenz. Insbesondere erscheint die Modifikation der im UCB-Modell berücksichtigten Koeffizienten in ihrer derzeitigen Form teilweise willkürlich. Die Festlegung von Minimal- bzw. Maximalwerten für das thermische Empfinden bzw. die Behaglichkeit innerhalb zusammengefasster Körperzonen bedarf einer stärkeren empirischen oder theoretischen Grundlage, welche u. a. durch weitere Testpersonenversuche geschaffen werden könnte.

Ein weiterer kritischer Punkt betrifft die Berechnung des globalen thermischen Empfindens, insbesondere im Kontext der Anwendung des Gradual Models (vgl. 5.1.4). Dieses Modell basiert auf der Berücksichtigung einer größeren Anzahl einzelner Körperstellen, um Intervalle für die Berechnung der globalen Bewertung zu definieren. Die Reduktion auf lediglich sechs Zonen könnte die Gültigkeit dieses Modells infrage stellen. Außerdem ist es im ursprünglichen Modell möglich, wenn extreme lokale Empfindungen an beiden Füßen oder Händen auftreten, nur jeweils eine davon bei der Gesamtbewertung zu berücksichtigen. Diese Art der differenzierten Betrachtung ist im vorliegenden Ansatz aufgrund der angepassten Zonen nicht mehr möglich, was zu Verzerrungen in der Ermittlung der globalen Empfindung führen könnte.

Für weitere Schritte bei der Anpassung des Modells an asymmetrische Strahlungszustände wäre es auch interessant, zu untersuchen, ob die Einteilung des menschlichen Körpers in sechs Zonen ausreichend ist, oder ob – vor allem unter dem Gesichtspunkt der Strahlungsasymmetrie – beispielsweise Kopf und Torso noch in vorne und hinten bzw. links und rechts unterteilt werden müssen. Um einen solchen Modellansatz zu entwickeln, sind jedoch wesentlich mehr Testpersonenversuche notwendig, als im Rahmen dieses Projekts stattfinden konnten.

5.2 Beschreibung und Begründung von möglichen Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Antrag

Insgesamt nahmen an den Testpersonenversuchen 10 Testpersonen teil. Geplant war ursprünglich, Untersuchungen mit 20 Testpersonen durchzuführen. Jedoch gestaltete sich die Rekrutierung der Testper-

sonen aus zwei Gründen schwierig. Zum einen wurde ein relativ enger Anforderungsrahmen für die Teilnahme an den Versuchen festgelegt. Auswahlkriterium war das Alter der Testperson zwischen 20 und 26 Jahren. Sie mussten gesund sein und zur Untersuchung des Einflusses des biologischen Geschlechts sollten in gleicher Anzahl biologisch weibliche und biologisch männliche Testpersonen teilnehmen. Zum anderen wurde im Projektverlauf deutlich, dass der Untersuchungsrahmen im Vergleich zu den Planungen bei Antragsstellung größer gefasst werden musste, um bspw. auch den Kühlfall abzudecken. Damit einhergehend ergaben sich große zeitliche Aufwendungen für jede Testperson (obwohl nicht jede Person jedem Szenario ausgesetzt wurde). So wurde entschieden, die Anzahl der Testpersonen auf 10 zu reduzieren und dafür jede Testperson immer allen drei Szenarien (Heizung GEG, Heizung 1,4 und Kühlung GEG) eines Flächentemperierungstyps (Wand, Decke oder Fußboden) auszusetzen, um direkte Vergleiche der Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien zu ermöglichen. Durch das mehrfache Testen lassen sich die unterschiedlichen Versuchsergebnisse besser miteinander vergleichen, da Einflüsse wie die persönliche Präferenz beim thermischen Empfinden dadurch einen geringeren Einfluss haben. Trotz der niedrigeren Anzahl an Testpersonen konnten 64 Testpersonenversuche durchgeführt werden.

Aufgrund der unzureichenden Abbildung der Testpersonenversuche im Simulationsmodell des Programm TAItherm wurden keine weiteren Situationen simuliert. Die Validierung und ggf. Anpassung der Simulation könnte in einem Folgeprojekt untersucht werden.

6 Ergebnisse

6.1 Zusammenführung der Zwischenergebnisse zum Endergebnis

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein umfassender methodischer Ansatz verfolgt, der simulative, experimentelle sowie subjektive Untersuchungen kombinierte. Ziel war es, den Einfluss von Wandheiz- und -kühlssystemen auf die thermische Behaglichkeit sowie das Energieeinsparpotenzial dieser Systeme detailliert zu analysieren sowie bestehende Modelle zur Eignung der Vorhersage der thermischen Behaglichkeit bei Strahlungsasymmetrie zu untersuchen.

Im Rahmen der durchgeführten Recherche wurde der bestehende Forschungsbedarf im Bereich von Wandtemperiersystemen erneut deutlich herausgestellt. Die Analyse bestehender Modelle zur Bewertung des thermischen Komforts offenbarte grundlegende Unterschiede in deren Methodik und Anwendbarkeit. Das weit verbreitete PMV-Modell wurde in der Literatur wiederholt kritisch bewertet. Die Kritikpunkte betreffen insbesondere die eingeschränkte Anwendbarkeit in nicht idealisierten Umgebungen sowie die mangelnde Berücksichtigung individueller thermischer Anpassungsmechanismen. Dem gegenüber steht das deutlich komplexere UCB-Modell, welches die Betrachtung des Empfindens und der Behaglichkeit sowohl auf globaler als auch lokaler Körperebene erlaubt. Im Rahmen des Projekts sollte untersucht werden, ob dieses Modell die thermische Behaglichkeit in den betrachteten Anwendungsszenarien mit asymmetrischen Strahlungsverhältnissen analog zu den in Testpersonenversuchen getroffenen Bewertungen vorhersagen kann.

Die Simulationen stellten eine zentrale Voruntersuchung zur Bewertung der eingesetzten Flächentemperiersysteme dar. Mithilfe von ANSYS Fluent wurden detaillierte Analysen der Luftströmungen durchgeführt, insbesondere mit Blick auf maximale Luftgeschwindigkeiten, die für anschließende Gebäudesimulationen in TRNSYS benötigt wurden. Die Software TRNSYS diente zur Ermittlung der Oberflächen Temperaturen, welche als Grundlage für die Durchführung der experimentellen Untersuchungen dienten. Darüber hinaus wurden mit TRNSYS Energiebedarfsberechnungen durchgeführt, die zeigten, dass weniger die Art des Flächentemperiersystems, sondern vielmehr der Dämmstandard des Gebäudes entscheidenden Einfluss auf den Energiebedarf hat. Im Vergleich zu einem System mit Luftheizung stellen die Flächentemperiersysteme im Heizfall als auch im Kühlfall eine gute Alternative dar. Durch das Absenken der Soll-Lufttemperaturen kann durch die Wandheizung bei gleichbleibender operativer Temperatur der Energiebedarf noch weiter gesenkt werden. Die Simulationen der Flächentemperiersysteme zeigen, dass die Grenzwerte sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall nicht über- beziehungsweise unterschritten wurden. Die maximal zulässigen Temperaturen werden weder bei Decken- noch Fußboden- oder Wandheizung benötigt. Für den Einsatz zum Kühlen wird die kritische Temperatur von 16 °C zur Tauwasserbildung nicht unterschritten. Die Simulationen in TAItherm zeigten, dass das UCB-Modell im Vergleich zum PMV-Modell tendenziell höhere Wärmeempfindungen vorhersagt.

Die PTV-Untersuchungen lieferten wichtige Erkenntnisse über das Strömungsverhalten in Räumen mit unterschiedlichen Flächentemperiersystemen. Bei Verwendung einer Wandheizung konnten in unmittelbarer Wandnähe sowie in größerer Entfernung vom Fußboden erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten festgestellt werden. Ab einer Entfernung von etwa zehn Zentimetern von der beheizten Wand zeigte sich jedoch ein relativ homogenes Strömungsprofil. Die Validierung der Simulationsergebnisse ergab, dass insbesondere im wandfernen Bereich Abweichungen zwischen Messung und Simulation bestehen. In direkter Wandnähe zeigten sich hingegen vergleichbare Strömungsmuster, wenn auch in unterschiedlicher Intensität. Als mögliche Ursachen für die beobachteten Abweichungen wurde identifiziert, dass sich die thermische Grenzschicht bei Wandheizungen nur langsam ausbildet, was in wandfernen Bereichen zu einer geringeren Strömung führt. Zudem wurden bei den Messungen an den jeweiligen beheizten Flächen die Zieltemperaturen nicht vollständig erreicht, was zu einer veränderten Strömung im Vergleich zur idealisierten Simulation führte. Zusätzlich wirkten sich die im Versuchsraum vorhandenen

Messgeräte auf das Strömungsfeld aus, während die CFD-Simulation einen idealisierten, hindernisfreien Raum annahm. Im Gegensatz dazu erzeugte die Fußbodenheizung deutlich andere Strömungsverhältnisse. Hier wurden im gesamten Messvolumen höhere Luftgeschwindigkeiten gemessen. In diesem Fall zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den simulierten Werten. Der Einfluss von Möblierung wurde ebenfalls untersucht. Es zeigte sich ein geringfügig negativer Einfluss auf das thermische Empfinden, der sich in einem leicht niedrigeren PMV-Wert um etwa -0,2 widerspiegelte. Dieser Effekt lässt sich auf die Veränderung des Strömungsfeldes durch die niedrigere operative Temperatur durch teilweises Verdecken der Flächenheizung erklären.

Im Rahmen der durchgeführten Testpersonenversuche wurden sowohl thermische Behaglichkeitsbewertungen als auch thermisches Empfinden unter verschiedenen Flächentemperiersystemen – Fußboden-, Wand- und Deckenheizung bzw. -kühlung – untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fußbodentemperierung in allen drei untersuchten Szenarien (GEG, $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ sowie Kühlbetrieb) durchweg die höchste thermische Behaglichkeit erzielte. Die Wandtemperierung schnitt in allen Fällen besser ab als die Deckentemperierung, jedoch wurden auch bei der Deckentemperierung noch durchweg behagliche Bedingungen festgestellt. Die mittleren Bewertungen lagen in allen Konfigurationen stets oberhalb der neutralen Bewertungsschwelle, was auf eine insgesamt positive thermische Wahrnehmung bei allen Varianten schließen lässt. Bezüglich des thermischen Empfindens zeigte sich ein insgesamt konsistentes Bild. Alle drei Flächenarten wurden sowohl im Heiz- als auch im Kühlbetrieb nahezu neutral bewertet, was auf eine ausgewogene thermische Auslegung der Versuchsszenarien hindeutet. Lediglich die Deckentemperierung im Heizbetrieb stellte eine Ausnahme dar. Hier wurde das thermische Empfinden signifikant kühler wahrgenommen, was auf mögliche Einschränkungen dieser Variante hinsichtlich des subjektiven Komforts hinweist.

Die Modellprognosen des UCB-Modells wurden mit den im Versuch erhobenen subjektiven Nutzerbewertungen verglichen. Dabei zeigten sich insbesondere bei der thermischen Behaglichkeit erhebliche Abweichungen: Die subjektiv abgefragten Bewertungen waren deutlich behaglicher als die durch das Modell prognostizierten Werte. Diese Diskrepanz legt nahe, dass das UCB-Modell in seiner aktuellen Form die tatsächliche thermische Wahrnehmung der Testpersonen nicht vollständig abbildet. Im Hinblick auf das thermische Empfinden ergab sich ein weniger klares Bild. In einigen Szenarien stimmten Modellvorhersagen und subjektive Einschätzungen gut überein, in anderen hingegen traten deutliche Abweichungen auf. Als zentrale Einflussgrößen konnten insbesondere die Setpoint-Temperaturen sowie die lokal gemessenen Hauttemperaturen identifiziert werden. In Fällen, in denen die gemessenen Hauttemperaturen fehlerhaft oder unplausibel waren – etwa durch fehlerhafte Sensoren, mangelhaften Hautkontakt oder äußere Störeinflüsse – zeigte sich, dass die Aussagekraft des Datensatzes erheblich eingeschränkt war. In solchen Fällen ist ein belastbarer Vergleich kaum möglich, was die hohe Relevanz von Messqualität und Plausibilitätsprüfung im Rahmen thermophysiologischer Untersuchungen unterstreicht.

Mit den vergleichenden Untersuchungen des UCB-Modells hinsichtlich Berechnung und erfragten Ergebnissen wurde ein erster wichtiger Schritt zur Überprüfung seiner Anwendbarkeit im Kontext der thermischen Bewertung von Flächentemperiersystemen vollzogen. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch auch die hohe Komplexität des Modells sowie den damit verbundenen Anpassungsaufwand. Für eine realitätsnahe Modellierung ist eine detaillierte Parametrierung und systematische Validierung unerlässlich, insbesondere wenn das Modell zur Unterstützung planerischer Entscheidungen im Bereich der Gebäudeenergie- und Komfortbewertung herangezogen werden soll. Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass die experimentellen Untersuchungen zur Modellentwicklung und die im Forschungsprojekt durchgeführten Untersuchungen deutlich im Ablauf voneinander abweichen. So wurden bei der Entwicklung des Modells explizit Körperteile temperiert. In den hier durchgeführten Untersuchungen hingegen wurde mit großflächigen Temperiersystemen gearbeitet.

6.2 Bewertung/Diskussion/Zielerreichung – Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext inkl. möglicherweise bekannt gewordenen Ergebnissen von dritter Seite

Die notwendigen Vorarbeiten und Recherchen haben zu einer umfassenden Kenntnis von Wandheizungs- und -kühlsystemen geführt, und es konnten die wichtigsten Behaglichkeitsmodelle identifiziert werden. Durch die Recherche zu themenverwandten Projekten und den Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit konnten die experimentellen Untersuchungen, vor allem die Testpersonenversuche, geplant werden.

Die experimentellen Behaglichkeitsuntersuchungen sowie die Raumanalyse in der Klimakammer der RPTU hatten den Fokus, unterschiedliche Szenarien zu untersuchen. Hier konnten die aus unterschiedlichen Heiz- und Kühlsystemen sowie variierenden Dämmstandards resultierenden Einflüsse erfolgreich untersucht werden. Der Einfluss von Möbeln wurde bei den Testpersonenversuchen und in der Simulation berücksichtigt.

Die Simulationen in TRNSYS und ANSYS Fluent konnten wie geplant durchgeführt werden. Durch die PTV-Messungen konnte das Strömungsmodell validiert werden. Das Modell in TRNSYS wurde neben der Festlegung der Szenarien dafür verwendet, die möglichen Energieeinsparungen zu quantifizieren und zu vergleichen. Die Behaglichkeitssimulationen in TAItherm (UCB-Modell) stimmten mit den Ergebnissen der Testpersonenversuchen nicht überein, weshalb in diesem Programm keine weiteren Situationen rein simulativ untersucht werden konnten.

Durch die Testpersonenversuche konnte die subjektive Behaglichkeitswahrnehmung für die verschiedenen Szenarien festgestellt werden, welche mit objektiv gemessenen Werten verglichen wurde. Hinsichtlich der Bewertung der Behaglichkeitsmodelle wurden bei allen untersuchten Modellen Unterschiede zu den Umfrageergebnissen der Testpersonen festgestellt. Durch Anpassungen am UCB-Modell konnte eine leichte Erhöhung der Übereinstimmung erreicht werden. Um das UCB-Modell umfänglich anzupassen, müssen weitere experimentelle Untersuchungen vorgenommen werden.

Ergebnisse von dritter Seite sind im Projektverlauf nicht bekannt geworden.

6.3 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Die simulativen und experimentellen Untersuchungen zeigten bei unseren Szenarien, dass Wandtemperiersysteme eine gute Alternative zu den stärker verbreiteten Fußboden- bzw. Deckensystemen bietet. In den Testpersonenversuchen wurden sowohl der Heizfall als auch der Kühlfall als behaglich bewertet. Auch hinsichtlich des Energiebedarfs stellen Wandtemperiersysteme für unseren Fall ein konkurrenzfähiges System dar. Es ist allerdings zu betonen, dass bei unseren Untersuchungen nur eine Raumgeometrie untersucht werden konnte. Zwar wurde in ANSYS der Einfluss von Möbeln betrachtet, hierbei konnte allerdings lediglich der PMV ausgewertet werden. Für weitergehende Berücksichtigungen unterschiedlicher Einflussfaktoren müssen zum einen die Vorhersagegenauigkeit des UCB-Modells mit weiteren Testpersonenversuchen überprüft und das Modell voraussichtlich angepasst werden. Zum anderen muss auch eine Simulationsmöglichkeit geschaffen werden, um beispielsweise die Raumgeometrie zu variieren und deren Einfluss abbilden zu können.

