



ABSCHLUSSBERICHT SMART HEAT

Wintersemester 2022/2023

Abschlussbericht Interdisziplinäres Projekt Smart Heat

Corinna Goetschkes	1356311
Ashtar Abnoel	1355158
Itefaq Jar	1000842
Jonas Westerveld	1189144
Noel Thomas Schmitt	1344710

Prüfer: Herr Prof. Dr.-Ing. Korth; Herr Prof. Dr.-Ing. Schettel; Herr Prof. Dr. Kimmel

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis	4
Vorwort - AA	5
1 - Energietechnische Betrachtung – JW.....	6
1.1 - Funktionsweisen Konvektions- vs. Infrarotheizung	6
1.1.1 - Konvektion	6
1.1.2 - Infrarotstrahlung.....	8
1.1.3 - Differenzierung.....	10
1.2 - Solar-Boxy-Heat-Module	10
1.3 - Konzepte zur Steigerung der Effizienz	13
1.4 - Versuch.....	14
1.5 - Energietechnische Bewertung von Infrarotstrahlern.....	15
2 - Konstruktion - IJ	17
2.1 - Soll-Zustand	17
2.2 - Anforderungsliste	17
2.3 - Morphologischer Kasten.....	18
2.4 - Beschaffung - AA	18
2.5 - Konstruktionslösung.....	18
2.6 - Konstruktionszeichnung	20
2.7 - Stückliste.....	20
2.8 - Kostenübersicht	20
3 - Versuchsdurchführung - Konzept - AA.....	21
3.1 - Vorbereitung.....	21
3.2 - Durchführung	22
3.2.1 - Heizmethode mit Deckenheizung.....	22
3.2.2 - Heizmethode mit Infrarotheizung	23
3.3 - Ergebnis.....	24

4 - Behaglichkeitsauswertung - CG	25
4.1 - DIN EN ISO 11550	26
4.2 - Fragebogen	26
4.3 - Ergebnisse	28
4.4 - Auswertung	30
4.5 - Schlussfolgerung	31
5 - Datenauswertung - NTS	33
5.1 - Welche Messgeräte haben welche Parameter im Versuch gemessen?	33
5.2 - Wann hat der Versuch stattgefunden?	33
5.3 - Temperaturverläufe	34
5.4 - Vergleich der Temperaturverläufe	36
5.5 - Die Möglichkeit für das Smart Home der Zukunft	36
5.6 - Verbesserungspotential für eine weitere Projektgruppe	37
6 - Ausblick - weitere Projektgruppen - AA	38
6.1 - Intelligenter-Punkt-Infrarotstrahler - Konzeptidee I - AA	38
6.2 - Deckenlampe-Infrarot-Strahler - Konzeptidee II - IJ	39
7 - Zusammenfassung und Projektabschluss - AA	40
8 - Anhang	41

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1-1: Konvektion.....	6
Abbildung 1-2: Infrarot	8
Abbildung 1-3: Solar-Boxy-Heat 1200 W Heizung mit 3 Modulen	11
Abbildung 1-4: Solar-Boxy-Heat Modul IR-Bild	11
Abbildung 1-5: Gezielte Ausrichtung einer IR-Heizung.....	14
Abbildung 1-6: Technischer Versuch.....	15
Tabelle 2-1: Anforderungsliste	17
Tabelle 2-2: Morphologischer Kasten	18
Abbildung 2-2: Klemmvorrichtung.....	20
Tabelle 2-3: Stückliste	20
Tabelle 2-4: Kostenübersicht	20
Abbildung 3-1: Proband im IoT-Labor der Hochschule Niederrhein	21
Tabelle 3-2: Versuchstag mittels Infrarotheizung.....	24
Tabelle 4-1: Wahrnehmungsskala Aufbau.....	27
Tabelle 4-2: Fragebogen nach ISO-Norm 10551.....	27
Tabelle 4-3 Ergebnisse Deckenheizung	28
Tabelle 4-4: Ergebnisse Infrarotheizung.....	29
Abbildung 5-1: Temperaturverlauf 13.12.22 mit Deckenheizung	34
Abbildung 6-1: Intelligenter Punkt-Infrarotstrahler	38
Abbildung 6-2: Deckenlampe-IR-Strahler	39

Literaturverzeichnis

Solar-Boxy-Heat-Broschüre.

DIN EN ISO 13731:2002.

DIN EN ISO 12894.

DIN EN ISO 14505-3.

DIN EN ISO_NORM 1551:2020-02 S.12.

Vorwort - AA

Der hier vorgestellte Projektbericht ist am Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen an der Hochschule Niederrhein entstanden. Das interdisziplinäre Projekt fand im Rahmen des fünften Semesters statt und wurde von unserer Gruppe, bestehend aus fünf Projektteilnehmern, erfolgreich umgesetzt.

Zuerst gebührt unser Dank unseren Betreuern Herrn Prof. Dr.-Ing. Korth und Herrn Prof. Dr.-Ing. Schettel, die unser Projekt betreuten, begutachteten sowie hilfreiche Anregungen und konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit äußerten. Wir bedanken uns auf diesem Wege für die organisierte Führung bei Herrn Prof. Dr. Kimmel. Ebenfalls möchten wir einen Dank an das Unternehmen Solar-Boxy-Heat Technologies aussprechen, die uns mehrere Infrarotstrahler, 400 Watt-Module und Thermostate zur Verfügung stellten.

Unsere Projektgruppe hat beschlossen, den Schwerpunkt des Projekts auf zwei umfassende Probandenversuche zu legen, mit dem Ziel, die Effizienz und Behaglichkeit von Infrarotheizungen zu untersuchen und mit der konventionellen Heizmethode zu vergleichen. Das Internet-of-Things-Labor (im Folgenden IoT-Labor) der Hochschule hat eine signifikante Rolle im Rahmen unseres Projekts gespielt, da die Durchführung unserer Probandenversuche sowie die Installation des Infrarotstrahlers in diesem Labor stattgefunden haben. Wir äußern unseren aufrichtigen Dank für die Bereitstellung der modernen Ausstattung und Unterstützung, die für den erfolgreichen Abschluss unseres Projekts von essentieller Bedeutung waren.

Der vorliegende Projektbericht beschäftigt sich intensiv mit der genannten Thematik.

1 - Energietechnische Betrachtung – JW

Dieses Kapitel benennt die dem Projekt zugrundeliegenden Heizprinzipien und beschreibt Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Es werden Ideen zur optimalen Nutzung der Heizprinzipien erörtert und ein Versuch beschrieben, der ein Konzept zur Effizienzsteigerung untersucht.

1.1 - Funktionsweisen Konvektions- vs. Infrarotheizung

Im Folgenden wird die Funktionsweise von Infrarotheizungen, insbesondere im Vergleich zu einer herkömmlicheren Konvektionsheizung, erläutert.

1.1.1 - Konvektion



Abbildung 1-1: Konvektion¹

Die Konvektionsheizung basiert auf dem Prinzip des Wärmeaustauschs der Luft mit der Oberfläche des Heizkörpers. Das (meist durch Gasverbrennung) erhitzte Wasser erreicht Vorlauftemperaturen von ungefähr 70° bis 90° Celsius, abhängig von der jeweiligen Anlage. Es strömt dann durch den Heizkörper, gibt über Wärmeaustausch Wärmeenergie an den Heizkörper ab und fließt bei einer niedrigeren Rücklauftemperatur wieder zurück. Der Heizkörper, in diesem Fall auch Konvektor

¹ (Infrawarm, 2023)

genannt, gibt die Wärmeenergie dann weiter an die Luft, die den Konvektor unmittelbar berührt. Hierbei dominiert das Konzept der Wärmeströmung, also der Konvektion, die mit folgender Formel beschrieben ist:

$$\dot{Q} = \alpha * A * \Delta T \text{ mit}$$

$$\dot{Q} = \text{Wärmestrom} \quad [\text{W}]$$

$$\alpha = \text{Wärmeübergangszahl} \quad [\text{Einheitenlos}]$$

$$A = \text{Fläche} \quad [\text{m}^2]$$

$$\Delta T = \text{Temperaturdifferenz} \quad [\text{K}]$$

Wobei die Wärmeübergangszahl von unterschiedlichen Stoff- und raumabhängigen Faktoren bestimmt ist und prinzipiell nur empirisch erhoben werden kann.

Die Luft nimmt also am Konvektor Wärmeenergie auf, wodurch sich ihre Temperatur erhöht, und ihre Dichte verkleinert. Sie steigt dann geodätisch im Raum auf und gibt die Wärmeenergie ab, an Wände, Decken und Möbel, sinkt abgekühlt wieder im Raum ab und strömt zum Konvektor. So entsteht ein Luftkreislauf im zu heizenden Raum, der so lange aufrechterhalten wird, bis die gewünschte Raumlufthtemperatur (entweder gemessen an einem bestimmten Punkt oder als Durchschnitt des gesamten Luftvolumens) erreicht ist. Das Thermostat wird die Zufuhr von neu erhitztem Wasser dann reduzieren, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat.

1.1.2 - Infrarotstrahlung

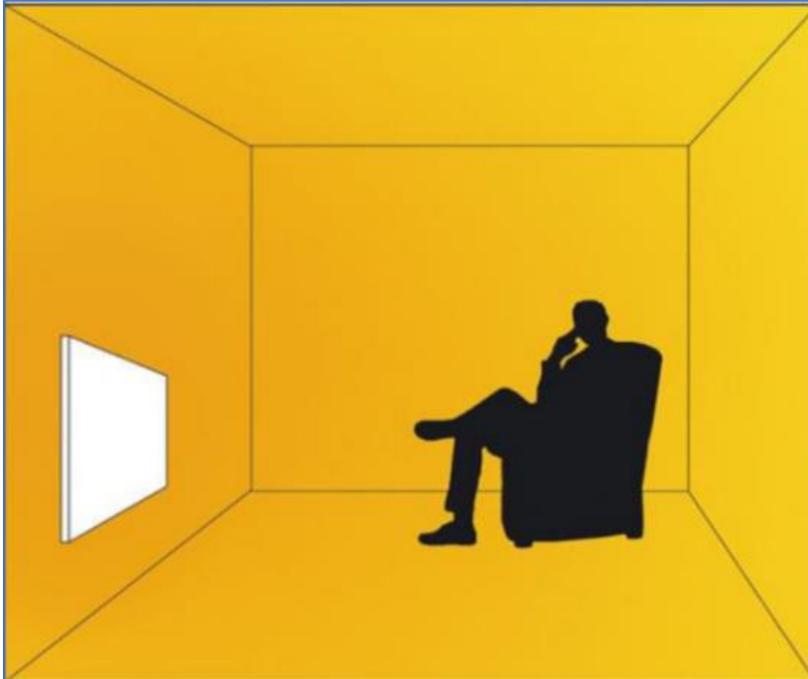


Abbildung 1-2: Infrarot²

Die Infrarotheizung ersetzt das Konzept der Konvektion mit dem der Wärmestrahlung. Ziel ist es jetzt nicht mehr, die Luft im Raum zu erhitzen, sondern den Wänden, Böden und der Einrichtung des Raumes direkt und ohne Zwischenmedium Wärmeenergie zuzuführen.

