

Messtechnische und energetische Analyse zur Raumbeheizung von verschiedenen elektrischen Heizgeräten und deren Potenzial zur Lastverschiebung

Auftraggeber **Lucht LHZ Elektroheizung GmbH & Co. KG**

Reinhard-Schmidt-Straße 1

D - 09217 Burgstädt

Ansprechpartner:

Herr U. Lucht

Herr S. Lucht

Herr R. Frommhold



Ausführende Stelle **Technische Universität Dresden**

Institut für Energietechnik

Helmholtzstraße 14

D - 01062 Dresden

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. L. Schinke

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Seifert



Bearbeiter Dipl.-Ing. L. Schinke
Dipl.-Ing. M. Beyer

Datum 02.06.2026

Inhalt

1	Aufgabenstellung	3
2	Versuchsraum, Messtechnik und Randbedingungen.....	4
2.1	Allgemeines	4
2.2	Messkonzept, Versuchsaufbau und Sensorik	4
2.3	Versuchsablauf.....	10
2.4	Auswertemethodik	12
3	Ergebnisse.....	13
3.1	Raumwirkung.....	13
3.1.1	Heizgerät Dynamo	13
3.1.2	Heizgerät Teilspeicherheizung	18
3.1.3	Heizgerät Infrarotheizung – Wand.....	20
3.1.4	Heizgerät Infrarotheizung – Decke	22
3.1.4.1	Heizgerät Infrarotheizung – Decke - nah.....	22
3.1.4.2	Heizgerät Infrarotheizung – Decke - mittig	23
3.1.4.3	Heizgerät Infrarotheizung – Decke - fern	25
3.2	Energetische Analyse	27
3.3	Ökonomische Analyse der Energieverbräuche	30
4	Zusammenfassung und Fazit	32
5	Literaturverzeichnis.....	34
6	Symbolverzeichnis.....	35
7	Anhang	36

1 Aufgabenstellung

Die Fa. Lucht LHZ Elektroheizung GmbH & Co. KG aus Burgstädt ist ein innovativer Hersteller von elektrischen Heizsystemen. Diese Heizsysteme können auf Grund ihrer Eigenschaften ein Baustein bei der angestrebten Wärmewende in Deutschland sein. Um zukünftig bei der Raumbeheizung die flexiblen Stromtarife zu nutzen, rückt auch die Speicherwirkung der Heizsysteme in den Fokus. Aus diesem Grund hat die Fa. Lucht ein neues Heizgerät Dynamo konzipiert, welches über einen internen thermischen Speicher verfügt. Dieses neue Heizsystem soll vergleichend zu folgenden Heizsystemen der Fa. Lucht

- Infrarotheizung und
- Teilspeicherheizung (auch Flächenspeicherheizung genannt, wird im Rahmen dieser Studie synonym verwendet)

messtechnisch analysiert und bewertet werden. Diese Untersuchungen sollen im Rahmen des FuE-Projektes im Innenklimaraum des Combined Energy Lab der TU Dresden durchgeführt werden. Das Projekt lässt sich in folgende durchzuführende Aufgaben aufteilen:

- Definition einer geeigneten Versuchsanordnung im Innenklimaraum des Combined Energy Lab der TU Dresden sowie Festlegung der notwendigen Messstellen
- Installation und Inbetriebnahme der Versuchsanordnung
- Durchführung von Messreihen für die drei verschiedenen Heizsysteme
 - Dynamo-Heizsystem,
 - Infrarotheizung und
 - Teilspeicherheizungunter verschiedenen Randbedingungen für das Einsatzgebiet Bestandsgebäude
- Auswertung der Messdaten
- Vergleich der verschiedenen Heizsysteme hinsichtlich der thermischen Speicherwirkung und der Wärmeübergabe in den Raum

2 Versuchsraum, Messtechnik und Randbedingungen

2.1 Allgemeines

Für die durchzuführenden Versuche wird der Innenklimaraum der TU Dresden (Combined Energy Lab [1]) verwendet. Dieser zeichnet sich durch eine vollständige Temperierbarkeit aller Umfassungsflächen aus. Der Bereich der möglichen Oberflächentemperaturen liegt bei $5^{\circ}\text{C} \leq \vartheta_w \leq 50^{\circ}\text{C}$. Auf der Luftseite können Temperaturen von $10^{\circ}\text{C} \leq \vartheta_L \leq 35^{\circ}\text{C}$ sichergestellt werden. Abbildung 1 zeigt eine Außenansicht des Versuchsraumes¹. Die Innenmaße betragen $B \times L \times H = (4 \times 5 \times 2,5) \text{ m}^3$.



Abbildung 1: Innenklimaraum der TU Dresden

2.2 Messkonzept, Versuchsaufbau und Sensorik

Der messtechnische Aufbau wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber erarbeitet und umgesetzt. Die elektrischen Heizgeräte werden mittig vor der 4 m langen Seitenwand installiert (Anordnung siehe Abbildung 2).