Die Untersuchungen zeigten, dass die normativen Vorhersagen des PMV-Modells nicht den von den Testpersonen abgegebenen Bewertungen entsprachen. Auch die Modellprognosen des UCB-Modells konnten nicht durch die Bewertungen der Testpersonen bestätigt werden. Es wurden mögliche Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung des UCB-Modells identifiziert. Die Anpassung des UCB-Modells an Situationen mit Strahlungsasymmetrie wäre vor allem unter dem Gesichtspunkt der späteren Nutzung eines detaillierteren Körpermodells von großem Interesse. Diese Entwicklung bedarf allerdings weiterer Untersuchungen, insbesondere weiterer Testpersonenversuche, und könnte in einem Folgeprojekt untersucht werden.

In der Laufzeit des Projekts wurden die Zwischenergebnisse auf einer nationalen sowie einer internationalen Konferenz vorgestellt. Auch nach dem Projektende werden Veröffentlichungen mit weiteren Inhalten angestrebt. Durch die Veröffentlichung der Arbeit an den in diesem Projekt skizzierten Forschungslücken wurde die wissenschaftliche Konkurrenzfähigkeit und Kompetenz bzw. die Sichtbarkeit des Fachgebietes Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung gesteigert.

Darüber hinaus wurden bereits erste Erkenntnisse in die Lehre übernommen. Insbesondere im Master-Modul „Bauphysik und Energieeffizienz“ des Studiengangs „Bauingenieurwesen – Konstruktiver Ingenieurbau“ konnten die Erkenntnisse im Fach „Bauphysikalische Modellierung“ direkt zur Anwendung kommen. Auch im Rahmen von Abschlussarbeiten fanden die Untersuchungen Anwendung. Auch bei Veranstaltungen zur wissenschaftlichen Nachwuchsförderung an der RPTU konnten die Ergebnisse integriert werden.

Durch den Projektpartner Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V. werden die Ergebnisse in das Normungsgremium zur DIN EN 1264 eingebracht. Außerdem werden die Erkenntnisse in den Arbeitskreis Technik sowie die Fachgruppe Kühl- und Heizdeckensysteme des BVF getragen.

7 Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Kornadt, Oliver (RPTU)

Carrigan, Svenja (RPTU)

Schröter, Birke (RPTU)

Beissmann, Yannic (RPTU)

Weitere Mitwirkende

Grimm, Axel (BVF)

Borke, Alexandra (BVF)

Biehl, Lena (RPTU)

Blum, Tobias (RPTU)

Herz, Jakob (RPTU)

Pfeifer, Philipp (RPTU)

Scheidel, Sabine (RPTU)

Projektpartner und weitere Fördermittelgeber

Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V. (BVF)

Wandweg1

44149 Dortmund

Fachliche Betreuung

im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“

Dr. Ing. Michael Brüggemann

Brüggemann Kisseler Ingenieure

8 Kurzbiographien

Prof. Dr. Oliver Kornadt

Nach mehrjähriger Tätigkeit in einem Baukonzern Professor für Bauphysik an der Bauhaus-Universität Weimar. 2012 Wechsel an die RPTU Kaiserslautern-Landau als Professor für Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung. Obmann des DIN-Fachbereichsrat KOA 05 „Schallschutz“ und des Normungsausschusses zur DIN 4109-1 „Schallschutz im Hochbau“. Autor von über 150 wissenschaftlichen Publikation.

apl. Prof. Dr. Svenja Carrigan

2016-2020 Juniorprofessorin für „Bauphysikalische Modellierung“ an der RPTU Kaiserslautern-Landau. Im Jahr 2019 Ruf auf Universitätsprofessur "Bauphysik" an der Technischen Universität Graz, Österreich (abgelehnt). Seit 2020 außerordentliche Professorin Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung mit dem Schwerpunkt Bauphysikalische Modellierung an der RPTU Kaiserslautern-Landau.

Birke Schröter, M.Sc.

ist Bauingenieurin und seit Januar 2022 wissenschaftliche Mitarbeiterin des Fachgebiets Bauphysik/ Energetische Gebäudeoptimierung der RPTU in Kaiserslautern. Ihre Forschungsschwerpunkte sind das Nutzerverhalten und seine Auswirkungen auf das Raumklima, Anwendung und Auswirkung unterschiedlicher Heizmethoden sowie thermische Behaglichkeit.

Yannic Beissmann, M.A.

ist Sozialwissenschaftler und von Mai bis August 2025 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Bauphysik/ Energetische Gebäudeoptimierung der RPTU in Kaiserslautern für das Projekt zum thermischen Empfinden von Flächenheizungen angestellt. In seiner Forschung beschäftigt er sich mit Mensch-Umweltbeziehungen, insbesondere dem Umweltproblem des Klimawandels, seiner Bekämpfung und der Anpassung an ihn.

Dipl.-Kfm. Axel Grimm

Seit 2016 Geschäftsführer des Bundesverbandes Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V., davor langjährige Erfahrung im Vertrieb und der Geschäftsführung in der SHK-Branche. Seine Aufgabenbereiche sind die Führung des Bundesverbandes, die inhaltliche und thematische Ausrichtung in Abstimmung mit dem Vorstand und Führungskreis, die Mitarbeit in der Normung und Ausarbeitung sowie Beauftragung relevanter Studien und die Kooperation mit benachbar-

Dipl.-Ing. Alexandra Borke

Bauingenieurin, seit 2019 als Technische Referentin beim Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V. beschäftigt. Ihre Aufgabenbereiche sind die Betreuung des Arbeitskreises Technik sowie der Fachgruppe Kühl- und Heizdeckensysteme, die Beteiligung an Redaktions- und Arbeitskreisen zur Entwicklung neuer Broschüren und Richtlinien, das Verfassen von Fachartikeln sowie die Mitarbeit in der Normung und Beauftragung relevanter Studien.

9 Literatur

- [1] *Schöndube, T.; Beecken, Christopher, Jülg, Lara; Kornadt, O.*: Treibhausgaspotenzial von Wohngebäuden unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzung- und Instandhaltungsphase in Abhängigkeit vom energetischen Gebäudestandard. *In: : Bauphysik in Forschung und Praxis – Bauphysiktagung Kaiserslautern 2022, Schriftenreihe des Fachgebiets Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung Heft 5.* Eigenverlag der Technischen Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2022, S. 167-170.
- [2] *Krohn, J.; Carrigan, S.; Friedrich, T. et al.*: Energy efficient heating and cooling ventilation system with integrated PCM heat storage units. *In: : Proceedings, 15th ROOMVENT Conference, Turin, Italien, 2020.*
- [3] *Kornadt, O.; Carrigan, S.; Hartner, M. et al.*: Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch – Abschlussbericht, Forschungsinitiative Zukunft BauF 3217, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2021.
- [4] *Schröter, B.; Spiegel, J.; Carrigan, S. et al.*: Energiegewinn und Energieeinspeicherung des Prototyps eines neuartigen Wärmespeicher- und Energieerzeugungssystems. *In: Bauphysik 45 (2023), Heft 5, S. 245-251.* <https://doi.org/10.1002/bapi.202300014>.
- [5] *Hofmann, M.; Geyer, C.; Kornadt, O.*: Indoor Climate Measurements in Buildings and Design Functions for Building Simulations. *In: IOP Conference Series Materials Science and Engineering 960 (2020), Heft 4, S. 42029.* <https://doi.org/10.1088/1757-899X/960/4/042029>.
- [6] *Zheng, P.; Wu, H.; Liu, Y. et al.*: Thermal comfort in temporary buildings: A review. *In: Building and Environment 221 (2022), S. 109262.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109262>.
- [7] *Rupp, R.F.; Vázquez, N.G.; Lamberts, R.*: A review of human thermal comfort in the built environment. *In: Energy and Buildings 105 (2015), S. 178-205.* <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>.
- [8] *Fanger, P.O.*: Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering – Analysis and applications in environmental engineering. Zugl.: Lyngby, Danmarks tekniske Højskole, Diss, 1970. McGraw-Hill, New York, 1973, 1970.
- [9] *Zhang, H.*: Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments, 2003.
- [10] *Kornadt, O.; Carrigan, S.*: Multifunktionale Deckensysteme zur Erhöhung der thermischen Behaglichkeit in Bürogebäuden. Kühlen, Heizen und Akustik in modernen Bürowelten, Osann-Monzel, 2015.
- [11] *Carrigan, S.; Kornadt, O.*: Bauphysikalische Vorteile innovativer Deckensysteme. *In: : Bauphysik in Forschung und Praxis – Bauphysiktagung Kaiserslautern 2015 ; [21. - 22. Oktober ; Tagungsband, Schriftenreihe des Fachgebiets Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung Heft 2.* Eigenverlag der Technischen Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2015.
- [12] *Braun, T.; Franke, J.*: Baustoff-integrierte Flächenheizung (BiFH). Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Forschungsinitiative Zukunft BauF 3177, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2019.
- [13] *Carrigan, S.; Bilgin, D.; Kornadt, O. et al.*: Neuartige Kühldecke durch Einsatz von Phasenwechselmaterialien. *In: : Bauphysiktagung Kaiserslautern 2017 : Bauphysik in Forschung und Praxis / Oliver*

- Kornadt [und 6 andere] (Hrsg.). Bauphysikstage, Schriftenreihe des Fachgebietes Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung Band 4. Eigenverlag der Technischen Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2017.
- [14] Behzadi, A.; Arabkoohsar, A.: Comparative performance assessment of a novel cogeneration solar-driven building energy system integrating with various district heating designs. *In: Energy Conversion and Management* 220 (2020), S. 113101. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113101>.
- [15] Sun, H.; Lin, B.; Lin, Z. et al.: Experimental study on a novel flat-heat-pipe heating system integrated with phase change material and thermoelectric unit. *In: Energy* 189 (2019), S. 116181. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116181>.
- [16] Schilly, T.; Völker, C.: Nutzung einer thermisch aktivierten Bodenplatte als energetischer Speicher. *In: : DBV-Heft 34 „Vorträge zum Deutschen Bautechnik-Tag 2015 in Düsseldorf“*.
- [17] Schilly, T.; Völker, C.: Thermally activated floor slabs as energy storage. *In: : Proceedings World Sustainable Energy Days, Wels, Austria, 2015*.
- [18] Blum, T.; Carrigan, S.; Platzek, D. et al.: Entwicklung eines thermoelektrischen Heiz- und Kühlsystems mit hohem Wirkungsgrad. *In: : Proceedings BauSIM2020, Graz, Österreich, S. 290-298*.
- [19] Rhee, K.-N.; Kim, K.W.: A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment. *In: Building and Environment* 91 (2015), S. 166-190. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.040>.
- [20] Karmann, C.; Schiavon, S.; Bauman, F.: Thermal comfort in buildings using radiant vs. all-air systems: A critical literature review. *In: Building and Environment* 111 (2017), S. 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.020>.
- [21] Babiak, J.; Olesen, B. W.; Petráš, D.: Low temperature heating and high temperature cooling: REHVA GUIDEBOOK No 7. Rehva, Brüssel, 2013.
- [22] Heider, J.; Conrad, N.; Stark, T. et al.: Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Wohngebäude, Forschungsinitiative Zukunft BauF 3220, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2020.
- [23] Olesen, B. W.: Radiant Floor Heating In Theory and Practice. *In: Ashrae Journal* 44 (2002), S. 19-26.
- [24] KOCA, A.: Experimental Examination of Heat Transfer Performance of the Heated Radiant Wall System. *In: Journal of Thermal Engineering* 4 (2018), Heft 6, S. 2304-2407. <https://doi.org/10.18186/thermal.465641>.
- [25] Safizadeh, M.R.; Schweiker, M.; Wagner, A.: Experimental Evaluation of Radiant Heating Ceiling Systems Based on Thermal Comfort Criteria. *In: Energies*, Vol. 11 (2018), Iss. 11, p. 2932. <https://doi.org/10.3390/en11112932>.
- [26] DIN EN ISO 7730: 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. Ausgabe März 2023.
- [27] Zhang, H.; Arens, E.; Huizenga, C. et al.: Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments: Part I: Local sensation of individual body parts. *In: Building and Environment* 45 (2010), Heft 2, S. 380-388. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.018>.
- [28] DIN EN 16798-1: Lüftung von Gebäuden - Teil1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Ausgabe März 2022.

-
- [29] ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.: Atlanta.
- [30] Olesen, B. W.; Brager, G. S.: A better way to predict comfort: The new ASHRAE standard 55-2004, 2004.
- [31] DIN EN ISO 11855-2:2016-11: Energetische Umweltgerechte Gebäudeplanung - Planung, Auslegung, Installation und Steuerung flächenintegrierter Strahlungsheiz- und -kühlsysteme. Teil 2: Bestimmung der Auslegungs-Heiz- bzw. Kühlleistung.
- [32] Miyanaga, T.; Urabe, W.; Nakano, Y.: Simplified human body model for evaluating thermal radiant environment in a radiant cooled space. *In: Building and Environment* 36 (2001), Heft 7, S. 801-808. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00005-1).
- [33] Gao, S.; Yang, L.; Shi, M. et al.: Human thermal comfort under lateral radiant asymmetries. *In: Energy and Built Environment* 4 (2023), Heft 4, S. 432-444. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.03.001>.
- [34] Schellen, L.; Loomans, M.; Kingma, B. et al.: The use of a thermophysiological model in the built environment to predict thermal sensation. *In: Building and Environment* 59 (2013), S. 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.010>.
- [35] Zhang, H.; Arens, E.; Huizenga, C. et al.: Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part II: Local comfort of individual body parts. *In: Building and Environment* 45 (2010), Heft 2, S. 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.015>.
- [36] EN ISO 14505:2006: Ergonomie der thermischen Umgebung - Beurteilung der thermischen Umgebung in Fahrzeugen.
- [37] Nilsson, H.O.: Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models, Bygghvetenskap, 2004.
- [38] Causone, F.; Corgnati, S.P.; Filippi, M. et al.: Experimental evaluation of heat transfer coefficients between radiant ceiling and room. *In: Energy and Buildings* 41 (2009), Heft 6, S. 622-628. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.004>.
- [39] Feustel, H.E.; Stetiu, C.: Hydronic radiant cooling — preliminary assessment. *In: Energy and Buildings* 22 (1995), Heft 3, S. 193-205. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00922-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(95)00922-K).
- [40] Miriel, J.; Serres, L.; Trombe, A.: Radiant ceiling panel heating-cooling systems: experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions. *In: Applied Thermal Engineering* 22 (2002), Heft 16, S. 1861-1873. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00087-X](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00087-X).
- [41] Rees, S.J.; Haves, P.: An experimental study of air flow and temperature distribution in a room with displacement ventilation and a chilled ceiling. *In: Building and Environment* 59 (2013), S. 358-368. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.001>.
- [42] Le Dréau, J.; Heiselberg, P.: Sensitivity analysis of the thermal performance of radiant and convective terminals for cooling buildings. *In: Energy and Buildings* 82 (2014), S. 482-491. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.002>.
- [43] Niu, J.; Kooi, J.: Indoor climate in rooms with cooled ceiling systems. *In: Building and Environment* 29 (1994), Heft 3, S. 283-290. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90024-8).
- [44] Hao, X.; Zhang, G.; Chen, Y. et al.: A combined system of chilled ceiling, displacement ventilation and desiccant dehumidification. *In: Building and Environment* 42 (2007), Heft 9, S. 3298-3308. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.020>.
-