Hierfür wird üblicherweise ein oder mehrere ohmsche Verbraucher genutzt. Elektrischer Strom fließt durch einen solchen ohmschen Verbraucher, also einen Leiter, der sich gleichzeitig wie ein elektrischer Verbraucher und ein ohmscher Widerstand verhält. Der Leiter, in Form eines Drahtes, Stabes, einer Röhre o.Ä., erhitzt sich und kann diese Wärme entweder direkt durch Strahlung abgeben oder über einen Wärmeübergang an einen Radiator, der eine größere Oberfläche und damit meistens auch eine höhere absolute Wärmekapazität hat, weitergeben. Dieser befindet sich bei haushaltsüblichen Nutzungen dann oft im Raum an einer Wand, von wo aus er in den Raum strahlt.

Bei Wärmestrahlung handelt es sich um eine Form der elektromagnetischen Strahlung – also Licht. Noch präziser: Es ist langwellige Strahlung mit einer Wellenlänge von 780 Nanometer bis 1 Millimeter, die mit menschlichem Auge nicht sichtbar ist und auch

² (Infrawarm, 2023)

Infrarotstrahlung genannt wird. Jeder Körper mit einer Masse $m > 0$ und einer Temperatur $K > 0$ wandelt immer einen Teil seiner inneren Energie U in Strahlungsenergie um und gibt diese als elektromagnetische Strahlung ab. Wie viel Strahlung abgegeben wird, und welche Frequenzen diese umfasst, ist abhängig vom Stoff, der sogenannten Boltzmann-Konstante und in vierter Potenz von der Temperatur des Objekts. Die Formel hierfür sieht dann wie folgt aus:

$$M = \varepsilon * \sigma * T^4 \text{ mit}$$

M = Strahlungsleistung [W/m²]

ε = Emissionskoeffizient [einheitenlos, zwischen 0 und 1]

σ = Stefan-Boltzmann-Konstante [$5,7 * 10^{-8}$ W/m²*K⁴]

T = Oberflächentemperatur [K]

Der Radiator einer Infrarotheizung soll eine möglichst hohe Strahlungsleistung erreichen, dies erfolgt insbesondere durch eine, relativ betrachtet, hohe Oberflächentemperatur, und durch die Wahl eines geeigneten Stoffes mit geeigneter Geometrie. Bisher haushaltsübliche, sogenannte Bild- oder Spiegelheizungen, haben stark variierende Emissionsgrade, die allgemeine Berechnungen erschweren. Tendenziell erreichen sie aber Temperaturen zwischen 80° und 105 °C.

Klar ist, dass der Radiator Wärmestrahlung abgibt, die nicht die unmittelbare Luft erwärmt, sondern durch den Raum „wandert“, bis er auf einen Gegenstand, Möbelstück, Wand, Boden oder Decke trifft. Wie viel der Strahlung tatsächlich dann von diesem Objekt aufgenommen wird und zu einer Temperaturerhöhung dessen führt, ist wiederum abhängig von Transmissions-, Reflexions- und Absorptionsgrad. In jedem Fall wird der Teil der Strahlung, der nicht das Objekt erwärmt, entweder weiter durch den Raum wandern, bis er ein anderes Objekt trifft, oder aus dem Raum hinausgeleitet und damit für den Heizeffekt nicht mehr nutzbar sein.

Die Infrarotheizung kann nicht (effizient) reguliert werden, da bei reduziertem elektrischem Stromfluss die Temperatur abnimmt, was exponentiell negativen Einfluss auf die Strahlungsleistung hat, man verliert also unverhältnismäßig viel Wärmeleistung pro gesparter Einheit Stromleistung. Daher wird die Regulierung über eine binäre An- und Ausschaltung erfolgen. Sobald die Wunschttemperatur (gemessen an einem bestimmten Objekt oder Punkt im Raum) erreicht ist, wird die Heizung ausgeschaltet, bis die Temperatur wieder gesunken ist und ein erneuter Heizeffekt gewünscht ist.

1.1.3 - Differenzierung

Häufig wird nun die Frage nach dem exakten Unterschied zwischen Infrarotheizung und Konvektionsheizung gestellt. Denn abgesehen vom eingesetzten Rohstoff (Gas vs. Elektrischer Strom, der in vielen Fällen auch aus fossilen Rohstoffen gewonnen wird) zeigen beide Heizungsbauarten natürlich beide Heizprinzipien auf. Wenn jeder Massekörper Wärme abstrahlt, wird eine Konvektionsheizung natürlich ebenso strahlen wie eine Infrarotheizung, und eine Infrarotheizung mit einer Oberfläche, die heißer ist als die umgebende Raumluft, wird auch einen Teil ihrer inneren Energie über Wärmeströmung an die Luft abgeben.

Der Unterschied liegt zum einen im Emissionsgrad, auf den bei Infrarotheizungen mehr geachtet wird, aber vor allem auch bei der Oberflächentemperatur. Bei einer Vorlauftemperatur von 70 °C wird die Oberflächentemperatur des Konvektors weitaus tiefer liegen als die eines Radiators. Aufgrund der extremen Abhängigkeit der Strahlungsleistung von der Temperatur wird die Infrarot-Heizung also deutlich mehr Wärmestrahlung abgeben als die Konvektionsheizung, selbst bei sonst gleichen Bedingungen. Weiter ist zu bedenken, dass Wasser bei einem Umgebungsdruck von 1 bar bei ungefähr 100 °C anfängt, zu verdampfen, die herkömmliche Konvektionsheizung ist also weitaus begrenzter in Bezug auf maximal erreichbare Temperaturen.

1.2 - Solar-Boxy-Heat-Module

Im Rahmen des Interdisziplinären Projektes hat sich die Gruppe Smart Heat mit den Wärmestrahlern der Firma Solar-Boxy-Heat auseinandergesetzt. Hierbei handelt es sich um neu konzipierte und, verglichen mit bisherigen Infrarotheizungen, leistungsstärkere Infrarotstrahler, die genutzt werden können, um Räume zu erhitzen und dabei die herkömmliche Konvektionsheizung gänzlich zu ersetzen.

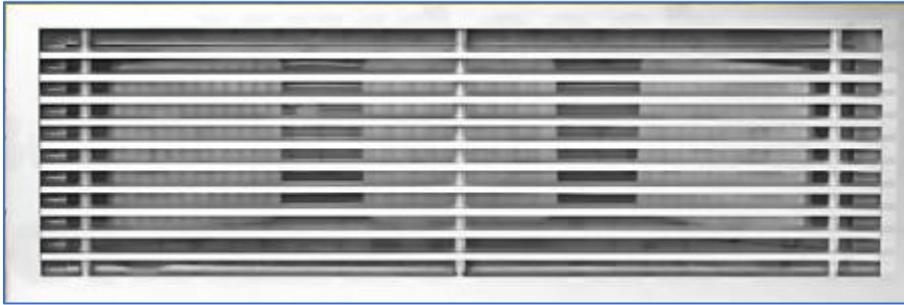


Abbildung 1-3: Solar-Boxy-Heat 1200 W Heizung mit 3 Modulen³

Abgebildet ist eine Solar-Boxy-Heat-Heizung. Auffallend ist, dass es sich bei den eigentlichen Heizelementen um quadratische Module handelt, die je nach Bedarf in unterschiedlich große „Rahmen“ verbaut werden können, um so unterschiedlich starke resultierende Heizleistungen zu erzielen.

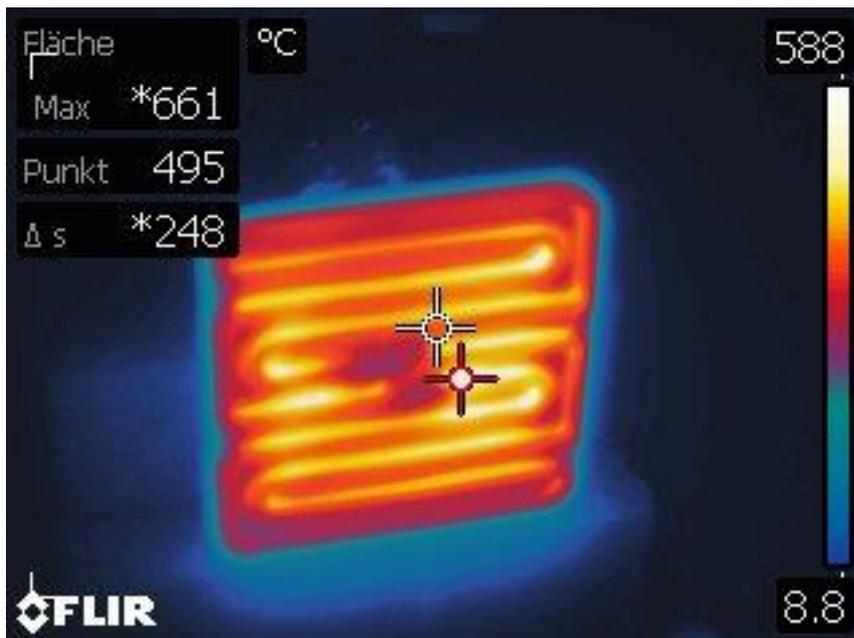


Abbildung 1-4: Solar-Boxy-Heat Modul IR-Bild

Ein solches Modul nimmt eine elektrische Leistung von 400 W auf und erreicht eine Oberflächentemperatur von bis zu 650 °C, also 923,15 K. Es liegt auf der Hand, dass diese Temperatur weit über der von bisher üblichen Bild- oder Spiegelheizungen liegt, was zu einer deutlich höheren Strahlungsleistung führt. Aufgrund mangelnden

³ (Solar-Boxy-Heat-Broschüre)

Equipments zur Bestimmung des Emissionsgrades und der exakten Oberflächentemperatur der Module ist es nicht möglich, eine exakte Aussage über die Strahlungsleistung und den Strahlungswirkungsgrad zu treffen, mithilfe von einigen Annahmen konnten wir allerdings Schätzungen durchführen:

- Die Module bestehen aus Keramik; solche haben in den meisten Fällen hohe Emissionsgrade von ca. 0,7 bis 0,95. Da es sich um Keramik mit speziell zur Maximierung von Strahlungsleistung konzipierter Lackierung handelt, wählen wir den Emissionsgrad $\varepsilon = 0,9$
- Die Oberflächentemperatur erreicht punktuell ein Maximum von 650 °C. Dies wurde allerdings mit einer Infrarotbildkamera gemessen, ohne, dass der „korrekte“ Emissionsgrad des Messobjekts berücksichtigt wurde. Es ist also möglich, dass die tatsächliche Oberflächentemperatur von diesem Wert abweicht. Für die Schätzung wird hier von einer tatsächlichen, mittleren Oberflächentemperatur von 500 °C ausgegangen.

Damit können wir also eine (geschätzte) spezifische Strahlungsleistung ermitteln:

$$M_s = \varepsilon * \sigma * T^4$$

mit $\varepsilon = 0,9$, $\sigma = 5,7 * 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ und $T = 500 \text{ °C} = 773,15 \text{ K}$:

$$M_s = 0,9 * 5,7 * 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 * (773,15 \text{ K})^4$$

$$M_s = 18330 \text{ W/m}^2$$

Nun multipliziert man die spezifische Strahlungsleistung M mit der Fläche eines Strahlers (in etwa $0,12 \text{ m} * 0,122 \text{ m} = 0,01464 \text{ m}^2$), um die tatsächliche Strahlungsleistung der Vorderseite eines Solar-Boxy-Heat-Strahlungsmoduls zu erhalten:

$$M = (18330 \text{ W/m}^2) * 0,01464 \text{ m}^2 = 268 \text{ W}$$

Ein jedes Solar-Boxy-Heat-Modul hat eine elektrische Leistungsaufnahme von 400 W, bei den gewählten Schätzwerten gilt für den Strahlungswirkungsgrad also:

$$268 \text{ W} / 400 \text{ W} = 67 \%$$

Nun ist es gut möglich, dass sich gewählter Emissionsgrad oder Oberflächentemperatur merkbar von der Realität unterscheiden; es ist nicht unwahrscheinlich, dass der tatsächliche Wirkungsgrad noch über dem hier Errechneten liegt. Aber diese Berechnung kann als erste Einschätzung bezüglich Effizienz dienen.

Es wird auf jeden Fall deutlich, dass die Effizienz einer Infrarotheizung zur Beheizung eines Raumes zwar hohe Werte annehmen kann, aber im Vergleich mit anderen Heizmethoden, insbesondere der Wärmepumpe, kein eindeutiger „Sieger“ ist. Dennoch haben Infrarotstrahler einige Eigenschaften, die sich von anderen Heizmethoden unterscheiden und eine weitere Untersuchung interessant machen.

1.3 - Konzepte zur Steigerung der Effizienz

An dieser Stelle wird also die Frage nach der Art der Nutzung und der Optimierung gestellt. Wie können Infrarotstrahler genutzt werden, sodass sie eindeutige Vorteile gegenüber anderen Heizmethoden aufweisen?

Alle bisher genutzten Heizmethoden teilen sich eine Eigenschaft, die je nach Situation positiv oder negativ ausgelegt werden kann; sie alle heizen den gesamten Raum auf, in dem sie installiert sind. In vielen praktischen Anwendungsfällen wäre dies jedoch nicht zwangsläufig notwendig. Ein Arbeiter im Homeoffice profitiert von einem behaglich aufgeheizten Arbeitsplatz; Schreibtisch, Stuhl und die Klamotten, die der Mensch trägt, sollten nicht kalt sein, wenn sie berührt werden. Die Wände, Fenster und, exemplarisch, vielleicht auch das Bücherregal in der gegenüberliegenden Raumhälfte, jedoch, diese Objekte müssen für das Wohlbefinden des Arbeiters nicht mit beheizt werden. Hier gilt, solange sie warm genug sind, um (strukturellen) Schäden oder Schimmel vorzubeugen, muss theoretisch keine weitere Wärmeenergie aufgebracht werden.

Das Prinzip der Konvektion basiert allerdings auf dem Austausch von Wärme zwischen dem Heizkörper und der Raumluft, die dann aufgrund von Dichte- und Druckänderungen im Raum umherströmt und die Wärmeenergie an die kälteren Objekte wieder abgibt, es ist also per Definition nicht möglich, Konvektion zu „steuern“ und nur gezielte Punkte innerhalb eines Raumes zu erwärmen.

Bei Infrarotheizungen ist dies anders. Da es sich bei Wärmestrahlung um eine Form von Licht handelt, kann sie auch genauso behandelt werden. Man stelle sich eine Taschenlampe vor, die man innerhalb eines Raumes auf eine Wand strahlt. Je nach Reflexionsgrad der Wand und des restlichen Raumes wird sich der gesamte Raum ein wenig aufhellen, aber der Punkt, auf den die Taschenlampe unmittelbar gerichtet ist, wird als leuchtende Fläche herausstechen. Dieses Prinzip wollen wir uns bei der Infrarotheizung zunutze machen. Wenn ein Infrarotstrahler auf einen bestimmten

Punkt gerichtet ist, in unserem Fall zum Beispiel der Arbeitsplatz eines HomeOffice-Arbeiters, und die Strahlen durch Reflexion auf diesen Punkt gebündelt werden, wie bei einer Taschenlampe, dann wird dieser Arbeitsplatz schneller und effizienter aufgeheizt, und weniger Energie wird in das Heizen des restlichen Raumes fließen.

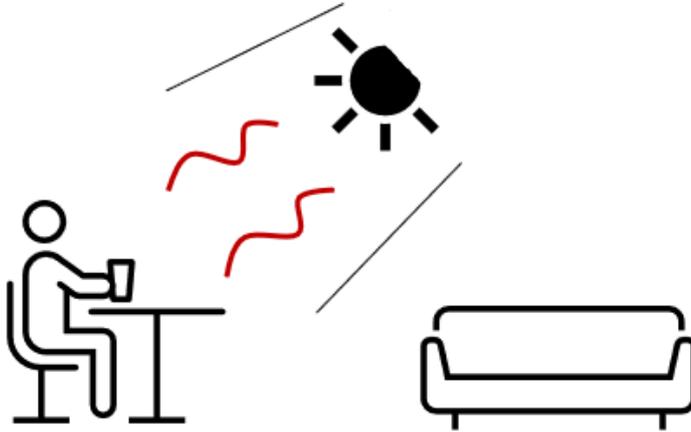


Abbildung 1-5: Gezielte Ausrichtung einer IR-Heizung

Um dieses Konzept mit den uns gegebenen Mitteln zu überprüfen, haben wir 2 Versuche durchgeführt:

1.4 - Versuch

Im ersten Schritt wurde ein Solar-Boxy-Heat-Strahlungsmodul mit einer elektrischen Leistungsaufnahme von 400 Watt an das Stromnetz (230-240V, 50Hz) angeschlossen und mit einem bestimmten Abstand (0,3 m) mit der Strahlungsfläche direkt auf ein Versuchsobjekt an einer Wand ausgerichtet. Daraufhin wurde mithilfe einer Infrarotkamera die Temperatur des Moduls sowie des Versuchsobjektes sowie die Veränderung über die Zeit gemessen.

Im zweiten Schritt wurde der Versuchsaufbau ergänzt: Auf beiden Seiten sowie oben wurden Aluminium-Bleche mit einem hohen Reflexionsgrad angebracht, sodass zwischen Modul und Versuchsobjekt ein reflektierender Kanal entstand. Zweck dessen war es, Strahlung, die im ersten Versuch zu den Seiten und nach oben hin entkommen war, im zweiten Versuch weitestgehend einzufangen und über Reflexion mit auf das Versuchsobjekt zu leiten.

Folgende Erkenntnisse konnten aus dem Versuch gezogen werden:

- Fall 1: Erwärmung des Testobjekts von 20 °C auf ca. 63° C in 4,5 Minuten, danach Stagnation der Temperatur
- Fall 2: Erwärmung des Testobjekts von 20 °C auf ca. 65° C in 3 Minuten, danach weitere Steigerung der Temperatur auf ca. 135 °C innerhalb weiterer 10 Minuten.

Es fällt also sofort auf, dass durch Konzentration oder Bündelung von Wärmestrahlung eine höhere Temperatur erzielt werden kann, als wenn sie sich frei „entfaltet“. Weiterhin kann die gleiche Temperatur in kürzerer Zeit erreicht werden. Der Energiebedarf zur Erreichung einer Wunschttemperatur an einem bestimmten Ort ist somit geringer als bei einer Erwärmung des gesamten Raumes. Das Prinzip einer punktuellen Erwärmung über Infrarotstrahlung ist also durchaus umsetzbar.

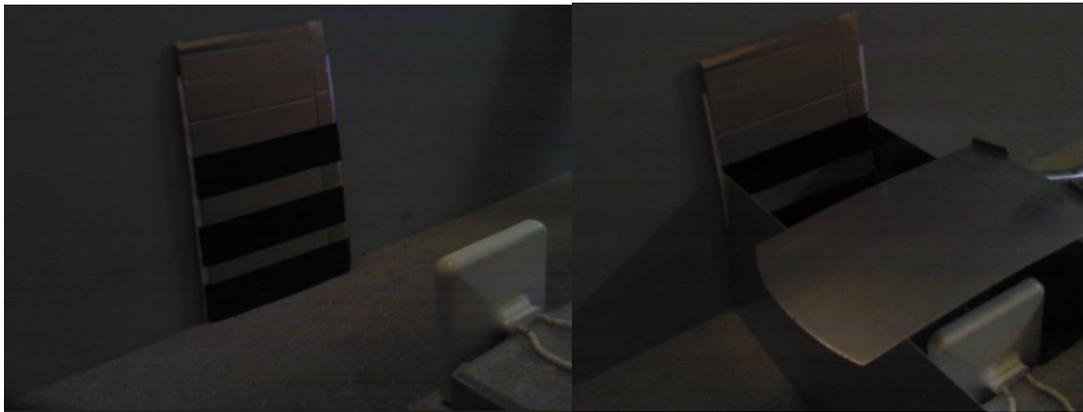


Abbildung 1-6: Technischer Versuch

1.5 - Energietechnische Bewertung von Infrarotstrahlern

Im direkten Vergleich mit anderen Heizmethoden, insbesondere der Wärmepumpe, zeichnet sich die Infrarotheizung nicht als strikt effizientere Alternative aus, wenn es darum geht, einen gesamten Raum auf eine Wunschttemperatur zu erhitzen. Sie ist allerdings weitaus einfacher zu installieren, da sie keine komplexen Rohrsysteme oder Versorgung mit Gas benötigt und damit auch in Altbauten schnell eingebaut werden kann. Auch bei Lieferverzögerungen oder Mangel von Ressourcen, Arbeit oder Kapital für Wärmepumpen, die für neue Gebäude sinnvoll wären, stellen Infrarotheizungen mit hoher Oberflächentemperatur eine valide Alternative dar. Kurzum, die Infrarotheizung kann als Übergangslösung betrachtet werden, mit der man sich schnell und einfach

von der Gasverbrennung lösen kann, um später auf andere Heizmethoden wie Wärmepumpen oder auch Solarthermie zu wechseln.