-
- [45] IKZ: Wärmekomfort von der Rolle - Marktübersicht: Flächenheiz- und -kühlsysteme für Neubau- und Objektinstallationen, 2025, <https://www.ikz.de/heizungstechnik/news/detail/waermekomfort-von-der-rolle-marktuebersicht-flaechenheiz-und-kuehlsysteme-fuer-neubau-und-objektins/> [Zugriff am: 16.06.2025].
- [46] Zhang, H.; Arens, E.; Huizenga, C. et al.: Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part III: Whole-body sensation and comfort. *In: Building and Environment* 45 (2010), Heft 2, S. 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.020>.
- [47] Zhao, Y.; Zhang, H.; Arens, E.A. et al.: Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part IV: Adaptive neutral setpoints and smoothed whole-body sensation model. *In: Building and Environment* 72 (2014), S. 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.004>.
- [48] Richard J. de Dear; Gail Schiller Brager: *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*, 1998.
- [49] Schweiker, M.; Brasche, S.; Bischof, W. et al.: Explaining the individual processes leading to adaptive comfort: Exploring physiological, behavioural and psychological reactions to thermal stimuli. *In: Journal of Building Physics* 36 (2013), Heft 4, S. 438-463. <https://doi.org/10.1177/1744259112473945>.
- [50] Djongyang, N.; Tchinda, R.; Njomo, D.: Thermal comfort: A review paper. *In: Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010), Heft 9, S. 2626-2640. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.040>.
- [51] Humphreys, M.A.; Fergus Nicol, J.: The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in everyday thermal environments. *In: Energy and Buildings* 34 (2002), Heft 6, S. 667-684. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00018-X).
- [52] Kimura, K.; Tanabe, S.; Iwata, T.: Climate chamber studies for hot and humid regions. *In: Proceedings Thermal Comfort, Past, Present and Future*, Garston (1994), S. 88-105.
- [53] Nakano, J.; Tanabe, S.; Kimura, K.: Differences in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers. *In: Energy and Buildings* 34 (2002), Heft 6, S. 615-621. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00012-9).
- [54] Pitts, A.: The language and semantics of thermal comfort. *In: Windsor Conference: Comfort and Energy Use in Buildings*, S. 1-7.
- [55] Lee, J.-Y.; Tochihara, Y.; Wakabayashi, H. et al.: Warm or slightly hot? Differences in linguistic dimensions describing perceived thermal sensation. *In: Journal of physiological anthropology*, Vol. 28 (2009), Iss. 1, pp. 37-41. <https://doi.org/10.2114/jpa2.28.37>.
- [56] Tse, W.L.; So, A.T.; Chan, W.L. et al.: The validity of predicted mean vote for air-conditioned offices. *In: Facilities*, Vol. 23 (2005), 13/14, pp. 558-569. <https://doi.org/10.1108/02632770510627543>.
- [57] Nasrollahi, N.; Knight, I.; Jones, P.: Workplace Satisfaction and Thermal Comfort in Air Conditioned Office Buildings: Findings from a Summer Survey and Field Experiments in Iran. *In: Indoor and Built Environment* 17 (2008), Heft 1, S. 69-79. <https://doi.org/10.1177/1420326X07086945>.
- [58] Yoon, D.W.; Sohn, J.Y.; Cho, K.H.: The comparison on the thermal comfort sensation between the results of questionnaire survey and the calculation of the PMV values. *In: Proc Indoor Air 99* (1999), S. 137-141.
- [59] Mayer, E.: A new correlation between predicted mean votes (PMV) and predicted percentages of dissatisfied (PPD). *In: Cib Report* (2002), S. 60-65.
-

-
- [60] Paula Xavier, A.; Lamberts, R.: Indices of thermal comfort developed from field survey in Brazil. *In*: ASHRAE Trans 106 (2000).
- [61] Andreasi, W.; Lamberts, R.: Thermal comfort in buildings located in regions of hot and humid climate of Brazil. *In*: Energy Build 1 (2006).
- [62] Hwang, R.-L.; Cheng, M.-J.; Lin, T.-P. et al.: Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions. *In*: Building and Environment 44 (2009), Heft 6, S. 1128-1134. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.08.001>.
- [63] Hwang, R.-L.; Lin, T.-P.; Liang, H.-H. et al.: Additive model for thermal comfort generated by matrix experiment using orthogonal array. *In*: Building and Environment 44 (2009), Heft 8, S. 1730-1739. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.009>.
- [64] Hartner, M.; Carrigan, S.; Findeisen, J. et al.: Thermische Behaglichkeit in Industriehallen mit Strahlungsheizung. *In*: Bauphysik in Forschung und Praxis - Bauphysiktag Kaiserslautern 2022. Schriftenreihe des Fachgebiets Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung, Band 5, S. 139-141, ISSN 2363-8206, ISBN 978-3-95974-176-7 (2022).
- [65] Blum, T.: Ganzheitliche Bewertung eines auf Peltier-Elementen basierenden Flächenheiz und -kühlsystems, Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Doctoralthesis, 2023.
- [66] Hoof, J.; Mazej, M.; Hensen, J.: Thermal comfort: Research and practice. *In*: Frontiers in Bioscience 15 (2010), S. 765-788. <https://doi.org/10.2741/3645>.
- [67] Kornadt, O. (Hrsg.): Entwicklung und messtechnische Validierung der Kopplung von CFD-Simulation mit einem thermophysiologischen Modell zur Bestimmung der thermischen Behaglichkeit. Autor: Völker, C.; Bauhaus-Universität Weimar, Verl. Im Jonas Verlag, ISBN 978-3-95773-051- 0., 2012.
- [68] Völker, C.: Entwicklung und messtechnische Validierung der Kopplung von CFD-Simulation mit einem thermophysiologischen Modell zur Bestimmung der thermischen Behaglichkeit [Dissertation]. Bauhaus-Universität Weimar, 2012.
- [69] Schweiker, M.; Huebner, G.M.; Kingma, B.R.M. et al.: Drivers of diversity in human thermal perception - A review for holistic comfort models. *In*: Temperature (Austin, Tex.), Vol. 5 (2018), Iss. 4, pp. 308-342. <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1534490>.
- [70] Zhou, X.; Liu, Y.; Luo, M. et al.: Thermal comfort under radiant asymmetries of floor cooling system in 2 h and 8 h exposure durations. *In*: Energy and Buildings 188-189 (2019), S. 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.009>.
- [71] Djongyang, N.; Tchinda, R.; Njomo, D.: Thermal comfort: A review paper. *In*: Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010), Heft 9, S. 2626-2640.
- [72] Schweiker, M.; Brasche, S.; Bischof, W. et al.: Explaining the individual processes leading to adaptive comfort: Exploring physiological, behavioural and psychological reactions to thermal stimuli. *In*: Journal of Building Physics 36 (2013), Heft 4, S. 438-463.
- [73] Dear, R. de; Brager, G.S.: Developing an adaptive model of thermal comfort and preference (1998).
- [74] Ansys Academic Research Fluent Release 20.2.
- [75] DIN EN 1264-2:2021: Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung - Teil 2: Fußbodenheizung: Prüfverfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung unter Benutzung von Berechnungsmethoden und experimentellen Methoden; Deutsche Fassung EN 1264-2:2021.
-

-
- [76] Thermal Energy System Specialists.: TRNSYS 18: Transient System Simulation Tool.
- [77] *Deutscher Wetterdienst, Regionales Klimabüro Essen: Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Leistungen - Testreferenzjahre (TRY)*, 2025, <https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html> [Zugriff am: 18.06.2025].
- [78] *Deutscher Wetterdienst: Klimaberatungsmodul*, 2022, <https://kunden.dwd.de/obt/> [Zugriff am: 18.06.2025].
- [79] *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden – Gebäudeenergiegesetz - GEG*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK, 2023.
- [80] *Deutsche Energie-Agentur GmbH: Reihe "Leitfaden Energieausweis" – Teil 1 - Energiebedarfsausweis: Datenaufnahme Wohngebäude*, Berlin Ausgabe 2015.
- [81] TAItherm 2022.2.1, 3D thermal simulation software, ThermoAnalytics, Calumet, MI USA.
- [82] Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP: BNB Tool Thermischer Komfort. 2013.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ursprünglicher und überarbeiteter Arbeits-Zeit-Plan nach Beantragung der Verlängerung	16
Abbildung 2	Absatzmenge Flächenheizung in Deutschland aller Anbieter in Mio. m ²	18
Abbildung 3	Praxisbeispiele für die Ausführung eines Wandtemperiersystems als Nasssystem (links) und Trockenbaulösung (rechts)	19
Abbildung 4	Ausführungsformen von Wandheiz-/kühlssystemen mit Ausführungsart A (links) und Ausführungsart B (rechts)	19
Abbildung 5	Einflussfaktoren nach PMV-Modell auf die thermische Behaglichkeit	20
Abbildung 6	Sieben Punkte der Klimabeurteilungsskala nach [26]	21
Abbildung 7	Einflussfaktoren UCB-Modell der thermischen Behaglichkeit mit der Skala zur Bewertung des thermischen Empfindens (links) und der thermischen Behaglichkeit (rechts)	22
Abbildung 8	Flussdiagramm des globalen Empfindungs-Modells	23
Abbildung 9	Drei mögliche Graphen für den Zusammenhang der lokalen thermischen Empfindung und der lokalen thermischen Behaglichkeit	24
Abbildung 10	Einflussfaktoren im adaptiven Ansatz der thermischen Behaglichkeit	25
Abbildung 11	Komfortraumtemperatur und Grenzwerte für Kategorie I, II und II der operativen Innentemperatur für Gebäude ohne maschinelle Kühlanlagen in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur	26
Abbildung 12	Zusammenhang Untersuchungsszenarien, erforderliches Equipment, Messgrößen und Behaglichkeitsmodelle	28
Abbildung 13	Modell der Klimakammer in ANSYS Fluent (links) mit Schnitt der betrachteten Ebene (rechts)	30
Abbildung 14	Strömungsprofil einer Fußbodenheizung mit 29 °C (links); Strömungsprofil einer Deckenheizung mit 29 °C (rechts). Der Raumquerschnitt ist in Abbildung 13 gezeigt.	31
Abbildung 15	Modelle der Klimakammer; links: mit verdecktem Fenster, rechts: mit Fenster	32
Abbildung 16	Gegenüberstellung der mittleren Strahlungstemperatur und des PMV in Abhängigkeit der Raumposition: Zeile 1 - Höhe 0,25 m; Zeile 2 - Höhe 1,75 m; Zeile 3 - Höhe 1,75 m. Zeile 1&2 Wandtemperatur 23 °C, Zeile 3: Wandtemperatur 30 °C	33
Abbildung 17	TRNSYS Modelle eines Beispielraums (links) und der Klimakammer (rechts)	34
Abbildung 18	Simulationsmodell der Klimakammer mit Nummerierung der Wandflächen	36
Abbildung 19	Energiebedarf für den Heiz- und Kühlbetrieb der unterschiedlichen Heiz- und Kühlsystemen bei unterschiedlichen Dämmstandards	39
Abbildung 20	Modell der Klimakammer und des thermischen Manikin in TAItherm	42
Abbildung 21	Thermisches Empfinden einer Person im Raum mit Wandheizung und einer gegenüberliegenden Außenwand mit $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	43
Abbildung 22	Thermische Behaglichkeit einer Person im Raum mit Wandheizung und einer gegenüberliegenden Außenwand mit $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	43

Abbildung 23 Modell der Klimakammer mit Versuchsaufbau der Testpersonenversuche von außen (links) und innen (rechts)	45
Abbildung 24 Simuliertes und erfragtes Empfinden (links) und simulierte und erfragte Behaglichkeit (rechts) für drei Versuchsdurchläufe mit Fußbodenheizung bei GEG-Dämmstandard	46
Abbildung 25 Simulierte und gemessene Hauttemperaturen für einen Versuch bei Fußbodenheizung nach GEG-Dämmstandard	46
Abbildung 26 Messaufbau mit thermischem Manikin, Behaglichkeitsmessstand und Heizplatten	47
Abbildung 27 Vergleich der operativen Temperatur (links) und der Hauttemperaturen am ganzen Körper und getrennt für den linken und rechten Oberarm (rechts), jeweils bei eingeschalteter (rot) und ausgeschalteter (blau) Heizung	48
Abbildung 28 Lokales und globales Wärmeempfinden bei ausgeschalteten (links) und eingeschalteten (rechts) Heizplatten	49
Abbildung 29 Lokaler und globaler thermischer Komfort für ausgeschaltete (links) und eingeschaltete (rechts) Heizplatten	50
Abbildung 30 Messaufbau mit Thermischem Manikin und Heizplatten (links) und Ölradiator (rechts)	52
Abbildung 31 Lufttemperatur und operative Temperatur (links) sowie die Hauttemperaturen für die drei untersuchten Szenarien	52
Abbildung 32 Lokale und globale Wärmeempfindung und Komfort mit und ohne Heizung	53
Abbildung 33 Links: Messaufbau, vorne: Kameras, links: Seeding-Partikel-Generator, Mitte links: LEDs, schwarze Fläche rechts: Begrenzung des Messvolumens. Rechts: Abmaße der Klimakammer und des Messvolumens	55
Abbildung 34 Links: Seeding-Partikel-Generator, rechts: LEDs zur Beleuchtung der Partikel.	56
Abbildung 35 Schema der Messung/Simulation in Klimakammer mit Wandheizung (links), Fußbodenheizung (rechts). Das Messvolumen ist grau schattiert.	56
Abbildung 36 Partikelspuren im Messvolumen während eines 1,8 s langen Messzeitraums (Wandheizung)	57
Abbildung 37 Messung: Schnittdarstellung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsverteilung (Betrag) in vertikalen Ebenen des Messvolumens mit $X = 2,1 \text{ m} / 2,4 \text{ m} / 2,7 \text{ m}$. Links: bis zu 0,3 m Abstand zur Wandheizung, rechts: vergrößerte Ansicht bis 0,1 m Abstand zur Wandheizung.	58
Abbildung 38 CFD-Simulation: Schnittdarstellung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsverteilung (Betrag) in vertikalen Ebenen des Simulationsvolumens mit $X = 2,1 \text{ m} / 2,4 \text{ m} / 2,7 \text{ m}$. Links: bis zu 0,3 m Abstand zur Wandheizung, rechts: vergrößerte Ansicht bis 0,1 m Abstand zur Wandheizung.	58
Abbildung 39 Messung: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Wandheizung)	59
Abbildung 40 Simulation: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Wandheizung)	59
Abbildung 41 Partikelspuren im Messvolumen während eines 1,8 s langen Messzeitraums (Fußbodenheizung)	60
Abbildung 42 Schnittdarstellung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsverteilung (Betrag) in vertikalen Ebenen des Mess- bzw. Simulationsvolumens mit $X = 2,1 \text{ m} / 2,4 \text{ m} / 2,7 \text{ m}$ bis zu 0,3 m Abstand zur Wand. Links: Messung, rechts: Simulation. (Fußbodenheizung)	61

Abbildung 43 Messung: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Fußbodenheizung)	61
Abbildung 44 Simulation: zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile an der Wand in Abhängigkeit vom Abstand zur Wand und der Höhe H entlang der Wand. (Fußbodenheizung)	62
Abbildung 45 Schema der Simulation in Klimakammer mit Deckenheizung (links) und Wandheizung, welche teilweise von einem Schrank verdeckt ist (rechts).	62
Abbildung 46 Bekleidung der Testpersonen für den Heizfall (links) und den Kühlfall (rechts)	67
Abbildung 47 Zeitlicher Ablauf der Testpersonenversuche	67
Abbildung 48 Platzierung der iButton-Temperatursensoren an den Testpersonen	68
Abbildung 49 Situation mit zwei Testpersonen in der Klimakammer	69
Abbildung 50 Ablauf der Befragung während des Hauptversuchs	70
Abbildung 51 Temperaturen im Vorraum der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung inkl. Fehlerband des Temperatursensors	75
Abbildung 52 Temperaturen im Vorraum der Klimakammer bei den Versuchen mit Deckentemperierung inkl. Fehlerband des Temperatursensors	75
Abbildung 53 Temperaturen im Vorraum der Klimakammer bei den Versuchen mit Wandtemperierung inkl. Fehlerband des Temperatursensors	75
Abbildung 54 Verlauf der operativen Temperatur bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung inkl. Fehlerband durch Messabweichung der Temperatursensoren	77
Abbildung 55 Verlauf der operativen Temperatur bei den Versuchen mit Deckentemperierung inkl. Fehlerband durch Messabweichung der Temperatursensoren	77
Abbildung 56 Verlauf der operativen Temperatur bei den Versuchen mit Wandtemperierung inkl. Fehlerband durch Messabweichung der Temperatursensoren	77
Abbildung 57 Verläufe der Oberflächentemperaturen der Wände, Boden, Decke sowie Fenster in der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung	78
Abbildung 58 Verläufe der Oberflächentemperaturen der Wände, Boden, Decke sowie Fenster in der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung	78
Abbildung 59 Verläufe der Oberflächentemperaturen der Wände, Boden, Decke sowie Fenster in der Klimakammer bei den Versuchen mit Fußbodentemperierung	79
Abbildung 60 Gesammelte abgebende Empfindungsbewertungen der Testpersonen in allen Szenarien (unterschiedliche Marker) sortiert nach biologisch weiblich (W) und biologisch männlich (M)	82
Abbildung 61 Setpointtemperaturen der einzelnen Testpersonen	83
Abbildung 62 mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Fußboden GEG	84
Abbildung 63 Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Fußboden GEG	84
Abbildung 64 mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Fußboden 1,4	85
Abbildung 65 Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Fußboden 1,4	85