Noch interessanter allerdings ist die Betrachtung einer Kombination aus der Konvektionsheizung und der Infrarotheizung. Etabliert ist nun, dass sich eine Konvektionsheizung eignet, um den gesamten Raum auf eine Wunschtemperatur zu erhitzen, und Infrarotheizungen den Vorteil haben, gezielter und auch kurzfristiger eingesetzt werden zu können. Wenn man nun bedenkt, dass ein Gebäude in der Regel eine gewisse Mindesttemperatur braucht, damit Schäden an der Bausubstanz sowie Schimmel vermieden werden können, wird schnell deutlich, dass eine Konvektionsheizung, im besten Fall eine Wärmepumpe, am Ehesten hierfür geeignet wäre.

Als Konzept für eine „optimierte“ Raumheizung steht also eine Konvektionsheizung im Raum, die das Gebäude auf einer Mindesttemperatur hält, und unterstützt wird von einer Infrarotheizung, die nach Bedarf angeschaltet werden kann und gewünschte, dedizierte Plätze innerhalb eines Raums aufheizt. Man bedient sich damit der Vorteile beider Heizprinzipien und optimiert seinen Energiebedarf.

Um einen Schritt weiterzugehen, kann die Infrarotheizung auch an ein „Smart Home“-System gekoppelt werden, dass die Heizung bei Erreichen der Wunschtemperatur sofort aus- und wieder einschaltet, um diese Temperatur auch zu halten.

Um die Durchführbarkeit dieser Ideen in der echten Welt zu prüfen, wurde im Rahmen unseres Projektes ein Probandenversuch durchgeführt, der zuallererst die Behaglichkeit der Infrarotheizungen zu überprüfen. Dies ist Grundvoraussetzung zur Nutzung von Infrarotheizungen, da eine Heizung auch bei höchstmöglicher Effizienz im Alltag als angenehm empfunden werden muss, um tatsächlich in Betracht gezogen werden zu können.

Zur Durchführung dieser Versuche mussten wir uns zuallererst Gedanken über die uns zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten und die Art und Weise machen, wie wir die Infrarotheizung installieren können.

2 - Konstruktion - IJ

2.1 - Soll-Zustand

Es soll eine Konstruktion entwickelt werden, welche es ermöglicht den IR-Strahler, ohne Bohr- oder Klebvorgängen im IoT-Labor der Hochschule Niederrhein zu installieren. Zudem soll durch Neigen und Schwenken eine Ausrichtung der Infrarotstrahlen möglich sein. Die Befestigung soll so konstruiert sein, dass sie möglichst mobil einsetzbar ist. Dabei gilt, jegliche Befestigungsspuren nach der Demontage zu vermeiden.

2.2 - Anforderungsliste

Tabelle 2-1: Anforderungsliste

Anforderungsliste					
Konstruktion zur mobilen Installation des IR-Strahlers					
F=Forderung; W=Wunsch; E=Empfehlung					
Lfd.	Anforderung	verantwortlich	F	W	E
01	Installation muss ohne zu bohren/kleben erfolgen	Prof. Dr. Korth Prof. Dr. Schettel	X		
02	Konstruktion sollte möglichst platzsparend & „unauffällig“ sein	Projektgruppe		X	
03	Winkelverstellung des IR-Strahlers ermöglichen	Projektgruppe	X		
04	Konstruktion sollte nicht ortsgebunden sein	Projektgruppe			X
05	Konstruktion darf keine Befestigungsspuren hinterlassen	Prof. Dr. Korth Prof. Dr. Schettel	X		
06	IR-Strahler muss auf einer Höhe von $\geq 1.80m$ installiert werden	TÜV	X		
07	Gesamtkosten $\leq 300€$ dürfen nicht überschritten werden	Lt. Aufgabe	X		
08	Fertigungstermin 11.12.2022 einhalten	Projektgruppe	X		

2.3 - Morphologischer Kasten

Tabelle 2-2: Morphologischer Kasten

↓ Varianten Funktionen →	Variante A	Variante B	Variante C
Installation im Raum	Klemmvorrichtung an der Säule	Drei-Bein-Stativ im Raum	Teleskopstange im Raum
Werkstoffauswahl	Aluminium	Stahl	Eisen
Auswahl der Verbindungselemente	Magnet	Gewindestangen	Spanngurte
Sicherung der Verbindungselemente	Mutter + Kontermutter	Setzsicherung	Fächerscheiben
Winkelverstellung des IR-Strahler	Universalgelenk	Schwenk- & Neigbare Wandhalterung	
Vermeidung von Befestigungsspuren	Gummimatte	Teppich	Unterlegblech

2.4 - Beschaffung - AA

Die Hochschule stellte uns eine finanzielle Förderung in Höhe von 300 Euro zur Verfügung, die für die Realisierung der Säulenhalterung eingesetzt wurden. Um die notwendigen Bauteile zu beschaffen, wurden Anträge über die Hochschule eingereicht, Angebote gesammelt und schließlich bestellt. Trotz Herausforderungen, die durch den Einkaufsprozess über die Hochschule entstanden, konnte die Beschaffung erfolgreich abgeschlossen werden. Die Dokumentation beinhaltet im Anhang alle relevanten Unterlagen, einschließlich Antragsunterlagen, Inventarlisten und Herstellerdaten, die für die Konstruktion von Bedeutung sind.

2.5 - Konstruktionslösung

Die gewünschte platzsparende und „unauffällige“ Installation des IR-Strahlers im IoT-Labor der Hochschule Niederrhein kann nur realisiert werden, wenn die Bodenfläche des Raumes nicht durch ein Stativ oder einer Stange beansprucht wird. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer Klemmvorrichtung an der Säule.

In Anbetracht der Kosten und der Belastbarkeit wird zur Umsetzung der Konstruktion Stahl verwendet. Hierzu wurde in vierfacher Ausführung Flachstahl S235JR mit den

Maßen 50x10x400mm gefertigt. Zudem werden alle vier Platten mit Bohrungen (9 mm) zur Verbindung der Platten versehen und zusätzlich werden zwei der Platten mit Gewindebohrungen (M6) zur Befestigung der Halterung versehen. Zwei Stahlplatten werden parallel auf der gegenüberliegenden Seite der Säule mit den anderen beiden Stahlplatten verbunden. Diese Verbindung erfolgt durch M8er Gewindestangen, welche jeweils mit einer Mutter und einer Kontermutter befestigt und gesichert werden. Der Einsatz der Gewindestangen ermöglicht sowohl eine hohe Belastung als auch eine benutzerfreundliche Handhabung bei der Anbringung. Um die Empfehlung der Mobilität zu gewährleisten, wird auf den Einsatz von Setzsicherungen oder Fächerscheiben verzichtet, da diese nach mehrmaliger Benutzung ersetzt werden müssen. Die Winkelverstellung wird benötigt, um die IR-Strahlen dem Raum entsprechend auszurichten. Zur Auswahl stehen zwei Varianten. Bei der ersten Variante muss für jeden Richtvorgang zuerst das gesamte Gelenk gelöst und gehalten werden und anschließend von einer zweiten Person verschraubt werden. Aufgrund dieser benutzerunfreundlichen Handhabung wurde in der Konstruktion eine schwenk- und neigbare Wandhalterung der Marke Gravity verwendet (Abb. 2). Diese wurde durch vier M6er Senkkopfschrauben an zwei Stahlplatten befestigt und dem Raum entsprechend ausgerichtet. Die Forderung, Befestigungsspuren zu vermeiden, wurde durch zwei Gummimatten, welche zwischen dem Flachstahl und der Säule angebracht wurden, realisiert. Neben dieser Schutzfunktion bietet diese Variante einen zusätzlichen Rutschschutz.



Abbildung 2-1 Gravity - SP WMBS 20 W ¹⁴

⁴ (zoundhouse, 2023)

2.6 - Konstruktionszeichnung

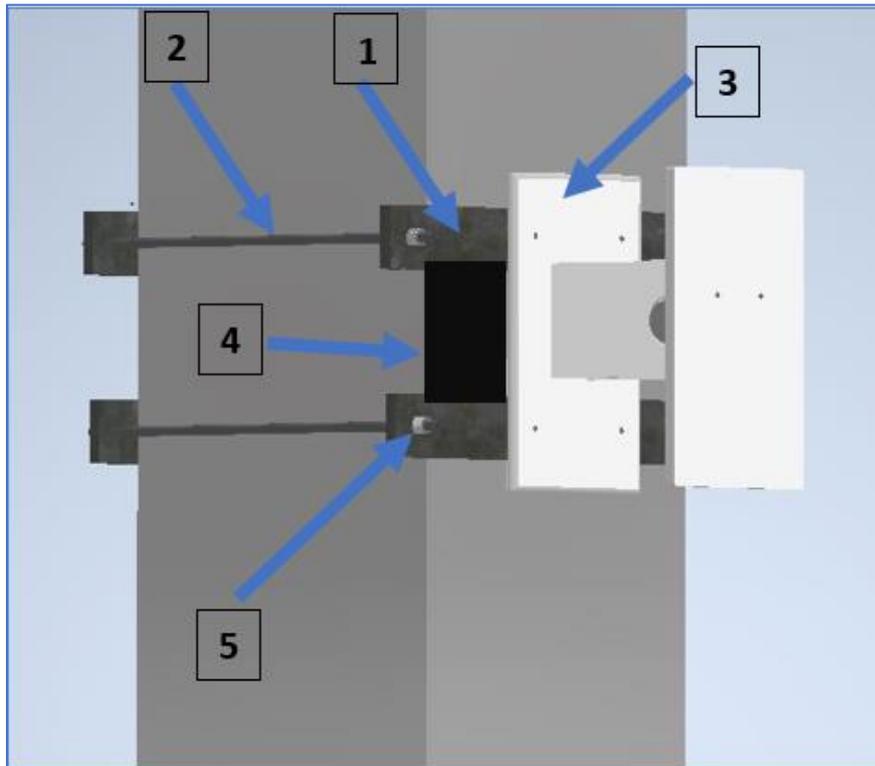


Abbildung 2-2: Klemmvorrichtung

2.7 - Stückliste

Tabelle 2-3: Stückliste

Pos.	Menge (Stück)	Benennung	Kurzbezeichnung / Maße
1	4	Flachstahl	S235JR-50x10x400mm
2	4	Gewindestange	M8 x 350mm
3	1	Wandhalterung	Gravity – SP WMBS 20 W 1
4	2	Gummimatte	Enviroflex 4mm
5	16	Mutter	M8

2.8 - Kostenübersicht

Tabelle 2-4: Kostenübersicht

Benennung	Anzahl	Einzelpreis	Gesamtpreis
Flachstahl	1	55,31€	55,31€
Gewindestange	4	1,50€	6,00€
Wandhalterung	1	36,00€	36,00€
Gummimatte	1	24,95€	24,95€
Mutter	16	0,29€	4,64€
Gesamtpreis			126,90€

3 - Versuchsdurchführung - Konzept - AA

Im Rahmen des interdisziplinären Projekts haben wir uns auf die Durchführung von zwei Probandenversuchen konzentriert. Es wurden hierzu zwei unterschiedliche Heizverfahren untersucht und miteinander verglichen, von denen eines auf Konvektionswärme basiert und das andere auf Wärmestrahlung.

Unser Ziel bei beiden Versuchsreihen war es, die Wärmeempfindlichkeit und Wohlfühlwärme der Probanden zu untersuchen sowie die Änderungen der Raumtemperatur, des CO₂-Verbrauchs etc. automatisch über das IoT-Labor zu erfassen und auszuwerten. Durch die Verwendung von innovativen Technologien und einer sorgfältigen Planung der Versuche, konnten wir eine objektive Bewertung der Wirksamkeit beider Heizmethoden erreichen.

3.1 - Vorbereitung

Um eine vergleichbare Auswertung der Ergebnisse zu ermöglichen, wurde bei beiden Versuchsreihen das IoT-Labor genutzt und die Raumtemperatur für jeden Probanden vor Beginn des Versuchs einheitlich reguliert.

Das IoT-Labor stellte sich für unsere Versuchsreihen als eine geeignete Umgebung heraus, da es nicht nur eine angenehme Atmosphäre bereitstellte, sondern auch mit Technologien aus dem Bereich Smart Home und Smart Metering ausgestattet war. Hierbei handelt es sich um verschiedene Sensoren, Aktoren und intelligente Geräte, die miteinander vernetzt sind und Daten erfassen können.

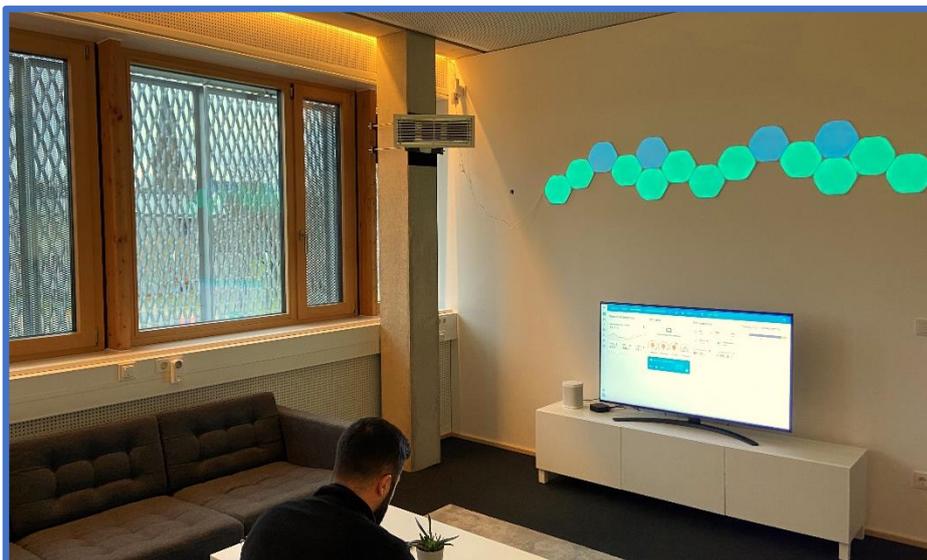


Abbildung 3-1: Proband im IoT-Labor der Hochschule Niederrhein

Eine weitere Voraussetzung für beide Versuche war, dass jeder Proband mindestens eine halbe Stunde im Gebäude verbringen musste, um mögliche Beeinflussungen durch die Außentemperatur zu minimieren. Dies garantierte, dass der Körper des jeweiligen Probanden nicht stark von der Außentemperatur abgekühlt war und somit keine signifikanten Auswirkungen auf das Versuchsergebnis hatte.

3.2 - Durchführung

Am ersten Versuchstag wurde das Heizverfahren mit einer Deckenheizung an der Hochschule untersucht. Am zweiten Versuchstag wurde die Infrarot-Heizmethode untersucht. Hierbei verwendeten wir die gleiche Probandenzahl und die Probanden wurden an beiden Tagen innerhalb des gleichen Zeitrahmens beobachtet. Um den Versuchsraum auf die nächste Durchführung mit einem Probanden vorzubereiten, wurde eine Belüftung des Raumes nach jedem Probandendurchgang mit einer Dauer von durchschnittlich einer Minute durchgeführt, um die gewünschte Raumtemperatur von 19 Grad Celsius wiederherzustellen. Dieser Ablauf wurde in der Tabelle 3-1 und 3-2 festgehalten.

Die Teilnahme der Studierenden basierte auf ihrem eigenen Willen und ihrer Bereitschaft, an dem Versuch teilzunehmen. Es war ihnen jederzeit möglich, ihre Teilnahme abzubrechen, ohne dass es negative Auswirkungen auf ihre Situation hatte. Um die behagliche Wärmeempfindung der Probanden zu beurteilen, wurden die Probanden dazu gebeten, einen Fragebogen, der nach der DIN EN ISO 1150 die Behaglichkeit gezielt abfragte, auszufüllen. Um eine Beeinflussung der Daten zu vermeiden, wurde der Fragebogen zur Bewertung der behaglichen Wärmeempfindung bereits vor dem Versuch im Raum bereitgestellt.

3.2.1 - Heizmethode mit Deckenheizung

Der erste Versuch wurde am 13.12.2022 im IoT-Labor durchgeführt und beinhaltete die Verwendung einer bereits verbauten Deckenheizung. Für diesen Versuch hatten wir 13 Probanden, die nicht wussten, worum es in dem Versuch ging. Für jeden Proband wurde ein Zeitfenster von 30 Minuten eingerichtet, bei dem sie einzeln den Versuchsraum betreten sollten. Nach 20 Minuten wurden die Probanden gebeten, den Fragebogen auszufüllen. Währenddessen wurden im Labor die Verläufe in regelmäßigen Abständen erfasst. Der Ablauf des Versuches wurde in der folgenden Tabelle 1.1 manuell festgehalten.

Tabelle 3-1: Versuchstag mittels Deckenheizung

Proband	Fragebogen Nr.	Zeitpunkt des Versuchs	Raumtemperatur am Anfang (°C)	Raumtemperatur am Ende (°C)
1	1.1	08:15 Uhr - 08:45 Uhr	18	21
2	1.2	09:00 Uhr - 09:30 Uhr	18,5	21,5
3	1.3	09:45 Uhr - 10:15 Uhr	18	21
4	1.4	10:30 Uhr - 11:00 Uhr	18	21
5	1.5	11:15 Uhr - 11:45 Uhr	19	22
6	1.6	12:00 Uhr - 12:30 Uhr	18	21
7	1.7	12:45 Uhr - 13:15 Uhr	18	21
8	1.8	13:30 Uhr - 14:00 Uhr	18	21
9	1.9	14:15 Uhr - 14:45 Uhr	18,5	21,5
10	1.10	15:00 Uhr - 15:30 Uhr	18	21
11	1.11	15:45 Uhr - 16:15 Uhr	18,5	21,5
12	1.12	16:30 Uhr - 17:00 Uhr	18	21
13	1.13	17:15 Uhr - 17:45 Uhr	18	21

3.2.2 - Heizmethode mit Infrarotheizung

Der zweite Versuch wurde am 16.12.2022 durchgeführt und beinhaltete die Verwendung eines Infrarotstrahlers der Firma Solar-Boxy-Heat. Hierzu wurde über die Hochschule beauftragt, die eigentliche Beheizmethode mittels Deckenheizung für den ganzen Versuchstag abzustellen. Bei diesem Versuch handelte es sich ebenfalls um eine Blindstudie mit 13 Probanden. Der Ablauf des Versuchs war der gleiche wie im ersten Versuch, einschließlich der Fragebogenausfüllung und der Messung der Verläufe im Labor. Auch hier befand sich jeder Proband jeweils 30 Minuten lang im Raum und sollte nach 20 Minuten einen Fragebogen ausfüllen, welcher nach der ISO-Norm die Behaglichkeit abfragte. Um die Vergleichbarkeit zu garantieren, wurden die Temperaturverläufe ebenfalls genau beobachtet.

Tabelle 3-2: Versuchstag mittels Infrarotheizung

Proband	Fragebogen Nr.	Zeitpunkt des Versuchs	Raumtemperatur am Anfang (°C)	Raumtemperatur am Ende (°C)
1	2.1	08:15 Uhr - 08:45 Uhr	18	22
2	2.2	09:00 Uhr - 09:30 Uhr	18	22
3	2.3	09:45 Uhr - 10:15 Uhr	18,5	23
4	2.4	10:30 Uhr - 11:00 Uhr	18	22,5
5	2.5	11:15 Uhr - 11:45 Uhr	19	23
6	2.6	12:00 Uhr - 12:30 Uhr	18	22
7	2.7	12:45 Uhr - 13:15 Uhr	18	22
8	2.8	13:30 Uhr - 14:00 Uhr	18,5	22,5
9	2.9	14:15 Uhr - 14:45 Uhr	18	22
10	2.10	15:00 Uhr - 15:30 Uhr	18	22
11	2.11	15:45 Uhr - 16:15 Uhr	19	23
12	2.12	16:30 Uhr - 17:00 Uhr	18,5	22,5
13	2.13	17:15 Uhr - 17:45 Uhr	18	22

3.3 - Ergebnis

Die gesammelten Daten wurden anschließend ausgewertet und miteinander verglichen, um eine sachgerechte Bewertung der beiden Heizmethoden zu ermöglichen.