Abbildung 66	mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Fußboden kühlen	86
Abbildung 67	Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Fußboden kühlen	86
Abbildung 68	mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Decke GEG	87
Abbildung 69	Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Decke GEG	87
Abbildung 70	mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Decke kühlen	88
Abbildung 71	Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Decke kühlen	88
Abbildung 72	mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Wand GEG	89
Abbildung 73	Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Wand GEG	89
Abbildung 74	mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Wand 1,4	90
Abbildung 75	Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Wand 1,4	90
Abbildung 76	mittlere Hauttemperaturen einzelner Körperteile für jede Testpersonen beim Versuchsszenario Wand kühlen	91
Abbildung 77	Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach Modellen (UCB und PMV) beim Szenario Wand kühlen	91
Abbildung 78	Änderungen im Empfinden und der Behaglichkeit bei P2 durch Anpassung von Setpointtemperatur und/ oder Hauttemperatur	92
Abbildung 79	Empfinden (links) und Behaglichkeit (rechts) für jede Testpersonen als Mittelwert der Umfrage sowie berechnet nach UCB-Modell und UCB-Modell mit Anpassungen für das Szenario Fußboden GEG	94

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Kategorien für die Innenraumqualität [28]	26
Tabelle 2 Untersuchungsszenarien des 1. Meilensteins für die experimentellen und simulativen Untersuchungen	29
Tabelle 3 simulierte Temperaturen der Klimakammer aus TRNSYS	35
Tabelle 4 simulierte Temperaturen des Beispielraums aus TRNSYS	35
Tabelle 5 simulierte Oberflächentemperaturen der Klimakammer für die Durchführung der Testpersonenversuche	37
Tabelle 6 Zusammenfassung der Simulationsrandbedingungen	38
Tabelle 7 Energiebedarf für den Heiz- und Kühlbetrieb der unterschiedlichen Heiz- und Kühlsystemen bei unterschiedlichen Dämmstandards	40
Tabelle 8 Energiebedarf der Heizperiode für Wandheizung und Luftheizung für die unterschiedlichen Heizfälle mit PMV	41
Tabelle 9 Gegenüberstellung der globalen Empfindungen durch PMV, UCB und die operative Temperatur der Simulationen des Beispielraumes	44
Tabelle 10 Gegenüberstellung der globalen Empfindungen durch PMV, UCB und die operative Temperatur der Simulationen des Beispielraumes	49
Tabelle 11 Vergleich der Ergebnisse zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit aus experimenteller Messung und Simulation	50
Tabelle 12 Vergleich der Ergebnisse aus experimentellen Messungen und Simulationen.	54
Tabelle 13 Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Fußbodenheizung.	63
Tabelle 14 Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Deckenheizung.	64
Tabelle 15 Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Wandheizung.	64
Tabelle 16 Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, operative Temperatur und PMV an einer Position in der Raummitte, auf unterschiedlichen Höhen, bei Wandheizung, welche teilweise mit einem Schrank verdeckt wird.	64
Tabelle 17 Untersuchungsszenarien mit der jeweiligen Anzahl der Testpersonen	65
Tabelle 18 Übersicht über die Anzahl und Stammdaten der Testpersonen	66
Tabelle 19 Benennung der Untersuchungsszenarien und Durchführungszeiten	71
Tabelle 20 Einschränkungen der Testpersonen für die einzelnen Versuche aus Vor- und Nachbefragung	74
Tabelle 21 mittlere operative Temperatur (in °C) während des jeweiligen Versuchsdurchlaufs für alle untersuchten Szenarien	76
Tabelle 22 Ergebnis der subjektiven Bewertung der thermischen Behaglichkeit der Testpersonenversuche verschiedener Flächenheiz- und kühlssysteme unter Berücksichtigung unterschiedlicher Auslegungsszenarien	80

Tabelle 23 Ergebnis der subjektiven Bewertung des thermischen Empfindens der Testpersonenversuche verschiedener Flächenheiz- und kühlssysteme unter Berücksichtigung unterschiedlicher Auslegungsszenarien 81

Tabelle 24 Errechnete und erfragte globalen Empfindungen für einzelne Testpersonen und Abweichung vor und nach der Anpassung von Rechnung zur Umfrageergebnissen 94

Tabelle 25 Errechnete und erfragte globalen Behaglichkeiten für einzelne Testpersonen und Abweichung vor und nach der Anpassung von Rechnung zur Umfrageergebnissen 95

12 Anlagen

12.1 Fragebögen der Testpersonenversuche

A1 Stammdatenblatt

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstauszufüllen
Vor- und Nachname:		
Geburtsdatum:		
Alter:		
biologisches Geschlecht:	☐ weiblich ☐ männlich	
Körpergröße:	cm	
Körpergewicht:	kg	
Körperfettanteil:	%	
Sind Sie Raucher?	☐ Ja ☐ Nein	
Wie regelmäßig treiben sie Sport?		
Stunden pro Woche:		
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):		
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?		

A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden

Datum:
Name:

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

Wie fühlen sie sich körperlich?

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Haben Sie gut geschlafen?

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

- | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| ☐ sehr kalt | ☐ kalt | ☐ kühl | ☐ eher kühl |
| ☐ eher warm | ☐ warm | ☐ heiß | ☐ sehr heiß |

B Befragung während der Hauptversuche

Willk...

Fühlen Sie sich behaglich?

Ja

Nein

Frage 2: ...

Frage 2: Unb...

Wie behaglich fühlen Sie sich?

☐ +0 gerade so behaglich

☐ +1

☐ +2 behaglich

☐ +3

☐ +4 sehr behaglich

Nächste Frage

Wie unbehaglich fühlen Sie sich?

☐ -0 gerade so unbehaglich

☐ -1

☐ -2 unbehaglich

☐ -3

☐ -4 sehr unbehaglich

Nächste Frage

Frage 3: Thermisches Empfinden

Wie bewerten Sie ihr thermisches Empfinden insgesamt? Mir ist ...

☐ -4

☐ -3

☐ -2

☐ -1

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

sehr kalt

kalt

kühl

etwas kühl

neutral

etwas warm

warm

heiß

sehr heiß

Nächste Frage

Frage 4: Abweichendes Temperaturempfinden?

Gibt es ein Körperteil, dass von ihrem allgemeinen Temperaturempfinden abweicht?

Ja

Nein

Einzelkörperteile bewerten

Welches Körperteil weicht von ihrem allgemeinen Temperaturempfinden ab? Und wie?

sehr kalt kalt kühl etwas kühl neutral etwas warm warm heiß sehr heiß

☐ Fuß links

☐ Fuß rechts

☐ Bein links

☐ Bein rechts

☐ Hüfte

☐ Bauch

☐ Brust

☐ Unterer Rücken

☐ Oberer Rücken

☐ Unterarm links

☐ Unterarm rechts

☐ Oberarm links

☐ Oberarm rechts

☐ Hand links

☐ Hand rechts

☐ Hals

☐ Nacken

☐ Kopf

Bewertung speichern

C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Datum: Name:	C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage
Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl		
Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? _____ _____ _____		
Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? _____ _____ _____		
Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? _____ _____ _____		
Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen		
Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☐ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral ☐ eher angenehmer ☐ angenehmer		

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

D Abschlussbefragung

Datum:
Name:

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? ((Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter)

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Datum:
Name:

D Abschlussbefragung

selbst auszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumausstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

Denken Sie bitte an ihren Alltag:

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt?

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion an denen ihnen regelmäßig zu kalt oder warm ist oder die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Datum: D Abschlussbefragung selbstauszufüllen
Name:

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

12.2 Ausgefüllte Fragebögen der Testpersonen

Testperson 1

Datum: <u>10.06.2015</u> <u>Blk</u>		A2 Vorbefragung		mündliche Abfrage	
Name: <u>Person 1</u>		Allgemeines Wohlbefinden			
Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]					
<u>Zug, Bus</u>					
Wie fühlen Sie sich allgemein heute?					
<u>gut</u>					
Wie fühlen sie sich körperlich?					
<u>gerüstet für, etwas verregnet von Wetter</u>					
Was haben sie zuletzt gegessen und wann?					
<u>Suppe mit Nudeln, Brot, Obst - gegen 7</u>					
Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?					
<u>keine</u>					
Haben Sie gut geschlafen?					
<u>ja</u>					
Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?					
☐ sehr kalt		☐ kalt		☒ eher kühl	
☐ eher warm		☐ warm		☐ heiß	
☐ sehr heiß		☐ sehr heiß			

Datum: <u>10.06.2015</u> <u>Blk</u>		A1 Stammdatenblatt		selbstauszufüllen	
Vor- und Nachname: <u>Person 1</u>					
Geburtsdatum: <u>16.09.1998</u>				<u>Alles S</u>	
Alter: <u>26</u>					
biologisches Geschlecht: ☒ weiblich		☐ männlich			
Körpergröße: <u>168</u> cm				<u>Kern: 37,2</u>	
Körpergewicht: <u>63,4</u> kg					
Körperfettanteil: <u>16,8</u> %					
Sind Sie Raucher? ☐ Ja		☒ Nein			
Wie regelmäßig treiben sie Sport?					
Stunden pro Woche: <u>6</u>					
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):					
<u>Volleyball</u>					
<u>Bouldern / Klettern</u>					
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?					
<u>17 Std Homeoffice oder Bibliothek (Uni)</u>					

Datum: 10.06. 2016
Name: Person A

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ eher wohl ☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm + frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

schwer (habe eigene Vorkenntnisse)

Sind Sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein (im Vorraum vollklebt)

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen an der 1. Stufe runter

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral ☒ eher angenehm ☐ angenehm

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

an der Ma gearbeitet

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für Sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

irgend angenehm, manchmal etwas kalte Füße
keine Beschwerden von Arbeit

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

/

Datum: 11.06. 13:00 A2 Vorbefragung C Nachbefragung
Name: Person A Allgemeines Wohlbefinden Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
gut Motorrad

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
gut

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
angenehm

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
eher leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☒ eher unangenehm ☐ neutral
☒ eher angenehm ☐ angenehm
als Bibliothek als Zuhause

Haben Sie gut geschlafen?
ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
Käsebraten gerade eben, vor letzter Frühstück (ca. 11 Uhr)

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
heute nur Wasser

Datum: Name:	C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage
Datum: 13.06 Name: Person A		A2 Vorbereitung Allgemeines Wohlbefinden
Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] <u>Auto</u>		
Wie fühlen Sie sich allgemein heute? <u>gut</u>		
Wie fühlen sie sich körperlich? <u>noch gut</u>		
Was haben sie zuletzt gegessen und wann? <u>7:30 Brot mit Zucchini 6:30 Nudel mit Bolognese</u>		
Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? <u>6:30 Joghurt-Haferbrei</u>		
Haben Sie gut geschlafen? <u>ja</u>		
Wie würden Sie das Weiter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß		
Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“) <u>an der Handkurbel gearbeitet</u>		
Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen) <u>„Zunächst fühlte es sich warm an, dann wurde es kälter, dann wurde es wieder wärmer.“</u>		
Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung) <u>Nein</u>		

Datum: 13.06 8:00
Name: Person A

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

gut

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

gar am Anfang nach dem Benutzen, danach nicht

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☒ angenehm

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

An der Markierung gearbeitet

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

komfortabel, angenehm - bevor die die Vorhänge blende weniger hell

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

nichts

Datum: 17.06. 13:00 A2 Vorbefragung Name: Person A Allgemeines Wohlbefinden Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] <u>ja morgen Tag & Nacht 10:00 Uhr gemutet</u> Wie fühlen Sie sich allgemein heute? <u>gut</u> Wie fühlen Sie sich körperlich? <u>sehr gut</u> Was haben Sie zuletzt gegessen und wann? <u>China an warme (Mittag) 11:30 - 12:00</u> Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? <u>keine nur Wasser</u> Haben Sie gut geschlafen? <u>ja</u> Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß	Datum: 17.06. 13:00 C Nachbefragung Name: Person A Befinden und Aktionen im Versuchsraum Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? <u>angenehm frisch</u> Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? <u>mittel</u> Sind Sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? <u>Nein</u> Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral ☐ eher angenehm ☒ angenehm
---	---

Datum: 25.06. 08:00 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: Razon A Allgemeines Wohlbefinden 37/3

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
ja mit dem Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
gut

Wie fühlen sie sich körperlich?
auch gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
kurz nach 7 Uhr Abendessen: 150g B. Joghurt

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
nur Wasser heute

Haben Sie gut geschlafen?
ja

Wie würden Sie das Weiter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
An Wandtafel gearbeitet

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
lag sand wasser, bisschen kühler
aber wurde wieder besser

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsteiler, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)
/

Datum: 25.06.08.00
Name: BBSR A

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage
37,0

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ wohl
☐ sehr wohl

☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm + frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

geht so (vollständ. liegt es am Stoff)

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nie

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☐ etwas hochzudrehen
☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen
☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm
☐ eher unangenehm
☒ angenehm
☐ neutral
☐ sehr angenehm

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

An der M3

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Warmer aber trotzdem noch angenehm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Stoß an der Tür ist abgepasst
Mikrofon am Tisch macht Geräusche am Mikrofon

Datum: 26.04.2020 8:00 Name: Person A A2 Vorbereitung Allgemeines Wohlbefinden mündliche Abfrage 37,1 Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] <u>mit dem Auto</u> Wie fühlen Sie sich allgemein heute? <u>gut</u> Wie fühlen sie sich körperlich? <u>sehr gut</u> Was haben sie zuletzt gegessen und wann? <u>Hühnerfleisch 1h30 heute nach 7</u> Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? <u>keine Milch</u> Haben Sie gut geschlafen? <u>ja</u> Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß	Datum: 26.04.2020 8:00 Name: Person A C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage 37,2 Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? <u>angenehm und frisch</u> Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? <u>leicht</u> Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? <u>Nein</u> Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☐ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral ☐ eher angenehmer ☒ angenehmer
--	--

Datum: 30.06 13:00 A2 Vorbereitung mündliche Abfrage
 Name: Person 1 Allgemeines Wohlbefinden 37,3

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
 Auto, Zug & Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
 gut

Wie fühlen sie sich körperlich?
 grundsätzlich gut, das beiben wird gehen

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
 kein Frühstück 12:30

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
 Wasser

Haben Sie gut geschlafen?
 ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
 Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
 Handarbeit

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
 Es ist mir durchgehend angenehm, verschoben an der Heizung
 kälter aber nicht unangenehm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchseileiter, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)
 nein

Datum: 30.06 13.06
Name: Person A

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

37,3

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ wohl
☐ sehr wohl
☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

gut

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

es hat sich aber am Ende

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☐ etwas hochzudrehen
☐ etwas runterzudrehen
☐ hochzudrehen
☐ genauso lassen
☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehmer
☐ eher unangenehmer
☐ neutral
☐ angenehmer
☐ eher angenehmer

Datum: 30.06 13.06
Name: Person A

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

E-Mail geschrieben, MA

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

bei dem Ende angenehm
es war mir sehr warm, das war es für
sehr warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 30.06.25
Name: Person A

D Abschlusbefragung

selbstausszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumaussstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Nicht ganz wie Büroraum, da wenige Gegenstände, aber trotzdem angenehme / nicht störende Atmosphäre