Diese Versuchsreihe liefert wichtige Informationen über die Vor- und Nachteile beider Heizmethoden und kann bei der Entscheidung, welche Heizmethode in bestimmten Situationen am besten geeignet ist, hilfreich sein. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass jeder Raum und jede Situation unterschiedlich ist und weitere Forschung notwendig sein kann, um die besten Ergebnisse zu erzielen. Somit werden in der folgenden Dokumentation die Ergebnisse und Schlussfolgerungen ausführlich dargestellt.

4 - Behaglichkeitsauswertung - CG

Die Behaglichkeitsnorm beschreibt den körperlichen und seelischen Zustand mit Bezug auf das subjektive Wohlbefinden eines Menschen. Dabei wird zwischen der olfaktorischen, visuellen, akustischen und thermischen Behaglichkeit unterschieden. Die thermische Behaglichkeit, auch unter der ISO-Norm 7730 bekannt, konzentriert sich auf die Ergonomie des Umgebungsklimas und ist für diese Arbeit hauptsächlich interessant.

Bei der in Kapitel 3.1 beschriebenen DIN (Deutsches Institut für Normung) EN (Europäische Norm) ISO (International Organization for Standardization) 11550 handelt es sich um ein genormtes Prüfverfahren zur Bewertung des ergonomischen Umgebungsklimas mithilfe einer Versuchsbefragung. Dabei wird Bezug genommen auf die DIN EN ISO 7730, DIN EN ISO 13731 und DIN EN ISO 14505-3. Nicht bei jeder der drei letzten genannten ISO-Normen handelt es sich um eine Beurteilung mithilfe einer Befragung von Versuchspersonen.

Bei der ISO-Norm 13731 beispielsweise handelt es sich um eine Übersicht der physikalischen Größen, Begriffe und Symbole hinsichtlich des Klimas.⁵

Bei der ISO 14505-3 handelt es sich ebenfalls um eine Bewertung der thermischen Behaglichkeit durch Personenversuche. Der Anwendungsbereich der genannten ISO-Norm spezialisiert sich jedoch auf Fahrzeuginnenräume. Die Norm gilt vorrangig für Situationen, wo sich die Versuchsperson in einem geschlossenen Fahrzeug befindet. Die Versuchsperson kann dabei als Fahrzeugführer oder Begleitperson fungieren. Jedoch kann die Norm auch für Situationen verwendet werden, in denen die Versuchsperson den Bedingungen im Freien ausgesetzt ist, wie beispielsweise beim Motorradfahren oder bei der Führung eines Gabelstaplers. Die Behaglichkeit wird durch eine subjektive Versuchsbefragung festgestellt.⁶

So befasst sich die ISO-Norm 12894 mit der Behaglichkeit von Menschen, die extremen Temperaturen ausgesetzt sind.⁷ Es gibt weitere ISO-Normen, die sich mit der Bewertung der thermischen Behaglichkeit auseinandersetzen.

⁵ (DIN EN ISO 13731:2002)

⁶ (DIN EN ISO 14505-3)

⁷ (DIN EN ISO 12894)

Jedoch, wie bereits in den zwei anderen beschriebenen ISO-Normen, spiegelten diese nicht den Anwendungsbereich von dem von uns durchgeführten Versuch wider.

4.1 - DIN EN ISO 11550

Wie bereits am Anfang des Kapitels beschrieben, wird mithilfe der ISO-Norm 11550 und der Verwendung einer subjektiven Bewertungsskala eine Personenbefragung durchgeführt. Mit dieser soll festgestellt werden, wie das physikalische Empfinden der Probanden zum ausgesetzten Umgebungsklima ist. Die Erkenntnisse der Befragung sagen aus, wie die persönliche Meinung der Befragten zu den ausgesetzten klimatischen Bedingungen ist und ob sie diese annehmen oder ablehnen würden. Dabei wird unterschieden zwischen thermischer Wahrnehmung, affektiver Beurteilung (Behaglichkeit), thermischer Präferenz, persönlicher Annehmbarkeit und persönlicher Toleranz.

Bei den in der Norm aufgeführten Versuchsbeispielen wurde eine Arbeitssituation in einem Büro simuliert, in dem die Mitarbeiter leicht kühlen Bedingungen ausgesetzt waren. Da sich dieser Versuch unserem Versuch in verschiedenen Aspekten ähnelte, beispielsweise die Durchführung in geschlossenen recht kleinen Räumen sowie der Nichtaussetzung von Extremtemperaturen, entschieden wir uns für die ISO-Norm 11550.

Die Norm spezialisiert sich grundsätzlich nicht nur auf das Umgebungsklima, sondern auf die Beurteilung der physikalischen Umgebung. Darunter fällt im Einzelnen die Bewertung von Geräuschen, Lichtverhältnissen, Vibrationen und Luftqualität. In diesen einzelnen Fällen werden unterschiedliche Fragebögen herangezogen.

4.2 - Fragebogen

Die in der Norm aufgeführten Fragen unter Anderem affektive oder bewertende Beurteilungen, wie Behaglichkeit und Wohlbefinden, bewerten. Dies wird mithilfe einer bipolaren sieben-Stufenskala eingeschätzt. Es gibt den Indifferenzpunkt, der den neutralen Meinungspunkt widerspiegelt. Sowie bis zu 4 negative als auch positive Intensitätsstufen, die die abnehmbare sowie zunehmende Intensität darstellen sollen. Die Skala wird in Tabelle 4-1 illustriert.

4.3 - Ergebnisse

Die zwei durchgeführten Versuche ergaben die folgenden Antworten Verteilung. Wobei n für die Gesamtanzahl der Befragten steht.

Versuch Deckenheizung:

Tabelle 4-3 Ergebnisse Deckenheizung

Thermische Wahrnehmung:

	Sehr kalt	Kalt	Kühl	Etwas kühl	Neutral	Etwas Warm	Warm	Heiß	Sehr heiß
n	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
13	4				4	3	2		

Affektive Beurteilung (Behaglichkeit)

	Angenehm	Etwas unangenehm	Unangenehm	Sehr unangenehm
n	0	1	2	3
13	8	5		

Thermische Präferenz

	Viel kälter	Kälter	Etwas kälter	Ohne Änderung	Etwas Wärmer	Wärmer	Viel wärmer
n	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
13				6	7		

Persönliche Annehmbarkeit

	Ja	Nein
n	12	1

Persönliche Toleranz

	Erträglich	Etwas schwierig zu ertragen	Ziemlich schwierig zu ertragen	Sehr schwierig zu ertragen	Unerträglich
n	0	1	2	3	4
13	11	2			

Während der Fragebogen der *Infrartheizung* folgendes ergab:

Tabelle 4-4: Ergebnisse Infrartheizung

Thermische Wahrnehmung:

	Sehr kalt	Kalt	Kühl	Etwas kühl	Neutral	Etwas Warm	Warm	Heiß	Sehr heiß
n	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
13				1	5	2	5		

Affektive Beurteilung

	Angenehm	Etwas unangenehm	Unangenehm	Sehr unangenehm
n	0	1	2	3
13	9	4		

Thermische Präferenz

	Viel kälter	Kälter	Etwas kälter	Ohne Änderung	Etwas Wärmer	Wärmer	Viel wärmer
n	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
13				8	5		

Persönliche Annehmbarkeit

n	Ja	Nein
13	13	

Persönliche Toleranz

	Erträglich	Etwas schwierig zu ertragen	Ziemlich schwierig zu ertragen	Sehr schwierig zu ertragen	Unerträglich
n	0	1	2	3	4
13	12	1			

4.4 - Auswertung

Die ermittelten Daten des Versuches der *Deckenheizung* ergab folgende statistische Auswertung:

Thermische Wahrnehmung:

Zentrale Tendenz (Mittelwert): 0,2307
Streuung (Standardabweichung): 1,04909

Affektive Beurteilung:

Zentrale Tendenz (Median): Angenehm
Unzufriedenheitsindex: 31%
(Dies ist der beobachtete Prozentsatz von Bewertungen, die Unbehaglichkeit ausdrücken, oder beobachteter Prozentsatz von Unzufriedenen)

Thermische Präferenz

Zentrale Tendenz (Median): etwas wärmer
Präferenzindex: 53,84%
(Prozentsatz von Bewertungen, die eine Präferenz für eine Veränderung ausdrücken)

Annehmbarkeit

Zentrale Tendenz (Modalbewertung): eher annehmbar als nicht annehmbar
Unannehmbarkeitsindex: 7,70 %
(Prozentsatz von Bewertungen, die Unannehmbarkeit „persönlich“ ausdrücken):

Toleranz

Zentrale Tendenz (Median): Voll erträglich
Schmerzhaftigkeitsindex: 15,38 %
(Prozentsatz an Bewertungen, die eine Schwierigkeit des Ertragens ausdrücken)

Die ermittelten Daten des Versuches: Infrarotheizung ergab folgende statistische Auswertung:

Thermische Wahrnehmung:

Zentrale Tendenz (Mittelwert): 0,8462
Streuung (Standardabweichung): 1,33

Affektive Beurteilung:

Zentrale Tendenz (Median): Angenehm
Unzufriedenheitsindex: 38 %

Thermische Präferenz

Zentrale Tendenz (Median): etwas wärmer
Präferenzindex: 38,4 %

Annehmbarkeit

Zentrale Tendenz (Modalbewertung): Annehmbar
Unannehmbarkeitsindex: 0 %
(Prozentsatz von Bewertungen, die Unannehmbarkeit „persönlich“ ausdrücken)

Toleranz

Zentrale Tendenz (Median): Voll erträglich
Schmerzhaftigkeitsindex: 7,69 %
(Prozentsatz an Bewertungen, die eine Schwierigkeit des Ertragens ausdrücken)

4.5 - Schlussfolgerung

Nachdem beide Versuchsauswertungen genau betrachtet wurden, liegt der thermische Zustand der Deckenheizungen im Durchschnitt näher an der thermischen Neutralität mit 0,2307 als die der Infrarotheizung mit 0,8462. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Infrarotheizung im Durchschnitt wärmer bewertet worden ist.

Jedoch liegt ein höherer Unzufriedenheitsindex bei der Infrarotheizung mit 38 % vor als bei der Deckenheizung mit 31 %. Dies ist aus persönlichen Befragungen auf die Geruchsunstimmigkeit der Infrarotheizung zurückzuführen. Einige Probanden

beschwerten sich nach der Versuchsdurchführung über einen chemisch wirkenden, verbrannten Geruch. So erwähnte ein Proband zu uns: „Es riecht hier so ähnlich, als hätte ich Kunststoff verbrannt. Chemisch und drückend.“

Die Häufigkeit von Bewertungen bei der Thermischen Präferenz, die „etwas wärmer“ bevorzugt haben, war bei der Deckenheizung leicht stärker ausgeprägt. Dies ist zurückzuführen darauf, dass die Deckenheizung näher an der thermischen Neutralität bewertet worden ist.