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

der am Fenster

Denken Sie bitte an ihren Alltag:

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

Am Schreibtisch sitzend, wenn ich Füße und Hände

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?

körperliche Arbeit

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

tendenziell eher öfter zu warm Oberkörper

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Füße am ehesten

Datum: 30.06.25
Name: Person A

D Abschlusbefragung

selbstausszufüllen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

x In 2-Familienhaus aus 1980?

x Zentralheizung

x Heizkörper

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

Nein

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

Nein

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

Licht angenehm

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Eher hellhörig aber hat nicht direkt gestört

Datum: 30.06.25 D Abschlussbefragung selbstauszufüllen

Name: Person A

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Immer öfter zwischen durch darauf geachtet, wie
~~schlecht~~ mein Temperaturempfinden im Moment ist
Tendenz: es wurde es wärmer mit Voranschreiten
der Versuchsreihe

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

Immer Freundlich & entspanntes Klima :)
Fragen waren klar formuliert und dadurch,
dass es immer die gleichen waren hatte man
einen guten Vergleich zu anderen Tagen
Infos zum Ablauf etc. gut, verständlich
erklärt

Testperson 2

Datum: 10.06.2006	A1 Stammdatenblatt	selbstausszufüllen	A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden	mündliche Abfrage
Name: Person 2				

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

zu Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

sehr gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

Stapfen, Maultier, Brot, gutem Abend

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

heute nicht

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☒ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstausszufüllen
Vor- und Nachname: Person 2		
Geburtsdatum: 27.05.2002		
Alter: 23		
biologisches Geschlecht: ☐ weiblich ☒ männlich		
Körpergröße:	184	cm
Körpergewicht:	86,6	kg
Körperfettanteil:		%
Sind Sie Raucher?	☐ Ja ☒ Nein	
Wie regelmäßig treiben Sie Sport?		
Stunden pro Woche:	6-8	
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):		
Kampfsport, Fitness, Krafttraining		
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?		
3h Vorlesung + 5-8h Homeoffice		

Datum: _____ C Nachbefragung
Name: _____ Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

anfeilen + schleifen

Wie würden Sie Ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten würden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Schwere an der Rückenpartie

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Schmerz vor allem an der Hüfte
A4 mehr an A3 anstelle von A4

Datum: 10.06.2016 C Nachbefragung
Name: Person 2 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral

☒ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

sehr angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

am Anfang wenn im Bed

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zu lassen

☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral

☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 12.06. 13:00 A2 Vorbefragung
Name: Person 2 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Ja sehr heiß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

sehr gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Hühner mit Nudeln 11:50

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

nur Wasser

Haben Sie gut geschlafen?

Ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 12.06. 13:00 C Nachbefragung
Name: Person 2 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ sehr wohl ☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

sehr gut

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nur am Anfang, weil es im Vorraum warm war

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☒ neutral ☐ eher angenehmer ☐ angenehmer

Datum: 12.06. 13:00 C Nachbefragung
Name: Person 2 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Datum: 13.06. 13:00 A2 Vorbefragung
Name: Person 2 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nur am Anfang, weil es im Vorraum warm war

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

(Auto) zu Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

sehr gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Bier (Frühstück) um 9:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Tea 9:00

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

- ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 13.06 13:00
Name: Person 2

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

keine frische sein (stinkt)
sehr

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

schwer

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

am Anfang (Shirt & Hand)

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 13.06 13:00
Name: Person 2

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Regenwald

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

zuerst dann hätte Feife, dann nur Luftqualität

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein (Tisch A umschalt)

Datum: 16.06.25
 Name: Person 2
 C Nachbefragung
 Befinden und Aktionen im Versuchsraum
 mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)
 8:00
 Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
 sehr gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?
 sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
 Pancakes 6:30

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
 heute nur Wasser

Haben Sie gut geschlafen?
 ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
 sehr kalt
 kalt
 eher warm
 warm
 sehr heiß

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
 sehr unwohl
 unwohl
 eher unwohl
 wohl
 sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
 zu angenehm und stickig wie der Raum riecht?

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
 leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
 nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
 hochzudrehen
 etwas hochzudrehen
 etwas runterzudrehen
 runterzudrehen
 genauso zulassen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
 unangenehmer
 eher unangenehmer
 neutral
 eher angenehmer
 angenehmer

3711

Datum: Person 2 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: 18.08.25 Allgemeines Wohlbefinden

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
Ja, zu Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
Sehr Gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?
Sehr Gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?
11:45 ; Suppen mit Rippchen

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
7:15 Kaffee

Haben Sie gut geschlafen?
Nein; zu kurz 2 Stunden; Randalrest
gequält

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß
kommt drauf an ob man in der Sonne ist

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
programmiert

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für Sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
ganz angenehm wie letzte mal auch, Belüft.,
Pause zu oft

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)
kein

Datum: 18.06.25
Name: Person 2

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Rachschacher programmieren

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

- es ganz angenehm + warm sind abgefallen, teilweise etwas unklar - "abgeschwächtes" Gefühl

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 18.06.25
Name: Person 2

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm, frisch stickig

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Ja, am Anfang

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral ☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 26.03 13:00 A2 Vorbefragung
Name: Person 2 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

375

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

zu Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

sehr gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

12 Steak mit Pommes

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

7:00 Kräutertee

Haben Sie gut geschlafen?

ja (beiden waren)

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

(Sonne)

Datum: 26.06 13:00 C Nachbefragung
Name: Person 2 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

371

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
gut, könnte frischer sein

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nur am Anfang (wischer, aus dem Korbchen)

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☒ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ angenehm ☐ neutral

(ins der Bibliothek)

Datum: 20.06 10:30 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
 Name: Rosen 2 Allgemeines Wohlbefinden 37,3

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
 ja Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
 eher gut

Wie fühlen sie sich körperlich?
 auch eher gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
 Kebab 7:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
 heute nur Wasser

Haben Sie gut geschlafen?
 ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ eher kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
 Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
 Papparbeiten

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
 Es war im beiden warm oder warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)
 BS 14:20 rausgeholt; 14:26 BS rausgeholt
 im 1ten Durchgang steht -3 eigentlich beheizt +3

Datum: 30.06.19:30
Name: Person 2

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

36,8

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ unwohl
☐ wohl
☐ sehr wohl
☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

am Anfang ganz okay, am Ende zu warm & stickig hat Kopfschmerzen verursacht

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

am Anfang gut, am Ende zu warm & stickig hat Kopfschmerzen verursacht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein
nicht gefühlt, aber beim Schlafen

Halten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☐ etwas hochzudrehen
☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen
☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm
☐ eher unangenehm
☐ neutral
☐ eher angenehm
☐ angenehm

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Anfangs passiv, dann nicht ausgeübt

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenfrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Am Anfang angenehm und zum Schluss zu warm, stickig & der Raum nicht richtig gut

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

A 12 11:30 wieder gemacht (vergeblich)

Datum: 30.06.25
Name: Person 2

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt Ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird Ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

1980 - 1990

In Ordnung

Heizkörper

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

Ja, es ist zu warm und stickig

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

Ja, zu warm + stickig

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

Ja

Beschreiben Sie in zwei Sätzen Ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Nicht gut, lange Nachhallzeit, unangenehme Geräusche im Hintergrund

Datum:
Name:

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumaussstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Raumausstattung erfüllt Mindestanforderung, "kalt" und "leer"

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

A (seitlich zum Fenster)

Denken Sie bitte an Ihren Alltag:

In welchen Situationen ist Ihnen regelmäßig kalt?

Luftheizung an den Füßen (im Winter)

In welchen Situationen ist Ihnen regelmäßig warm?

Langes T-Shirt; auf dem Weg zur Uni (in der Sonne, keine Bäume)

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

zu warm, Oberkörper, Kopf

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Füße bei Regenhalten

Datum: Name:	D Abschlussbefragung	selbstauszufüllen
-----------------	----------------------	-------------------

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

- Anbringung der Sensoren t.T. schwierig → schnell schwarze Tage

- Geruch im Versuchsraum ist nicht angenehm (Färbung?)

- Unruhe im Versuchsraum ist unangenehm → sehr laut → sehr nervig → schnell

Testperson 3

Datum: <u>10.06.15</u> Vor- und Nachname: <u>Person 3</u> Geburtsdatum: <u>02.03.2007</u> Alter: <u>24</u> biologisches Geschlecht: ☒ weiblich ☐ männlich Körpergröße: <u>171</u> cm Körpergewicht: <u>89,6</u> kg Körperfettanteil: <u>33,4</u> % Sind Sie Raucher? ☐ Ja ☒ Nein Wie regelmäßig treiben sie Sport? Stunden pro Woche: <u>4</u> Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft): <u>Winterschwimmen</u> _____ _____ _____	Datum: <u>10.06.10:30</u> Name: <u>Person 3</u> A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] <u>ja</u> <u>Bg</u> Wie fühlen Sie sich allgemein heute? <u>gut</u> Wie fühlen sie sich körperlich? <u>sehr gut</u> Was haben sie zuletzt gegessen und wann? <u>Musli 8:30</u> Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? <u>/</u> Haben Sie gut geschlafen? <u>ja</u> Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß	selbstauszufüllen A1 Stammdatenblatt Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] _____ Wie fühlen Sie sich allgemein heute? _____ Wie fühlen sie sich körperlich? _____ Was haben sie zuletzt gegessen und wann? _____ Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? _____ Haben Sie gut geschlafen? _____ Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß
--	---	---

Datum: 10.06.10:30 C Nachbefragung
Name: Person 3 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☒ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☒ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 10.06.10:30 C Nachbefragung
Name: Person 3 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Arbeit am Projekt

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Komfortabel, weil man das bräunliche Licht

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein, keine weiteren Beobachtungen

Datum: 13.06.13:00 C Nachbefragung
Name: Person 3 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Datum: 13.06.13:00 A2 Vorbefragung
Name: Person 3 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☒ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

gut Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

noch gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Noch 9:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

guten Abend Apple-Juice

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

- ☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

gut

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: _____
Name: _____

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Reinachen (Arbeit)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Angenehm etwas (zu) heiß, geht noch

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 20.06 13:00
Name: Person 3

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

377

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja mit dem Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

9:30 Brotchen

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

vorher kein

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ heiß ☐ sehr heiß
☐ eher warm ☐ warm

Datum: <u>22.06.13:00</u> C Nachbefragung Name: <u>Reinold</u> Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage <u>36,9</u>	Datum: _____ C Nachbefragung Name: _____ Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage _____
Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl			
Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? <u>etwas angenehm</u>			
Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? <u>leicht</u>			
Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? <u>nein</u>			
Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen			
Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral ☐ eher angenehm ☐ angenehm			

Datum: _____ C Nachbefragung Name: _____ Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage _____
Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“) <u>Rechenarbeit</u>	
Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen) <u>komfortabel, gute Temperatur um sich zu bewegen</u> <u>gute Temperatur, nicht so heiß wie das Wetter drin</u>	
Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung) <u>nein</u>	

Datum: 23.06.25 Name: Person 3 A2 Vorbereitung Allgemeines Wohlbefinden mündliche Abfrage 37,1 Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise) ja, E-scooter Wie fühlen Sie sich allgemein heute? gut Wie fühlen sie sich körperlich? sehr gut Was haben sie zuletzt gegessen und wann? guten Abend 20:00 Kartoffelkugeln Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? Bottle 100% Vorrat Haben Sie gut geschlafen? ja Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß	Datum: 23.06.25 Name: Person 3 C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage 36,5 Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? eher angenehm Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? leicht Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? nein Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen Vergleichen Sie mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☐ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☒ neutral ☐ eher angenehmer ☐ angenehmer
--	---

Datum: 23.06.25 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 3 8:00 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Reinigungsarbeit

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

es war gut, weil ich den Raum kühl, aber optimal empfand

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 24.06.25 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 3 13:00 Allgemeines Wohlbefinden 136,8

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja mit dem Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

Bohnen 8:30

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Bier und Wein Donnerstag

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ heiß ☐ eher kalt ☐ eher heiß

366 Seite 3

Datum: 26.06.13:00
 Name: Peter 3

mündliche Abfrage

C Nachbefragung
 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ wohl
☐ sehr wohl

☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

zwischen durch etwas stickig

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☐ etwas hochzudrehen
☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen
☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm
☒ eher unangenehm
☐ neutral
☐ eher angenehm
☐ angenehm

Datum:
 Name:

C Nachbefragung
 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Rechnen

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Bischof zu hell aber noch erträglich

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 26.06. 13:00 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 3 Allgemeines Wohlbefinden 37,3

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)
ja Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
gut

Wie fühlen sie sich körperlich?
auch gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
Nacht 5:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
Bier und kalte Wodka

Haben Sie gut geschlafen?
ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 26.06. 13:00 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 3 Befinden und Aktionen im Versuchsraum 37,1

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☒ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
wahr gut, aber mal nicht so hoch, wie letztes Mal

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☒ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 30.06.2020
Name: Person 3

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Probieren

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Es war etwas kühl (wird aber erträglich)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Als Beobachter hört man

Datum: 30.06.2020
Name: Person 3

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

37,0

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

gut

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Brötchen vor 7

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 29.06.24 8:00
Name: Person 3
C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage 36,8

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

eher stickig

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum:
Name:
C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Redezeit

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Anfangs kälter, später wärmer, warm am Ende

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 30.06.23
Name: Person 3

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

EG, etwa 19. Jh. (Mittelalt. 1850), k.a. (mangelhaft, aber sehr dick)
Vandal, Fußbodenheizung, Heizkörper

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

Nein

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

Ja, es war etwas stickig

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

Ja

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Hörte man keine Geräusche von außen herein.
Aber sehr hell und warm, hat gutes Geruch

Datum: 30.06.23
Name: Person 3

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumausstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Sticht aber praktisch zum Aussehen

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

Der links von der Tür aus, da wirke wir beim Testen
gute Idee

Denken Sie bitte an ihren Alltag:

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

Wenn man aus der Dusche kommt

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?

Beim Sport und beim Kochen

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

Wenn man im Winter kalt und Sommer warm, aber im Winterfall wärmer

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Nein

Datum: 30.06.25 D Abschlussbefragung selbstauszufüllen
Name: PETER S

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Nicht, dass es mir auf, falls wäre

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

Sehr netter Mann. Die Aufgabenstellung ist sehr simpel und leicht zu befolgen. Der Großteil der Frage ist schnell zu beantworten. Die Frage nach dem Empfinden der ~~Temperatur~~ Temperatur nach dem Versuchen von mit 1-2 Jahren etwas schwächeren in Kombination, das es in ein paar Minuten sehr leicht erfüllt war. Man hätte vielleicht ein Video von dem mehr oder weniger hören, was die gesamte Darstellung ergibt, also das man während des Versuchs andere Dinge machen können von Beispiel. Insgesamt aber eine schöne Erfahrung und gut alles ist geplant. :)

Testperson 4

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstausszufüllen	Datum: 10.06. 10:30	A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden	mündliche Abfrage
Name: Person 4					

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

entspannt

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

heute nichts

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Gründer (lang her)

Haben Sie gut geschlafen?

ja 5h

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Vor- und Nachname: Person 4

Geburtsdatum: 10.06.2001

Alter: 24

biologisches Geschlecht: ☐ weiblich ☒ männlich

Körpergröße: 172 cm

Körpergewicht: 69,5 kg

Körperfettanteil: 27,3 %

Sind Sie Raucher? ☐ Ja ☒ Nein

Wie regelmäßig treiben sie Sport?

Stunden pro Woche: 5h

Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):

Ausdauer & Kraft, Jogging, Krafttraining

Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?

ca 40h

Datum: 10.06. 10:30 C Nachbefragung
Name: Person 4 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ wohl
☐ sehr wohl
☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☐ etwas hochzudrehen
☐ etwas runterzudrehen
☒ genauso zulassen
☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm
☒ eher unangenehm
☐ neutral
☒ eher angenehm
☐ angenehm

Datum: 10.06. 10:30 C Nachbefragung
Name: Person 4 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

vorbeigehen

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Komfortabel, etwas kühl, da der Fußboden

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 12.06.2025
Name: Person 4

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

Gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr Gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Schweinestisch mit Brot (Grillen)
18:00 Uhr

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Limmo am Abend zuvor

Haben Sie gut geschlafen?

Gut (5-6)

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 12.06.2025
Name: Person 4

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ sehr wohl ☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
frisch, eher angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ eher angenehm ☐ angenehm ☐ neutral

Datum: Name:	C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage
Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)		
gelassen		
Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenhin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)		
Komfortabel, aber noch 3 Befragte etwas kälter an den Füßen		
Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)		
/		

Datum: 13.06. 2020 Name: Person 4	A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden	mündliche Abfrage
Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]		
ja mit Bus		
Wie fühlen Sie sich allgemein heute?		
gut		
Wie fühlen sie sich körperlich?		
sehr gut		
Was haben sie zuletzt gegessen und wann?		
gelber Reis, Reis & Fleisch		
Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?		
Bier auf der letzten Mittagspause		
Haben Sie gut geschlafen?		
ja		
Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?		
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß		

Datum: 13.06.2020 8:00
Name: Person 4

Datum: _____
Name: _____

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ eher wohl ☐ neutral

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
geht, gehen

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
gut frisch (gute Durchlüftung)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Währenddessen wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
komfortabel, im Vergleich zu der anderen Versuchsraum nicht
hält (an der Faser)

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
leicht

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)
Bei Befragungsfeldern fehlt
die Beschriftung von -16-3
+10+5

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☒ angenehm

Datum: 17.06.25 8:00 A2 Vorbefragung
 Name: Person 4 Allgemeines Wohlbefinden

Datum: 17.06.25 9:00 C Nachbefragung
 Name: Person 4 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage
 36,1

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
 Ja, m. t. Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
 Gut

Wie fühlen sie sich körperlich?
 Gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
 Fleisch, gestern Abend

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
 Sonntag

Haben Sie gut geschlafen?
 Ja, 6 Stunden

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
 sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
 sehr warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
 sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
 eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
 frisch angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
 leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
 Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
 hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
 etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
 unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
 eher angenehm ☒ angenehm

Datum: 17.06.25 Name: Person 4	C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage
Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“) Geloben, Reden		
Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen) komfortabel, eher warm, kurz vor Ende etwas kühler an den Füßen		
Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung) Wasser klappt		

Datum: 18.06.25 Name: Person 4	A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden	mündliche Abfrage
Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] Ja, Bus		
Wie fühlen Sie sich allgemein heute? Gut		
Wie fühlen sie sich körperlich? Gut		
Was haben sie zuletzt gegessen und wann? Apfel, gestern oben		
Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? Sonntag		
Haben Sie gut geschlafen? Ja, 5 Stunden		
Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ sehr warm ☐ eher kalt ☐ kühl ☐ heiß ☐ eher heiß		

Datum: 18.06.25
Name: Regina 4

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

30.7

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

Eher frisch, angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

hat telefoniert deshalb keine Konzentration
notwendig

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ angenehm
☐ eher angenehm ☐ neutral

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

telefoniert

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

hübsch, komfortabel, betont Unwohlsein
war aber nicht zu warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsführer, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

/

Datum: 26.06. 8:00 Name: Pascal 4	A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden	C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage		36,1

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?

gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

guten Abend letzte Nacht

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Apfelsaft, Radler

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

frisch, komfortabel

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind Sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☒ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 04.07. 8:00
Name: Person 4

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

gelenk, Internet recherchieren

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

komfortabel, nicht unbefriedigend wie letzter Raum

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 04.07. 8:00
Name: Person 4

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?

gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

guten Abend Torte

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

klare Mineralwasser Flasche

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☒ sehr kalt

☐ kalt

☐ warm

☐ sehr warm

☐ kühl

☐ heiß

☐ eher kühl

☐ eher heiß

Datum: 01.07.2020
Name: Person 4

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

frisch, angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☒ angenehm

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Gelesen

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

nicht zu heiß, nicht zu warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

✓

Antwort: wir ist einfach, aber halt nicht gut

Befragung: Thermische Behaglichkeit als Studie & Hülle

Datum: 01.07.2015
Name: Person 4

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

Nein.

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

Nein.

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

Ja. Die Lichtstärke hat mich nicht gestört, aber ich finde aus lange Sicht ist es etwas für die Augen, da das Licht sehr ungünstig ist.

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Der Ton ist sehr klar im Versuchsraum etwas lauter als in anderen Räumen (z.B. Hwi Raum, Banphysik). Schallpegel sollte evtl. sinken lassen.

Datum: 01.07.2015
Name: Person 4

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumaustattung im Versuchsraum empfunden haben:

(unhöre) praktisch nicht zu viele Gegenstände; eigentlich nur was man in Alltag braucht.

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

Der Sitzplatz gegenüber dem Fenster

Denken Sie bitte an ihren Alltag:

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

Morgens beim Aufstehen, und kurz vor dem Schlafen

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?

Klassisch beim laufen Sport, aber auch beim Essen

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

Mir ist regelmäßig eher zu warm, jedoch in fast ganzen Körper. Ich habe aber nie relativ kalte Füße.

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Ja, meine Füße. Ich empfinde sie relativ schnell die Kälte an den Füßen.

Datum: _____ D Abschlussbefragung _____ selbstauszufüllen
Name: _____

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Ja, es war mir relativ unbehaglich, weil es sehr heiß war, aber als es kälter wurde, war es mir an den Fingern eher kalt als an den Händen. Ich war auch mehrmals nicht mehr so kalt wie am Anfang.

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

Die Versuchsreihe war gut, angenehm. Die Fragen waren auch klar und eindeutig formuliert und leicht beantwortbar. Man kann auch im Versuchsraum sehr gut mit seinen eigenen Ideen beschäftigen oder mit anderen Proben zuhause.

Testperson 5

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstauszufüllen
Vor- und Nachname:	Person 5	_____
Geburtsdatum:	21.10.1999	_____
Alter:	25	_____
biologisches Geschlecht:	☒ weiblich ☐ männlich	_____
Körpergröße:	160,5	_____ cm
Körpergewicht:	56,8	_____ kg 19,7 20,6 54,6 37,1
Körperfettanteil:	20,6	_____ % Ohrthermomet
Sind Sie Raucher?	☐ Ja ☒ Nein	37,1 °C
Wie regelmäßig treiben sie Sport?	_____	_____
Stunden pro Woche:	4h	_____
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):	Spaziergänge	_____
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?		
Uni Bibliothek, Gebäude 1, Gebäude 29, Zuhause		
Sehr oft, länger als 8h am Tag		

Datum: 10.06. 13:00 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Pascal S Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Erpandert, um Laptop reibend

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Durch meine Bewegung kühle Füße

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 10.06. 13:00 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Pascal S Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

angenehm leicht, aber unterhalten

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral ☒ eher angenehm ☐ angenehm

etwas kühler

Datum: 11.06.2020 A2 Vorbereitung
Name: Person 5 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

Ja + Bus und gehen

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

auch gut fit

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Tagelimon (Shake) um 7

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Orbit

Haben Sie gut geschlafen?

Ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☒ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 11.06.2020 C Nachbefragung
Name: Person 5 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
angenehm warm + angenehm
sehr frischer, was gehen charakter

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 13.06.10:30 C Nachbefragung
Name: Rosen 5 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Datum: 13.06.10:30 A2 Vorbefragung
Name: Rosen 5 Allgemeines Wohlbefinden

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

3D-Modellbau

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

erst Fahrrad (aber nur Bergab) dann zu Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

komfortabel nur ganz kurz

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

gestern Abend (Carlsberg)

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

gestern

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ heiß
☐ eher kalt ☐ kühl ☐ eher heiß ☐ sehr heiß

Datum: 13.06.10.30 C Nachbefragung
Name: Person 5 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

gut (etwas kühler als im Vorraum)

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

gut

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☒ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: C Nachbefragung
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Rechenarbeit

Wie würden Sie Ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenhin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Es war komfortabel + im Vorraum (gegenüber dem Vorraum kühl)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

nein (Heizung offen oder zugeblasen)

mit offener Heizung Wärme

Wurde nicht mal offen oder

Datum: <u>16.06.25</u> Name: <u>Person 5</u> 13:00 A2 Vorbereitung Allgemeines Wohlbefinden mündliche Abfrage Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] <u>Fahrrad & gelaufen.</u> Wie fühlen Sie sich allgemein heute? <u>gut</u> Wie fühlen sie sich körperlich? <u>gut</u> Was haben sie zuletzt gegessen und wann? <u>10:45, Erdbeereis</u> Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? <u>10:45, Pfefferminztee, kalt</u> Haben Sie gut geschlafen? <u>ja</u> Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß	Datum: <u>16.06.25</u> Name: <u>Person 5</u> 13:00 C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? <u>etwas angenehm, frisch</u> Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? <u>etwas angenehmer (sagt lag an ihr, "abgeleitet")</u> Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? <u>etwas schwieriger (sagt lag an ihr, "abgeleitet")</u> Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? <u>/</u> Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☐ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral ☐ eher angenehmer ☒ angenehmer
--	--

Datum: 25.06. 15:30
Name: R32115

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Zeichnen, modellieren (Computerarbeit)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

komfortabel, an Fingern & Hände kälter,

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsfahrer, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

/

Datum: 25.06. 15:30
Name: R32115

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

373

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

gut, selbst an der Uni gewesen

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut, aber Kopfschmerzen (verursacht wegen der Hitze oder zu wenig Essen)

Wie fühlen Sie sich körperlich?

stark

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

ein Proteinriegel 14:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Wasser

Haben Sie gut geschlafen?

ja, aber wenig 5 bis 9

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 25.06 15:30 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Bastian S. Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
 etwas kälter

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
 leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
 nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☒ eher angenehmer ☐ angenehmer

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
 telefoniert, Tennis organisiert

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
 es wäre angenehmer gewesen mit langer Pause;
 statt Kfz halt, dass man unwohl/wohl an der Stelle sein

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)
 nichts

Datum: 26.06 10:30 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 5 Allgemeines Wohlbefinden 36,5

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
etwa ja mit dem Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
gut

Wie fühlen sie sich körperlich?
sehr gut - etwas Kopfweh, was gegen (unten links) hilft

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
heute nichts

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
mit Wasser

Haben Sie gut geschlafen?
ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 26.06 10:30 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 5 Befinden und Aktionen im Versuchsraum 36,8

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
leicht und sehr viel weniger (am Ende konzentriert)

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☒ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☒ angenehm

Datum: 30.06 10:30 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage 36,9
Name: Rosen 5 Allgemeines Wohlbefinden

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
ja gut

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?
auch gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?
heute nichts

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
nur Wasser

Haben Sie gut geschlafen?
ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ eher kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
3D Modellieren

Wie würden Sie Ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für Sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
Es war beides, als im Vorraum es auch nach dem 3D Druck noch etwas kühlt

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)
/ Meine Nase tut weh, Sie tut es was es heißt ist, es ist etwas in der Luft liegt was mich nerven lässt

Datum: 30.06. 10:30
Name: Person 5
C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage
26.7

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☒ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

sehr gut / stickig / unangenehm sehr befeuchtet

sehr gut / stickig / unangenehm sehr befeuchtet

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

erleichtert / leicht / schwer / nicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum:
Name:
C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Zeichnen CAD

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Mittel zu warm aber auch nicht heiß
neutral und etwas warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein, keine Probleme

Datum: 30.06.2025
Name: Person 15

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt Ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird Ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter)

Familienhaus 2020, neu, Bodenheizung / ~~Elektron~~

Wohnen Lie-Mehrer

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

ja, sehr stückig oder Fenster aufmachen

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

ja

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

ja

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

keine Schallabsorption, ~~sonst~~ -> man hört das andere, Raum

Datum:
Name:

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumausstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Der Raum war gut ausgestattet, so dass man auch etwas zum Schreiben hatte. Wasser wurde zur Verfügung gestellt.

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

Ich saß bisher immer hinten, nicht am Fenster, das kann ich das nicht vergleichen. Bin aber zufrieden mit der Platzwahl.

Denken Sie bitte an ihren Alltag:

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

Wind, Abends, manchmal im Schatten, wenn die Sonne nicht stark scheint, im Keller

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?

in der Sonne, im Bett

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

eher warm momentan, wegen der Sonne/Sommer

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Hande und Füße werden meist kälter

Datum: _____ D Abschlussbefragung _____ selbstauszufüllen
Name: _____

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

sehr freundlich, verständlich

Testperson 6

A1 Stammdatenblatt		A2 Vorbefragung		mündliche Abfrage	
Datum:	Name:	Datum:	Name:	Datum:	Name:
10.06.13:00	Pers 6	10.06.13:00	Pers 6		
Vor- und Nachname: Pers 6		Allgemeines Wohlbefinden		Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)	
Geburtsdatum: 10.07.2004				Eindeut. Tag, Bei an der Uni gewesen	
Alter: 20		Wie fühlen Sie sich allgemein heute?		Wie fühlen Sie sich allgemein heute?	
biologisches Geschlecht: ☐ weiblich ☒ männlich		Chung Polter alltags		Chung Polter alltags	
Körpergröße: 180 cm					
Körpergewicht: 83 kg		Wie fühlen sie sich körperlich?		Wie fühlen sie sich körperlich?	
Körperfettanteil: 13,2 %		gut		gut	
Sind Sie Raucher? ☐ Ja ☒ Nein		Was haben sie zuletzt gegessen und wann?		Was haben sie zuletzt gegessen und wann?	
Wie regelmäßig treiben sie Sport?		kloster Salat gelbes Mittag		kloster Salat gelbes Mittag	
Stunden pro Woche: 8		Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?		Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?	
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):		gelbes Mittag - Tinkerschokolade		gelbes Mittag - Tinkerschokolade	
Kraftsport (Fitnessstudio)		Haben Sie gut geschlafen?		Haben Sie gut geschlafen?	
		ja (dunkel)		ja (dunkel)	
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?		Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?		Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?	
8h Vorlesung + Homeoffice		☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ eher warm ☐ sehr heiß		☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ eher warm ☐ sehr heiß	
		☐ eher kalt ☐ kühl ☐ heiß ☐ sehr heiß		☐ eher kalt ☐ kühl ☐ heiß ☐ sehr heiß	

Datum: 10.06. 13:00 Name: Raza B	C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage 26.6
-------------------------------------	--	---------------------------

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

neutral

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Small talk

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Herzvol: Herzlichst, Eingecroft, sagen keine Bewertung

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☒ eher angenehm ☐ angenehm

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

nicht heranzukommen

Datum: 13.06. 10:30 A2 Vorbefragung
Name: Person 6 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Anreise

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

brüdes überhitzt

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

guten Abend Brot

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Kein

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 13.06. 10:30 C Nachbefragung
Name: Person 6 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
gut

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☒ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 20.06.13:00 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 6 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Abkantung, several Medica (Deen scalling)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

war sehr komfortabel, nicht allzu warm, aber hätte Richtung, was mir gefällt

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Freigeiz während der Versuche

Datum: 20.06.13:00 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 6 Allgemeines Wohlbefinden

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja, mit dem Motorrad

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

verschauelt, pollenallergisch

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

ne Banane, Muesli um 10

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

gestern Hand Gms

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ sehr heiß
☐ eher kalt ☐ kühl ☐ heiß ☐ eher heiß

Datum: 20.06.13:00 C Nachbefragung
Name: Person 6 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

36,6

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ sehr wohl ☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

eher angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen ☐ genauso zulassen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☒ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral ☐ eher angenehmer ☐ angenehmer

Datum: C Nachbefragung
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Gedank (Vorgesetzte) und deren Ordnen und Planen (Begrüßung)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

relativ angenehm + ging in der Wärme Rubben (vollkommen) bei der Luftwechsel ist viel (kälter zu)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 23.06.13:00 A2 Vorbefragung
Name: Person 6 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

37,2

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

ja, Zug / Öfen

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Brotzeit, gelber Abend 20.00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

gelber Abend, Zehn-Liter

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ heiß ☐ eher warm ☐ kühl ☐ eher kühl ☐ sehr heiß

Datum: 23.06.13:00 C Nachbefragung
Name: Person 6 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

36,6

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
eher frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ angenehm ☐ eher angenehm ☐ neutral

Datum: 24.06.13 00
Name: Reson 6

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

10 Regensystem über 6 Daten

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

angenehm + das sind (nicht) gefällt mir gerade in
basse Klamotten

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

nein

Datum: 24.06.13 00
Name: Reson 6

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja, ohne Zug & Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

guten Abend Brotchen

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

keinen Abend Zehrschokolade

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ heiß
☐ eher kalt ☐ kühl ☐ eher heiß ☐ sehr heiß

Datum: 24.06.17:00 C Nachbefragung
Name: Person 6 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

36,4

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ wohl
☐ sehr wohl
☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

frisch, angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

kein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☐ etwas hochzudrehen
☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen
☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm
☐ eher unangenehm
☒ neutral
☐ eher angenehm
☐ angenehm

Datum: C Nachbefragung
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausarbeit & Textarbeit am Handy

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Angenehm, während etwas frisch war
nicht geklappt

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 26.06. 15:30 A2 Vorbefragung
 Name: Person 6 Allgemeines Wohlbefinden

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Autos

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Bibbelen, 20.06. 22 Uhr

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Spitzing, 20.06. 20.06.