Der durchgeführte Deckenheizungsversuch hat einen leicht stärker ausgeprägten Schmerzhaftigkeitsindex mit 15,38 %. Dabei haben die Probanden eine Schwierigkeit des Ertragens ausgedrückt. Während beim zweiten Versuch nur eine einzige Person die Umgebung als „etwas schwierig zu ertragen“ einstuft. Dies ist überraschend hinsichtlich der Tatsache, dass es keine Geruchsbeschwerden bei der Deckenheizung gab.

Es kann geschlussfolgert werden, dass die klimatischen Bedingungen der Infrarotheizung leicht bevorzugt wurden. Dies ist zurückzuführen auf die besseren Bewertungen in allen Kategorien außer in der affektiven Beurteilung, da wie bereits erwähnt, ein unangenehmer Geruch auf diese schlechtere Bewertung zurückzuführen ist.

5 - Datenauswertung - NTS

5.1 - Welche Messgeräte haben welche Parameter im Versuch gemessen?

- 1 x Homematic IP Smart Home CO₂-Sensor HmIP-SCTH230 (*CO₂-W-KK-01*) als Unterputzgerät in dem Kabelkanal unterhalb der Fensterbank zur Überwachung der Temperatur
 - CO₂-Gehalt in PPM
 - Temperatur in °C
 - Luftfeuchtigkeit in %
- 1 x Homematic Multimeter Zwischenstecker (*MM-X-ZS-01*) zur Überwachung der Leistungsaufnahme des Wärmestrahlers
 - Strom in mA
 - Spannung in V
 - Verbrauch in Wh
 - Status 0 oder 1 (bei Leistungsaufnahme 1)
 - Netzfrequenz in Hz
 - Leistungsaufnahme in W
- 1 x Homematic Temperatur- & Luftfeuchtigkeitssensor
 - Temperatur in °C
 - Luftfeuchtigkeit in %

Für die Behaglichkeitsbetrachtung ist die Temperatur ausschlaggebend. Mögliche Zusammenhänge von CO₂-Gehalt oder Luftfeuchtigkeit zum Wohlbefinden werden von der Norm nicht betrachtet und somit auch nicht in diesem Versuch. Dennoch wurden alle oben benannten Daten während des Versuches erhoben.

5.2 - Wann hat der Versuch stattgefunden?

Von 8 bis 18 Uhr am 13.12.2022 und am 16.12.2022 haben die Versuche stattgefunden. Genauere Informationen dazu sind im IP-Smart Heat WS22 Verzeichnis aufgeführt.

5.3 - Temperaturverläufe

Im Folgenden werden die Temperaturverläufe beschrieben und erklärt. Am 13.12.2022 wird der Versuch ausschließlich mit der Deckenheizung durchgeführt. Am 16.12.2022 wird die Raumwärme durch den Infrarotstrahler bereitgestellt.

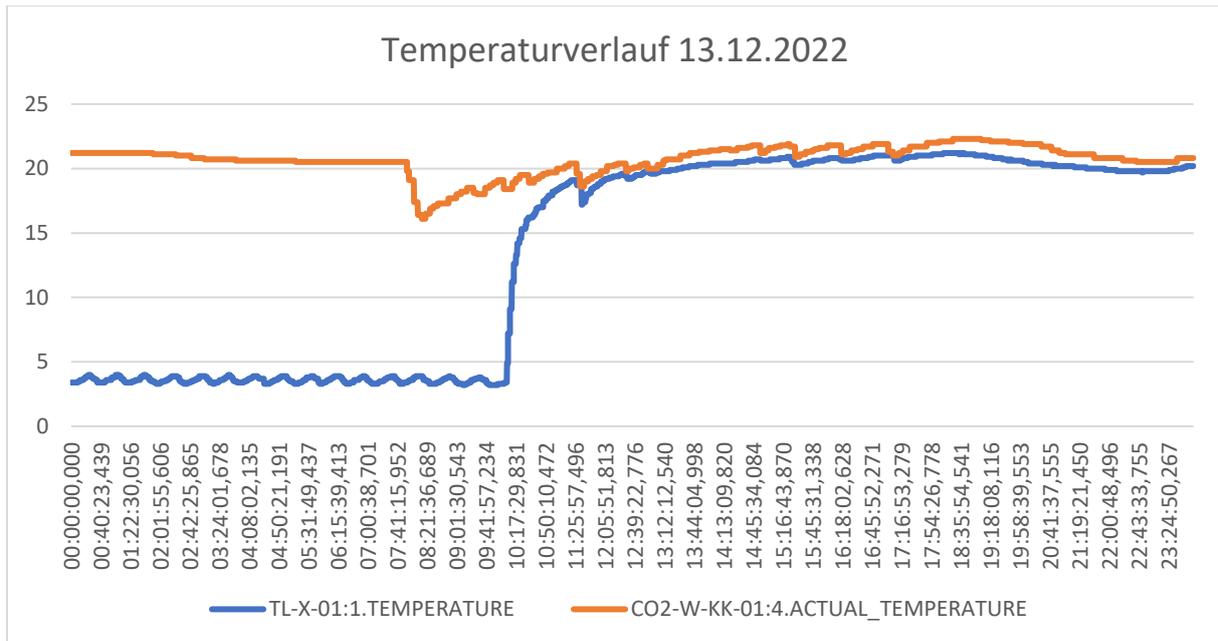


Abbildung 5-1: Temperaturverlauf 13.12.2022 mit Deckenheizung

Auf Der Y-Achse ist die Temperatur in °C aufgeführt. Auf der X-Achse ist die Zeit am 13.12.2022 von 0:00 bis 22:24 aufgeführt. Die beiden Kurven stellen den temperaturverlauf dar. Die orangene Kurve stellt den Temperaturverlauf des Unterputzsensors dar. Die blaue Kurve stellt den Temperaturverlauf des mobilen Temperatursensors dar. Die Achsenbeschriftung und die Farbcodierung sind in der folgenden Grafik bis auf den betrachteten Zeitraum gleich.

Die blaue Kurve ist bis 12 Uhr zu vernachlässigen, da der Sensor bis 10 Uhr im Kühlschranks stand und erst als der Versuch lief in den Raum gestellt wurde. Die Temperaturanpassung ist etwa um 12 Uhr abgeschlossen gewesen. Nach der Temperaturanpassung folgt die blaue Kurve um 0,5-1,1 °C versetzt der orangenen Kurve. Dies kann mit einer anderen Position im Raum und mit einer anderen Bauweise des Sensors zusammenhängen.

Weiterhin fällt auf, dass die blaue Kurve glatter ist als die orangene Kurve. Dies kann durch die größere Toleranz ($\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$) begründet werden. Zum Vergleich: der Unterputzsensor misst mit einer Auflösung von $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dadurch, dass der mobile Sensor tiefer im Raum steht, muss mehr Luftvolumen ausgetauscht werden, damit die Temperatur sich ändert. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass der Unterputzsensor direkt unter dem Fenster installiert ist und, somit bei Fensteröffnung zuerst von der Temperaturänderung betroffen ist.

Durch das Stoßlüften um kurz vor 8 fällt die orangene Kurve stark ab und der Versuchszeitraum beginnt. Bis halb 12 steigt die mittlere Temperatur stufenweise um $4 \text{ }^\circ\text{C}$ auf rund $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Durch das Lüften nach jedem Probanden entsteht die Stufung der Kurve. Um 18 Uhr ist der letzte Versuch durchgeführt und die Kurve wird glatt.

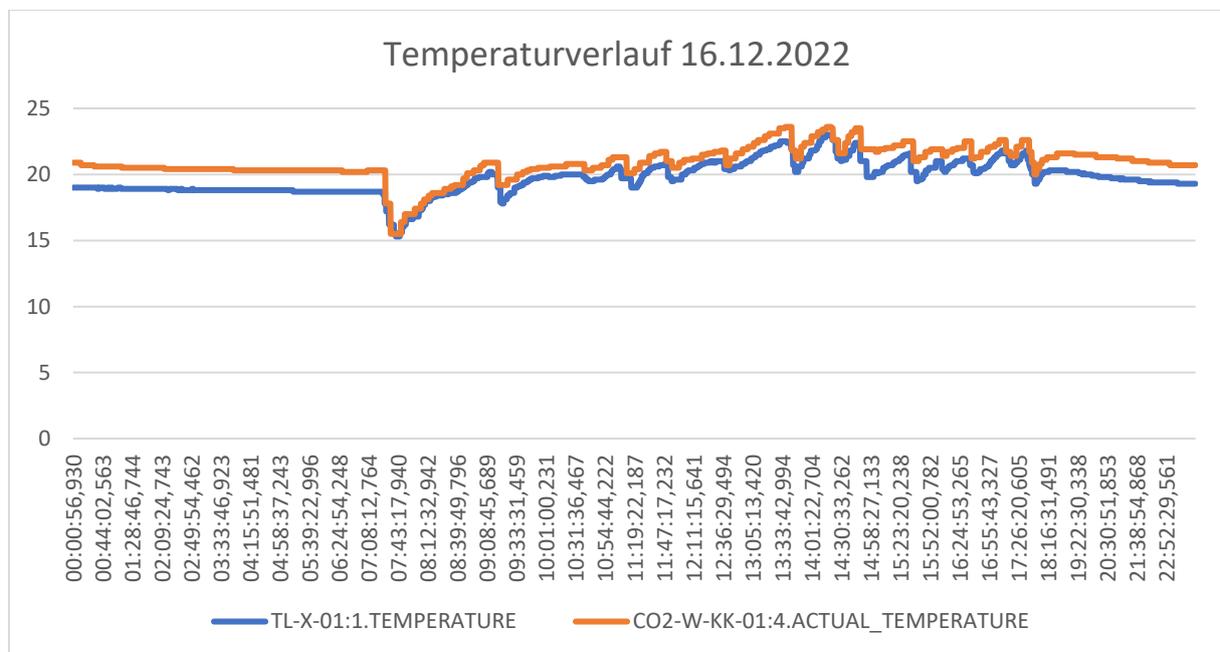


Abbildung 5-2: Temperaturverlauf 16.12.2022

Am 16.12.2022 findet der zweite Versuchstag mit dem Infrarotstrahler statt. Aus dem Datensatz geht hervor, dass der mobile Temperatursensor (blaue Kurve) $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ weniger misst als der Unterputzsensor (orangene Kurve).