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☒ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 26.06. 15:30 C Nachbefragung
 Name: Person 6 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage 36,8

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

eher angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☒ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☒ neutral
☐ eher angenehmer ☐ angenehmer

Datum: 01.07. C Nachbefragung
Name: Rosen Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Datum: 10.30 A2 Vorbefragung
Name: Rosen Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

37,0

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

mit Handy lesen

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Donut, Müll 8:30

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Grüner Apfel, Schokolade

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ heiß ☐ sehr heiß
☐ eher warm ☐ warm ☐ eher kühl ☐ kühl

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

etwas warm, bräunen leicht, sich nicht bewegen zu können
Bsp. (poster offen, hatte nicht geillhardt)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 01.07. 10:30 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 6 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
 etwas stickig

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
 leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
 zwischen an der Hand aber kein viele

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☒ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Überprüfen + Heizung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Anfangs relativ kühl, wurde immer wärmer,
 bis warm und dann richtig geworden
 2 warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

✓

Datum: 01.07.2025
Name: Person 6

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen



Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

Baujahr: ~ 2000; Sanierung Stand: gut gedämmt; Zentralheizung
Fußbodenheizung

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

Nein

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

Nein

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

ja, war ok

Beschreiben Sie in zwei Sätzen Ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Da relativ wenig Möbel im Raum und andere Akustische Absorber vorhanden sind, hallt es. Die Akustik ist daher eher mangelhaft.

Datum:
Name:

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumausstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Bis auf 2 Tische gibt es keine. Die Raumausstattung ist sehr einfach gehalten und entspricht keinem typischen Büroraum

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

Am Fenster

Denken Sie bitte an Ihren Alltag:

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

Im Winter oder bei Wind und Regen

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?

Im Sommer in den meisten unklimalisierten Räumen

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

Eher zu warm, bei Bewegung nur die Hände bei Arbeit am Tisch / ohne Bewegung Füße und Hände.

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Hände

Datum: _____
Name: _____

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Nein

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

War nett, keine Beschweden. Formulierung der Fragen könnte
einf. die 1. Frage besser erklärt werden: Umfang der
vorab Informationen hätte den Ablauf der Versuche
noch besser erläutern können
bzw. genauer

Testperson 7

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstauszufüllen	Datum:	A2 Vorbefragung	mündliche Abfrage
Name:	Vor- und Nachname:	Geburtsdatum:	Alter:	Allgemeines Wohlbefinden	
11.06.2020	Person 7	07.11.2000	24	Person 7	
biologisches Geschlecht: ☐ weiblich ☒ männlich		Körpergröße: 184 cm	Körpergewicht: 63,8 kg	Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)	
Körperfettanteil: 24,3 %		Wie fühlen Sie sich allgemein heute?			
Sind Sie Raucher? ☐ Ja ☒ Nein		gut, besser als letzten 2-3 Tage wegen Allergie nicht so gut			
Wie regelmäßig treiben sie Sport?		Wie fühlen sie sich körperlich?			
Stunden pro Woche: 10		gut			
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):		Was haben sie zuletzt gegessen und wann?			
Radsport (Ausdauer -> Rausrad)		Schokolade gegen 9 Uhr (Vor 2 Stunden)			
		Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?			
		Kaffee vor 8:30			
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?		Haben Sie gut geschlafen?			
8-10 Stunden -> Homeoffice		ja			
		Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?			
		☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ sehr heiß ☐ eher kalt ☐ kühl ☐ heiß ☐ eher heiß			

Datum: 11.06. 10:30
Name: Person 1

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

2,2

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☒ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☐ wohl
☐ sehr wohl
☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

insgesamt angenehm
 am Anfang angenehmer, am Ende stickig

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☒ etwas hochzudrehen
☐ etwas runterzudrehen
☐ herunterzudrehen
☐ genauso zulassen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehmer
☐ eher unangenehmer
☒ neutral
☐ eher angenehmer
☐ angenehmer

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

wenig angedrückt
 mit Vorlage gearbeitet
 Bräunung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

warm der
 ...

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

gegen Ende Fühlte sich schlecht wegen Hunger
 ...

Datum: <u>16.06.2015</u> 10:30 A2 Vorbefragung Name: <u>Person 1</u> Allgemeines Wohlbefinden Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] <u>Auto</u> Wie fühlen Sie sich allgemein heute? <u>gut</u> Wie fühlen sie sich körperlich? <u>fit</u> Was haben sie zuletzt gegessen und wann? <u>Musli, 08:45</u> Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? <u>Kaffee, 08:45</u> Haben Sie gut geschlafen? <u>ja</u> Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl ☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß	Datum: <u>16.06.2015</u> 10:30 C Nachbefragung Name: <u>Person 1</u> Befinden und Aktionen im Versuchsraum Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? <u>eher frisch, angenehm</u> Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? <u>ja</u> Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? <u>kein</u> Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☒ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral ☐ eher angenehmer ☐ angenehmer
--	--

Datum: 18.06.25 10:30
Name: Ruzsa Z

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausarbeit, konzentriert

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

zu kühl, gegen Ende noch kälter (kalt),

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

nein

Datum: 18.06.25 10:30
Name: Ruzsa Z

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

mit dem Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?

fit

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

Shaker porridge 9:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

9:00 Kaffee

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ heiß
☐ eher kalt ☐ eher heiß

Datum: 18.06. 10:30 C Nachbefragung
Name: Ritsen 1 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausübung bearbeitet, sehr konzentriertes
Arbeiten

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Sehr angenehm, gute Konzentration, gecon-
zentriert

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

/

Datum: 18.06. 10:30 C Nachbefragung
Name: Ritsen 1 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ sehr wohl ☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☒ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral ☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 20.06. 10:30 A2 Vorbefragung
Name: Person 7

mündliche Abfrage

36,6

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja mit dem Auto, aus der Heimat

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

gegen 9 zwei Bröte

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Kaffee gegen 9 Uhr

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 20.06. 10:30 C Nachbefragung
Name: Person 7

Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

36,6

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ sehr wohl ☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

eher angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

ja am Ende etwas an den Händen

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Bedürfnis der Heizung

Bedürfnis am 23.6

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral ☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 23.06.10:30 Name: Person 7	C Nachbefragung Befinden und Aktionen im Versuchsraum	mündliche Abfrage
--------------------------------------	--	-------------------

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausübung (Bedienungsanleitung)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Tagesraum komfortabel, konnte sich gut bewegen
Reinert erst etwas kühler, gegen Ende war mir etwas warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 23.06.10:30 Name: Person 7	A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden	mündliche Abfrage
--------------------------------------	---	-------------------

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja mit dem Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

bestenfalls

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Stückchen Brot 9:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

3:00 Kaffee

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 23.06.19:30 C Nachbefragung
Name: Rosa 7 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

26,3

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

gute, angenehme

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☒ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: C Nachbefragung
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Heuteberg

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

beim Probieren, probieren, das ist noch komfortabel,
dann wiederum richtig ist!

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 24.06. 10:30 A2 Vorbefragung
Name: Person 1 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

36,8

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

ja mit dem Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

Salat, Pommes 9:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Kaffee 9:00

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 24.06. 10:30 C Nachbefragung
Name: Person 1 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

36,4

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ wohl ☐ sehr wohl ☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind Sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☒ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral
☐ eher angenehmer ☐ angenehmer

Datum: 01.07 10:30 Person 7
Name: Person 7

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Heizung jenseits

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Es war gut, warm und leicht, angenehm (auch das)
Auch eine kalte - das ist nicht so wie es ist

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Das Gefühl ist mir nicht bekannt

Datum: 01.07 10:30 Person 7
Name: Person 7

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Ja

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

auch gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Bratete 8:30

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Kaffee 8:30

Haben Sie gut geschlafen?

Ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ heiß ☐ sehr heiß
☐ eher warm ☐ warm ☐ eher kühl ☐ sehr kühl

Datum: 01.07.10 10:30 C Nachbefragung
Name: Rusan 7 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

36,7

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

gerade leicht stickig (aber)
offenbar angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

ja an den Händen am Ende (ohne Rötlich hatte Schweiß)

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: C Nachbefragung
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Heizung und offe Klamotten

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Zu Beginn ziemlich angenehm (niedrig hoch)
Beim Ende zu warm

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

✓

Datum: 01.09.25
Name: Person 1

D Abschlussbefragung

selbstausschließen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

Etagenheizung in einem Hochhausbau;
keine Beschickung zu Bungalow und (eingetragener) Garage;
Heizung (zentral);
Radiatoren ausschließlich im Winter

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

Nein

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

Nein

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

Ja, waren angenehm

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Sie Wahrnehmung der Akustik war eher schlecht in Folge der
Überlastung mit dem Gruppenraum.

Datum: 01.09.25
Name: Person 2

D Abschlussbefragung

selbstausschließen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumausstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Sie Raumausstattung empfand ich nicht einen typischen Versuchsraum.
Es ist sehr schön gestaltet.

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

der mit der Weg zum Fenster

Denken Sie bitte an Ihren Alltag:

In welchen Situationen ist Ihnen regelmäßig kalt?

im Winter, wenn ich frisch aus dem Bett

In welchen Situationen ist Ihnen regelmäßig warm?

im Sommer in unbelüfteten Räumen (im normalen Einzelzimmer)

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

Beide sind abhängig vom Sommer oft sehr heiß (Sommer > 15°C ca.)
regelmäßig ist mir aber zu kalt (Körper und Füße am meisten)

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Datum: 01.07.15	D Abschlussbefragung	selbstausszufüllen
Name: Razon 1		
Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?		
Nein		
Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!		
Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen		
der ganze Text war mir sehr hilfreich, was hat sich nicht mehr		
sich gefügt;		
die Fragen waren verständlich formuliert,		
im Nachhinein war noch mehr Information zum Thema		
Kanal geben können		

Testperson 8

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstauszufüllen	Datum:	A2 Vorbefragung	mündliche Abfrage
			12.06.2020	Person 8	
Vor- und Nachname:	Person 8		Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]		
Geburtsdatum:	07.07.2004		keine der Person, auf dem Bus		
Alter:	20 Jahre		Wie fühlen Sie sich allgemein heute?		
biologisches Geschlecht:	☒ weiblich ☐ männlich		ganz gut		
Körpergröße:	176 cm		Wie fühlen Sie sich körperlich?		
Körpergewicht:	67,1 kg		auch ganz gut empfunden		
Körperfettanteil:	26,6 %		Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?		
Sind Sie Raucher?	☐ Ja ☒ Nein		Um 9: Frühstück		
Wie regelmäßig treiben Sie Sport?			Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?		
Stunden pro Woche:	~ 5h		Wasser ein paar Tage		
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):	Badminton, Laufen		Haben Sie gut geschlafen?		
			ja		
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?	~ 7h Uni - Hörsaal oder Zuhause am Schreibtisch		Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?		
			☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ sehr heiß ☐ eher kalt ☐ eher warm ☐ kühl ☐ sehr kühl		

Datum: 12.06. 10:30
Name: Person 8

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

eher angenehm & frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☒ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: _____
Name: _____

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Heizung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

eher kalt, wegen der Tüde (die Anne sehr kratzt)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 17.06 10:30 C Nachbefragung
Name: Person 8 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

374

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☒ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm, angenehm, kein starker Geruch
(nein Rauch)
keine Wärme mehr

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
weniger als 45° Umd.
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 17.06 10:30 A2 Vorbefragung
Name: Person 8 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

376

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Ja, Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

Gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

Gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

7:15 Joghurt

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

7:15 Kakao

Haben Sie gut geschlafen?

Ja - 7 Stunden

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 20.06.20 C Nachbefragung
Name: Person 3 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Heizung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenfrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

es ist kalt aus der Luft aus, gerade so angenehm;
wegen der Beschäftigung verhalten

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 20.06.20 A2 Vorbefragung
Name: Person 3 Allgemeines Wohlbefinden mündliche Abfrage

37,7

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja mit dem Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

auch gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

um 8:00 Brot & Butter

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

gestern Bier

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ warm ☐ heiß
☐ eher kalt ☐ kühl ☐ eher heiß ☐ sehr heiß

Datum: 20.06.10:30
Name: Resa 8

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

37,4

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ wohl
☐ sehr wohl

☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

eher angenehm, bisschen stickig (beide hatten sich das Fenster geöffnet)

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen
☐ etwas hochzudrehen
☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen
☐ runterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm
☐ eher unangenehm
☒ neutral
☐ eher angenehm
☐ angenehm

Datum:
Name:

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Viel geredet

bisher, Hand Jodeln

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenrind wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Als wir geredet haben war mir angenehm, kein arbeiten wurde mir heißer, aber nicht zu heiß, relativ komfortabel

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 23.06 10:30 A2 Vorbefragung Name: Rissa 8 Allgemeines Wohlbefinden Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise] <u>Ja auf dem Bus</u> Wie fühlen Sie sich allgemein heute? <u>bisher nicht, erst gut</u> Wie fühlen sie sich körperlich? <u>auch bisher nicht, erst gut</u> Was haben sie zuletzt gegessen und wann? <u>8:30 Brot</u> Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was? <u>guten sauren Saft</u> Haben Sie gut geschlafen? <u>ja, aber nicht so lang</u> Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben? ☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ eher kühl ☐ kühl ☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß	Datum: 23.06 10:30 C Nachbefragung Name: Rissa 8 Befinden und Aktionen im Versuchsraum Wie fühlen Sie sich in den Klamotten? ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☒ eher unwohl ☐ neutral ☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden? Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig? <u>angenehm, frisch</u> Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren? <u>leicht</u> Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann? <u>nein</u> Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung: ☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen ☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum? ☒ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral ☐ eher angenehmer ☒ angenehmer
--	--

Datum: 24.06.0800
Name: Rosen 8

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Heizung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Kälter als sonst, sehr unangenehm, sehr kalter Tisch

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

nein

Datum: 24.06.0800
Name: Rosen 8

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

372

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

ja, sehr gut

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

noch gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

7:15 am Frühstück

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

ungetrunken eine Kaffee

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ eher warm ☐ warm ☒ eher kühl ☐ kühl ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 24.06.2008
 Name: Person 8
 C Nachbefragung
 Befinden und Aktionen im Versuchsraum
 mündliche Abfrage
 37,3

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ wohl
☐ sehr wohl
☐ neutral

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm und frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen
☒ etwas hochzudrehen
☐ etwas runterzudrehen
☐ herunterzudrehen
☐ genauso zulassen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm
☒ eher unangenehm
☐ eher angenehm
☐ angenehm
☐ neutral

Datum:
 Name:
 C Nachbefragung
 Befinden und Aktionen im Versuchsraum
 mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausübung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Beim Reingehen eher heutz. dann ging es, aber immer etwas unbehaglich zu beginn

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

nein

Datum: 25.06 13:00 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 8 Allgemeines Wohlbefinden 37,3

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]
ja Bus

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
ganz gut, brühen auch

Wie fühlen sie sich körperlich?
brühen schlag

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?
Vor 45 min. Müllerei 17:15 Frühstück

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
heute morgen Kaffee

Haben Sie gut geschlafen?
ja aber zu wenig

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 25.06 13:00 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 8 Befinden und Aktionen im Versuchsraum 37,7

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
war sehr angenehm, dem Geruch hatte ich Fräulek aufgemerkt

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 01.07 8:00 C Nachbefragung mündliche Abfrage
 Name: Rosa 3 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Gewusstheit von Laptop (Hilfs Aufgabe)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

angenehm, nicht heiß, Körperlich waren unbeschwerlich,
 Raum warm, aber kalt (michal gewusst)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 01.07 8:00 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
 Name: Rosa 3 Allgemeines Wohlbefinden 372

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja, Abt

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

7:00 Uhr

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Carbon Wasser

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 01.07. 8.00 C Nachbefragung
Name: Pascal 3 Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage 16,9

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☐ neutral
☐ eher wohl ☒ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

war noch okay aber gerade vor Ende Bedarf
Gerüche zu offen

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: C Nachbefragung
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Abrechnung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

es war! man merkt sich halt dass kühl
dann würde ich sagen

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

✓

Datum: <u>01.07.2025</u> Name: <u>Prison 8</u> Wie wohnen Sie? Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter <u>Altbau, normale Heizkörper</u> _____ _____ _____ Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen? <u>nein</u> _____ _____ Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen? <u>ja</u> _____ _____ Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört? <u>ja, sie waren angenehm</u> _____ _____ Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum: <u>Wenn man redet oder das Signal für den Fragebogen erkennt, hört es nach. In einem Gespräch ist das etwas unangenehm.</u>	Datum: <u>01.07.2025</u> Name: <u>Prison 8</u> Wie wohnen Sie? Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter <u>Altbau, normale Heizkörper</u> _____ _____ _____ Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen? <u>nein</u> _____ _____ Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen? <u>ja</u> _____ _____ Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört? <u>ja, sie waren angenehm</u> _____ _____ Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum: <u>Wenn man redet oder das Signal für den Fragebogen erkennt, hört es nach. In einem Gespräch ist das etwas unangenehm.</u>	Datum: <u>01.07.2025</u> Name: <u>Prison 8</u> Wie wohnen Sie? Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter <u>Altbau, normale Heizkörper</u> _____ _____ _____ Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen? <u>nein</u> _____ _____ Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen? <u>ja</u> _____ _____ Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört? <u>ja, sie waren angenehm</u> _____ _____ Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum: <u>Wenn man redet oder das Signal für den Fragebogen erkennt, hört es nach. In einem Gespräch ist das etwas unangenehm.</u>
--	--	--

Datum: 01.07.2025 D Abschlussbefragung selbstausfüllen

Name: Person 3

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

Am Anfang der Reihe fand ich die Temperaturen ~~sehr~~ als zum Ende hin. Der letzte Termin war aber der wärmste (angenehmste).