Um 7:30 Uhr beginnt der Versuchstag mit einer gründlichen Stoßlüftung. Folglich sinken die Kurven bis auf $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ab. Um 9:17 Uhr findet nach dem ersten Probanden die nächste Stoßlüftung statt. Jede Stufe in den Kurven stellt eine weitere Stoßlüftung

nach einer Versuchsdurchführung dar. Bis 17:51 Uhr werden insgesamt 13 Versuche durchgeführt.

5.4 - Vergleich der Temperaturverläufe

Im Folgenden werden die Temperaturverläufe vom 13.12.2022 und vom 16.12.2022 verglichen.

Zuerst fällt auf, dass der mobile Temperatursensor (blaue Kurve) erst ab halb 12 am 13.12. valide Daten ermittelt, da dann die Temperaturanpassung von Kühlschranktemperatur auf Raumtemperatur abgeschlossen war.

Vergleicht man die Temperaturverläufe fällt auf, dass die Temperaturänderung mit Deckenheizung am 13.12. weniger stark ist als am 16.12. mit dem Infrarotstrahler. Folglich heizt der Infrarotstrahler den Raum schneller auf. Exemplarisch kann dafür die Temperaturanpassung nach dem Stoßlüften zum Versuchsbeginn betrachtet werden. Mit Deckenheizung dauert die Temperaturanpassung von 4,4 °C eine Zeit von 3h und 8 Minuten. Mit dem Infrarotstrahler dauert die Wärmeanpassung 2,5h für eine Temperaturveränderung von 4,8 °C.

5.5 - Die Möglichkeit für das Smart Home der Zukunft

Durch den Wärmestrahler lässt sich die Raumtemperatur schneller anpassen als mit der Deckenheizung im IoT-Labor. Wird die schnellere Temperaturveränderung mit Smart Home Technologie verbunden kann so zum Beispiel die Raumtemperatur nach Verlassen aller Bewohner einer Wohnung gesenkt werden. Das Verlassen jedes Bewohners kann durch ein Geofence um die Wohnung ermittelt werden. Ein Geofence ist eine Art digitaler Aufenthaltsbereich um einen Standort (hier eine Wohnung). Betritt ein Bewohner den digitalen Aufenthaltsbereich schaltet das Smart Home die Heizung ein, damit beim Eintreffen in der Wohnung die Wunschtemperatur erreicht ist. Durch die schnelle Temperaturänderung kann die Raumtemperatur über Tag, während der Arbeit stärker als bei einer trägeren konventionellen Heizung gesenkt werden. Mit einer stärkeren Temperaturabsenkung bei Nichtnutzung der Wohnfläche kann so Energie gespart werden.

5.6 - Verbesserungspotential für eine weitere Projektgruppe

Die Auswirkung vom CO₂-Gehalt oder die Luftfeuchtigkeit auf Versuchspersonen ist in diesem Versuch nicht untersucht worden. Dies kann ein guter Ansatzpunkt für weitere Behaglichkeitsuntersuchungen sein.

Die Auswirkung vom Infrarotstrahler auf die Luftfeuchtigkeit im Raum wurde in diesem Projekt nicht betrachtet, hier könnten sich weitere Nutzungspotentiale für den Infrarotstrahler ergeben.

Die Verknüpfung vom Infrarotstrahler mit dem Smart Home ist in diesem Projekt nicht erfolgt. Die Entwicklung eines smarten Wärmestrahlers ist sicherlich erstrebenswert.

Durch die exakte Messung der Temperatur und der exakten Öffnungsdauer eines Fensters kann der Energieverlust für eine Minute Stoßlüften und eine Minute Kipplüften berechnet werden. Gegebenenfalls kann die Lüftungseffektivität durch die Kohlenstoffdioxid-Konzentration im Raum betrachtet werden. Vielleicht ist es so möglich genau zu sagen wie viel effizienter Stoßlüften als Kipplüften ist.

6 - Ausblick - weitere Projektgruppen - AA

Aufgrund unserer Untersuchungen, bei denen wir die Wirkung der Infrarotheizung auf den Menschen analysierten, konnten wir feststellen, dass diese eine behagliche Wärmeabgabe aufweist und positive Auswirkungen auf den Menschen hat.

Aus diesem Grund haben wir uns mit der Möglichkeit auseinandergesetzt, die Strahlung der Infrarotheizung noch effizienter zu nutzen und haben für zukünftige Projektgruppen zwei verschiedene Ansätze zusammengefasst.

6.1 - Intelligenter-Punkt-Infrarotstrahler - Konzeptidee I - AA

Diese Konzeptidee zielt darauf ab, den Einsatz von Infrarotstrahlern zu optimieren und effizienter zu gestalten. Dazu haben wir eine Idee entwickelt, wodurch die Effizienz von Infrarotstrahlern durch den Einsatz moderner Technologien verbessert werden kann. Eine Möglichkeit hierfür wäre die Anwendung von Bühnentechnik, um gezielt Personen im Raum zu erkennen und zu verfolgen.

Mit dieser Technologie könnte ein Infrarotstrahler so eingestellt werden, dass er nur dann Energie verbraucht, wenn sich auch tatsächlich eine Person im Raum befindet. Ein solches System könnte auf einer Kombination aus Bewegungserkennung und Wärmebildanalyse basieren. Der Infrarotsensor oder die Kamera erfasst Bewegungen im Raum und leitet die Daten an eine Steuerungssoftware weiter. Diese Software führt eine Wärmebildanalyse durch, um die genaue Position der Person zu bestimmen. Sobald eine Person erkannt wurde, wird der Infrarotstrahler auf die Person ausgerichtet und eingeschaltet, um eine optimale Wärmeabgabe zu gewährleisten. Die Bühnentechnologie ermöglicht es somit, den Energieverbrauch zu minimieren und gleichzeitig eine optimale Wärmequelle bereitzustellen.



Abbildung 6-1: Intelligenter Punkt-Infrarotstrahler

6.2 - Deckenlampe-Infrarot-Strahler - Konzeptidee II - IJ

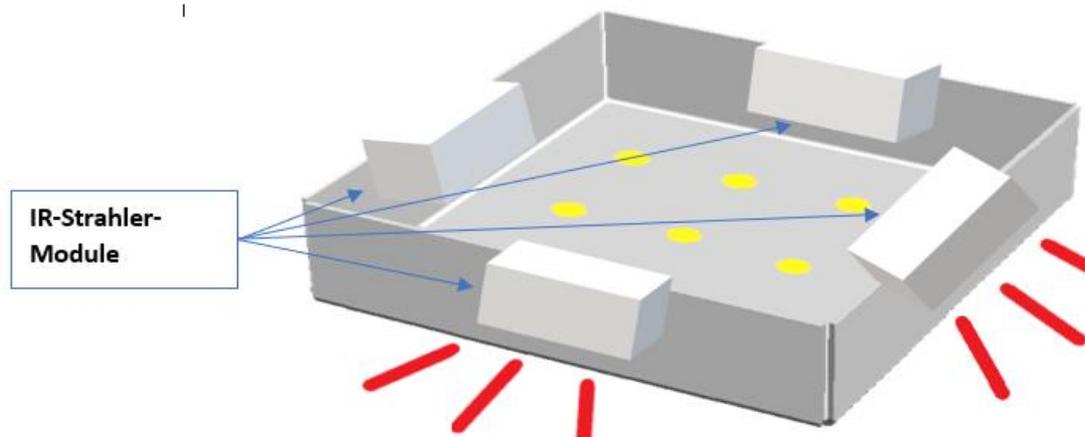


Abbildung 6-2: Deckenlampe-IR-Strahler

Aufgrund von Platzmangel oder fehlender Anbringungsflächen, bietet in der Praxis nicht jede Räumlichkeit die Möglichkeit einen IR-Strahler auf einer Höhe von 1,80 Meter oder höher zu installieren. Zudem spielt die Optik heutzutage eine große Rolle bei der Kaufentscheidung.

Um den Einsatz der IR-Strahler für jede Räumlichkeit zu ermöglichen, haben wir eine weitere Konzeptidee entwickelt. Durch eine 2-in-1 Konstruktion werden die Funktionen der Beleuchtung und des IR-Strahlers verknüpft.

Wie in Abbildung 6-2 dargestellt wird am Rahmen der Deckenleuchte auf jeder Seite ein Heizmodul angebracht. Für eine energieeffiziente Beleuchtung sorgen sechs auf der Grundfläche angebrachten LED-Spots, die in Abbildung 6-2 mit gelben Kreisen dargestellt sind.

Damit der Raum flächendeckend geheizt wird, ist stets darauf zu achten, dass der Deckenlampen-IR-Strahler in der Mitte des Raumes hängt. Außerdem muss für eine getrennte Stromversorgung gesorgt werden, sodass beide Funktionen unabhängig voneinander ein- und ausgeschaltet werden können.

Je nach Größe des Raumes kann dieses Konzept durch die Anbringung mehrerer Heizmodule pro Seite erweitert werden. Somit wird eine flächendeckende Wärmeabdeckung auch für größere Räume gewährleistet.

Durch den Einsatz des Deckenlampen-IR-Strahlers verfällt der Bedarf einer separaten Halterung. Demzufolge kann, neben den bereits genannten Vorteilen, auch von einer Optimierung der Optik ausgegangen werden.

7 - Zusammenfassung und Projektabschluss - AA

Unser interdisziplinäres Projekt befasste sich mit der Untersuchung der Behaglichkeit und Effizienz von Infrarotstrahlern. Dazu führten wir zwei Probandenversuche durch, um die Auswirkungen auf den Menschen zu analysieren. Die Ergebnisse zeigten, dass die Infrarotheizung behaglich und positiv auf den Menschen wirkt. Es ist jedoch von Bedeutung zu berücksichtigen, dass jeder Raum und jede Konstellation variieren kann und weiterführende Untersuchungen notwendig sein können, um die optimalen Ergebnisse zu erlangen.

Ein weiterer Aspekt unseres Projekts befasste sich mit der Effizienzsteigerung der Infrarotstrahlung. Hierzu führten wir einen technischen Versuch durch, um die Strahlungen bzw. Wärme zu fokussieren. Dieser Versuch hat gezeigt, dass es möglich ist, Infrarotheizungen mithilfe von Reflektion effizienter zu nutzen. Basierend auf den Ergebnissen wurden zwei Ansätze für nachfolgende Projektgruppen zusammengefasst. Das Projekt kann als erfolgreich beendet angesehen werden und es ist anzunehmen, dass die Ergebnisse eine gute Basis für nachfolgende Projektgruppen schaffen. Die Arbeit trägt einen Mehrwert für die Zukunft bei, indem sie einen Beitrag zur Effizienzsteigerung und eine Aussagekraft zur Behaglichkeit von Infrarotheizungen leistet.