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

Ich fand die Versuchsreihe wirkte sehr strukturiert und organisiert. (Manche Fragen könnten vielleicht mehr „Bezug“ benötigen)

Es war sehr verständlich, man konnte generell immer nachfragen, auch die Terminabsprache fiel leicht und die Mitarbeiter sind sehr freundlich.

Testperson 9

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstausszufüllen	Datum:	A2 Vorbefragung	mündliche Abfrage
			20.06	Allgemeines Wohlbefinden	
Vor- und Nachname:	Person 9		Name:	Person 9	
Geburtsdatum:	01.07.1983		Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]		
Alter:	25			Ich nutze den Aufzug	
biologisches Geschlecht:	☒ weiblich ☐ männlich		Wie fühlen Sie sich allgemein heute?		
Körpergröße:	168 cm			ganz gut	
Körpergewicht:	83,6 kg		Wie fühlen sie sich körperlich?		
Körperfettanteil:	35,1 %	nochmal messen		besser nicht, sonst gelblich	
Sind Sie Raucher?	☐ Ja ☒ Nein		Was haben sie zuletzt gegessen und wann?		
Wie regelmäßig treiben sie Sport?				gestern Abend 19:30	
Stunden pro Woche:	3-4		Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?		
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):	Schwimmen, Kraft			Heute morgen Süßwasser, Zuckergetränk	
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?			Haben Sie gut geschlafen?		
	Vorlesung, bzw. Schreibtisch 8-12 h			ja, ist ok, unruhig, heute wieder sehr	
			Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?		
			☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ eher kühl		
			☐ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß		

Datum: 20.06.14 8:00
Name: Rocco G
C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage 370

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl
☐ eher unwohl
☒ neutral
☐ wohl
☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
 angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
 leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
 Anfang war mir leicht

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen
☒ etwas hochzudrehen
☐ etwas runterzudrehen
☐ herunterzudrehen
 ganz hoch

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm
☐ eher unangenehm
☒ neutral
☐ eher angenehm
☐ angenehm

Datum:
Name:
C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
 Hausübung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Währendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob Ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
 Mit der Zeit habe ich gewöhnt, auf Dauer wäre es wohl gewohnt in dem Raum

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)
 Nein

Datum: 23.06.13:00
Name: Reben 9

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausübung

Wie würden Sie Ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

Mit der Zeit habe ich gewohnt, auf Dauer wäre es
noch gewohnter in der Umgebung

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsfahrer; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 23.06.13:00
Name: Reben 9

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

angenehm + frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

aufgepasst etwas wärmer, kein Schwitzen

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☒ etwas hochzudrehen ☐ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☒ angenehm

Datum: 24.06.10.30
Name: Rusea S

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausübung beenden

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischendrin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

anfangs angenehm, zum Ende zu kühl

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; Plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 24.06.10.30
Name: Rusea S

A2 Vorbefragung
Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja mit dem Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

keine Antwort mehr

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

keine Antwort mehr

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt

☐ kalt

☐ eher warm

☐ warm

☐ kühl

☐ heiß

☒ eher kühl

☐ sehr heiß

Datum: 24.06.10:30
Name: Renssen 9

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage 37,0

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
 angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
 leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
 Nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☒ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso zu lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☒ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: _____
Name: _____

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
 Hausübung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischen drin wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
 insgesamt war es heftig

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsteiler, Plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)
 nein

Datum: 30.06. 8:00 A2 Vorbefragung
Name: Person 9 Allgemeines Wohlbefinden

mündliche Abfrage

37,1

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

Auto

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

es geht (50)

Wie fühlen sie sich körperlich?

geht so

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

gute Hand

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

gute Hand mit alkoholfreier Apfelsaft

Haben Sie gut geschlafen?

haben zu wenig

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 30.06. 18:00 C Nachbefragung
Name: Person 9 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

36,7

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 30.06.2025 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 9 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Hausbesuch

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenfrage wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

helt + beschreibt die volle Seite (A. Stippling)

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Nein

Datum: 30.06.2025 D Abschlussbefragung selbstauszufüllen
Name: Person 9

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etagenheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

Baujahr 1996

energetische Sanierung: keine Angabe

Fußbodenheizung

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

ja, zu Beginn

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

nein

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

ja

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

Die Akustik ist schwer zu beschreiben, da es die meiste Zeit still war. Bei kurzen Gesprächen war jedoch ein mangelhafter Hall wahrzunehmen.

Datum: _____
Name: _____

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumausstattung im Versuchsraum empfunden haben:

Die Raumausstattung ist zweckmäßig.

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?

Beide Sitzplätze waren gut, der am Fenster war wegen der natürlichen Lichts etwas angenehmer.

Denken Sie bitte an ihren Alltag:

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

Häufig an der Uni in den Vorlesungen.

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?

Wenn ich in Bewegung bin

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?

etwaskalt und dann am ganzen Körper

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?

Hände

Datum: _____
Name: _____

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?

nein

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!

Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen

Der Umgang war gut und alle Beteiligten waren stets freundlich.
Die Mehrheit der Fragen sind etwas völkler formuliert und teilweise sind die erhobenen Daten sehr (zu) persönlich, Gewisse Infos über den Ablauf wären noch auch gut gewesen.

Testperson 10

Datum:	22.06	8:00	A2 Vorbefragung Allgemeines Wohlbefinden	mündliche Abfrage
Name:	Rosa 10			

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

ja, zu Fuß 12 min. Warten

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut, keine Beschwerden

Wie fühlen Sie sich körperlich?

auch gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?

gelben Abendessen 22 Uhr, kühlt Folienkessel

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

guten morg. Kaffee

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☒ kühl ☒ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum:	A1 Stammdatenblatt	selbstauszufüllen
Vor- und Nachname:	Person 10	
Geburtsdatum:	13.03.2000	
Alter:	25	
biologisches Geschlecht:	☐ weiblich ☒ männlich	
Körpergröße:	184	cm
Körpergewicht:	72,2	kg
Körperfettanteil:	22,5	%
Sind Sie Raucher?	☐ Ja ☒ Nein	
Wie regelmäßig treiben Sie Sport?		
Stunden pro Woche:	1-2	
Welche Sportarten? (Ausdauer oder Kraft):	Laufen (Ausdauer)	
Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag mit sitzenden Tätigkeiten? Und wo sitzen Sie (Büro/ Homeoffice/ Vorlesung)?	6-8 Stunden (Vorlesung & Homeoffice)	

Datum: 20.06. 8:00 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 10 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
 angenehm & frisch

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
 Anfangs schwer, am Ende gut

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
 nicht

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder Ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☒ neutral
☐ eher angenehm ☒ angenehm

Datum: C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)
 - Hausarbeit (Hausaufg.)

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)
 - deutlich angenehmer & angenehm & etwas leicht!

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)
 -

Datum: 23.06.25 A2 Vorbefragung mündliche Abfrage
Name: BSR-AS 08:00 Allgemeines Wohlbefinden 37,2

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)
gut, zu Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?
gut

Wie fühlen Sie sich körperlich?
sehr gut

Was haben Sie zuletzt gegessen und wann?
heute morgen eine Apfel gegen 7

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?
Tee gegen 7

Haben Sie gut geschlafen?
ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?
☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☒ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 23.06.25 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: BSR-AS 14:00:00 Befinden und Aktionen im Versuchsraum 36,6

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
leicht

Sind Sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
oben

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ herunterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☒ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 23.06.25
 Name: Rahn
 C Nachbefragung
 Befinden und Aktionen im Versuchsraum
 mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Heizung

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

es war komfortabel

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

nein

Datum: 24.06.25
 Name: Rahn
 A2 Vorbefragung
 Allgemeines Wohlbefinden
 mündliche Abfrage

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? (Anreise)

je zu Fuß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Zwischen 7h und 8h

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

gelbes Obst Tee

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☒ eher kühl
☐ eher warm ☐ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 24.06.2020 C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: Person 10 Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?
☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?
 Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?
angenehm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?
leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?
nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:
☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☒ genauso zulassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Verglichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?
☐ unangenehmer ☐ eher unangenehmer ☐ neutral
☒ eher angenehmer ☐ angenehmer

Datum: _____ C Nachbefragung mündliche Abfrage
Name: _____ Befinden und Aktionen im Versuchsraum

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

lernen (Vorlesung) nacharbeiten

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

war komfortabel, etwas zu kühl bzw. allem auf Dauer, da bei den
Werten geht es

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsleiter, plötzlicher Hunger, Bedeutende Gemütsveränderung)

nein

Datum: 30.06 13:00 C Nachbefragung
Name: Person 13 Befinden und Aktionen im Versuchsraum
mündliche Abfrage 37,1

Wie fühlen Sie sich in den Klamotten?

- ☐ sehr unwohl ☐ unwohl ☐ eher unwohl ☒ neutral
☐ eher wohl ☐ wohl ☐ sehr wohl

Wie haben Sie die Luftqualität im Raum empfunden?

Eher angenehm oder unangenehm? Eher frisch oder eher stickig?

stark, durch starke Heizung als warm

Ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen sich zu konzentrieren?

leicht

Sind sie während des Versuchs ins Schwitzen gekommen? Wenn ja, wann?

nein

Hatten Sie während des Versuchs das Bedürfnis die Heizung:

- ☐ hochzudrehen ☐ etwas hochzudrehen ☐ genauso lassen
☐ etwas runterzudrehen ☐ runterzudrehen

Vergleichen mit der Raumtemperatur in der Bibliothek oder ihrem gewöhnlichen Arbeitsplatz, wie empfanden Sie die Raumtemperatur im Versuchsraum?

- ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ neutral
☐ eher angenehm ☐ angenehm

Datum: 30.06 12:00 A2 Vorbefragung
Name: Person 13 Allgemeines Wohlbefinden
mündliche Abfrage 37,6

Haben Sie gut zum Versuchsraum gefunden? Wie sind Sie angereist? [Anreise]

Feß

Wie fühlen Sie sich allgemein heute?

gut

Wie fühlen sie sich körperlich?

sehr gut

Was haben sie zuletzt gegessen und wann?

Milch gegen 9:00

Wann haben Sie zuletzt etwas anderes getrunken als Wasser? Und was?

Kaffee 12:00

Haben Sie gut geschlafen?

ja

Wie würden Sie das Wetter heute beschreiben?

- ☐ sehr kalt ☐ kalt ☐ kühl ☐ eher kühl
☐ eher warm ☒ warm ☐ heiß ☐ sehr heiß

Datum: 30.01.2015
Name: Peter 13

C Nachbefragung
Befinden und Aktionen im Versuchsraum

mündliche Abfrage

Wie würden Sie die Tätigkeit beschreiben, die Sie die vergangene Stunde ausgeübt haben? (Aufzählung oder Liste der Tätigkeiten, bei unbefriedigenden Antworten wie „sitzen“)

Handzettel CAD zeichnen

Wie würden Sie ihr Gefühl in dem Raum beschreiben? Zwischenmitten wurden Sie befragt, ob es für sie komfortabel ist oder ob ihnen warm oder kalt ist. Wie würden Sie es in der Rückschau bewerten? (in drei Sätzen)

neutral

Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen, was Sie uns mitteilen möchten? (Unbehagen durch Lärm, andere Versuchsteilnehmer oder Versuchsfelder; plötzlicher Hunger; Bedeutende Gemütsveränderung)

Datum: 30.01.2015
Name: Peter 13

D Abschlussbefragung

selbstauszufüllen

Wie wohnen Sie?

Aus welchem Jahr stammt ihr Gebäude (ungefähres Baujahr)? Welchen Stand der (energetischen) Sanierung hat es? Wie wird ihre Wohnung geheizt? (Etageheizung, Zentralheizung, Fernwärme); Heizkörper (Radiatoren), Fußbodenheizung, Elektroheizung/ Heizlüfter

Baujahr: 1980 (schlecht gebaut) → 5-fach-Isolierung, ich selbstge-
führt mit Heizkörpern, Dämmung: Rohwolle-Haare mit
Aufschüttung

Hatten Sie das Bedürfnis den Raum zu verlassen?

nein

Hatten Sie das Bedürfnis das Fenster zu öffnen?

nein

Waren die Lichtverhältnisse im Versuchsraum angenehm? Wenn nein, was hat Sie gestört?

warum angenehm

Beschreiben Sie in zwei Sätzen ihre Wahrnehmung der Akustik im Versuchsraum:

ganzheitlich gut, Vorbericht etwas Echo-Verfälschung, der der
Raum zu klein ist

Datum: 30.06.25
Name: Radoski
D Abschlussbefragung
selbstauszufüllen

Hat sich Ihr Temperaturempfinden über die Versuchsreihe hinweg verändert? Wenn ja, wie?
Nicht, da ich es irgendwie gemerkt hätte

Geben Sie uns allgemeines Feedback zu der Versuchsreihe!
Bspw. zu den Kriterien: Freundlichkeit, Formulierung der Fragen, Verständlichkeit der Aufgabenstellung, Umfang der vorab gegebenen Informationen
sehr freundlicher Umgang, Anfangs etwas Depressivität vom Ablauf her, aber man gewöhnt sich schnell daran.

Datum: 30.06.25
Name: Radoski
D Abschlussbefragung
selbstauszufüllen

Beschreiben Sie in zwei Sätzen, wie Sie die Raumausstattung im Versuchsraum empfunden haben:
sehr professionell in Richtung der versuch. Wenige unnötige Gefühle. Zum Heizen (kann) gute Ausstattung

Welcher der Sitzplätze hat Ihnen besser gefallen?
der am Fenster

Denken Sie bitte an ihren Alltag:
In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig kalt?

In welchen Situationen ist ihnen regelmäßig warm?
Abends zuhause, Sport. Vorher ist die Frage relevant?

Ist Ihnen regelmäßig eher zu warm oder zu kalt? Wenn ja, welches Körperteil?
Eher zu warm. Kann aber auch schnell am Sommer liegen. Zu warm fühlt sich dann die Kompressionsan.

Gibt es ein Körperteil bzw. eine Körperregion die regelmäßig von ihrem allgemeinen Wärmeempfinden abweicht?
Meine Hände sind oft kälter als der Rest meines Körpers