Für die Analysen werden folgende Sensoren und Messgeräte im Innenklimaraum installiert:

- Lufttemperatur und Globetemperatur mit drei verschiedenen Abständen zum elektrischen Heizgerät
- NTC-Fühler über der Höhe in der Raummitte

¹ Detaillierte Informationen sind in [1] zu finden.

- One-Wire-Temperatursensoren in den temperierbaren Wänden zur Regelung und Steuerung verschiedener Lastzustände
- SICAM Messumformer zur Messung der elektrischen Größen Spannung, Stromstärke, Leistung

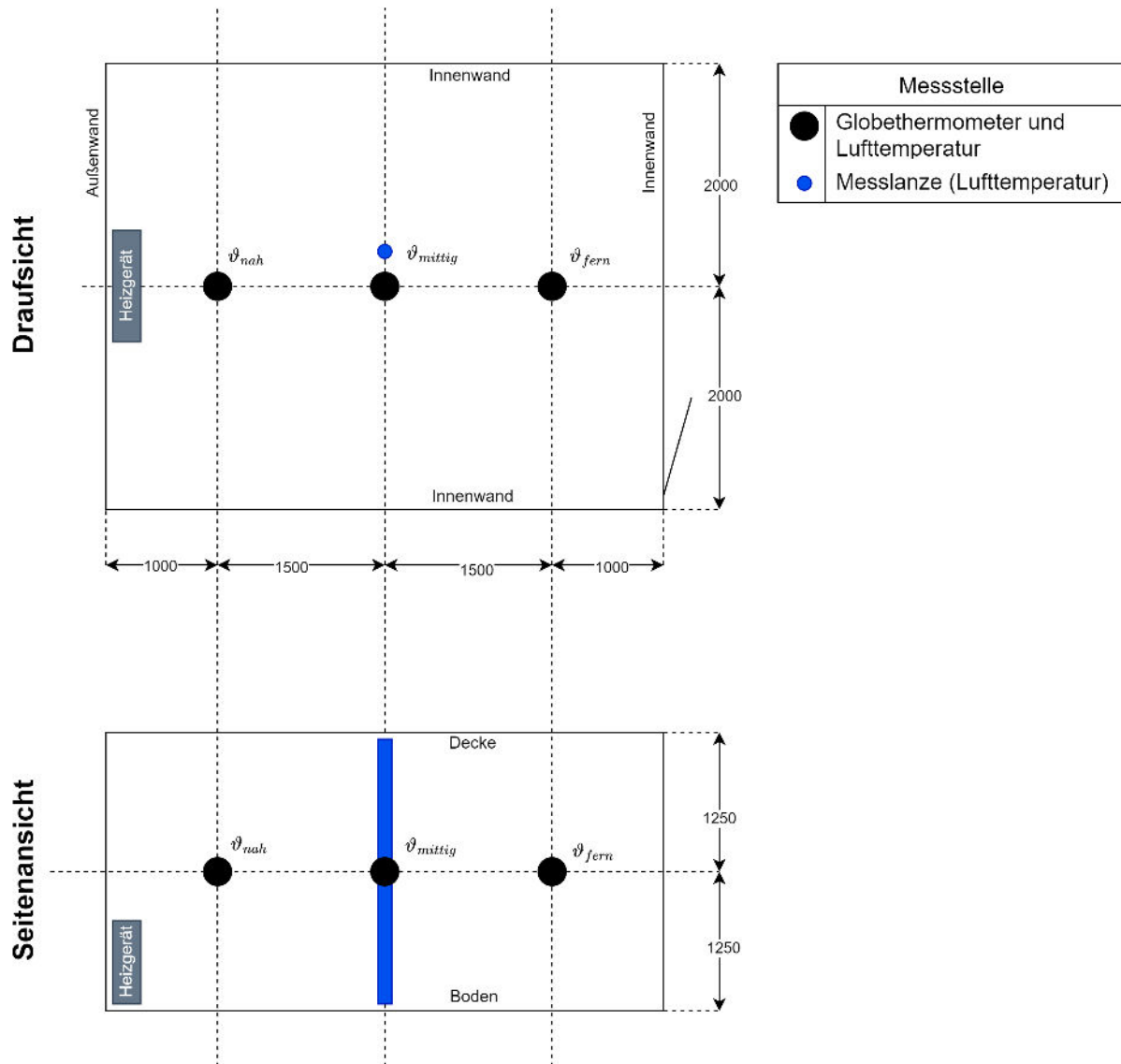


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau

Die Positionen der Lufttemperatur- und Globethermometersensoren sind in Abbildung 2 zu entnehmen. In der Abbildung 3 ist der gesamte Versuchsaufbau exemplarisch für das Heizgerät Dynamo dargestellt. Die Abbildung 4 zeigt die drei verschiedenen Heizgeräte installiert im Innenklimaraum. Neben der Wandmontage kann die Infrarotheizung auch an der Decke installiert werden, was an drei verschiedenen Deckenpositionen im Raum untersucht worden ist (siehe Abbildung 5). Die Bezeichnungen „nah“, „mittel“ und „fern“ beziehen sich wie auch die Sensorbezeichnungen auf die Lage zur Außenwand (siehe Abbildung 2).

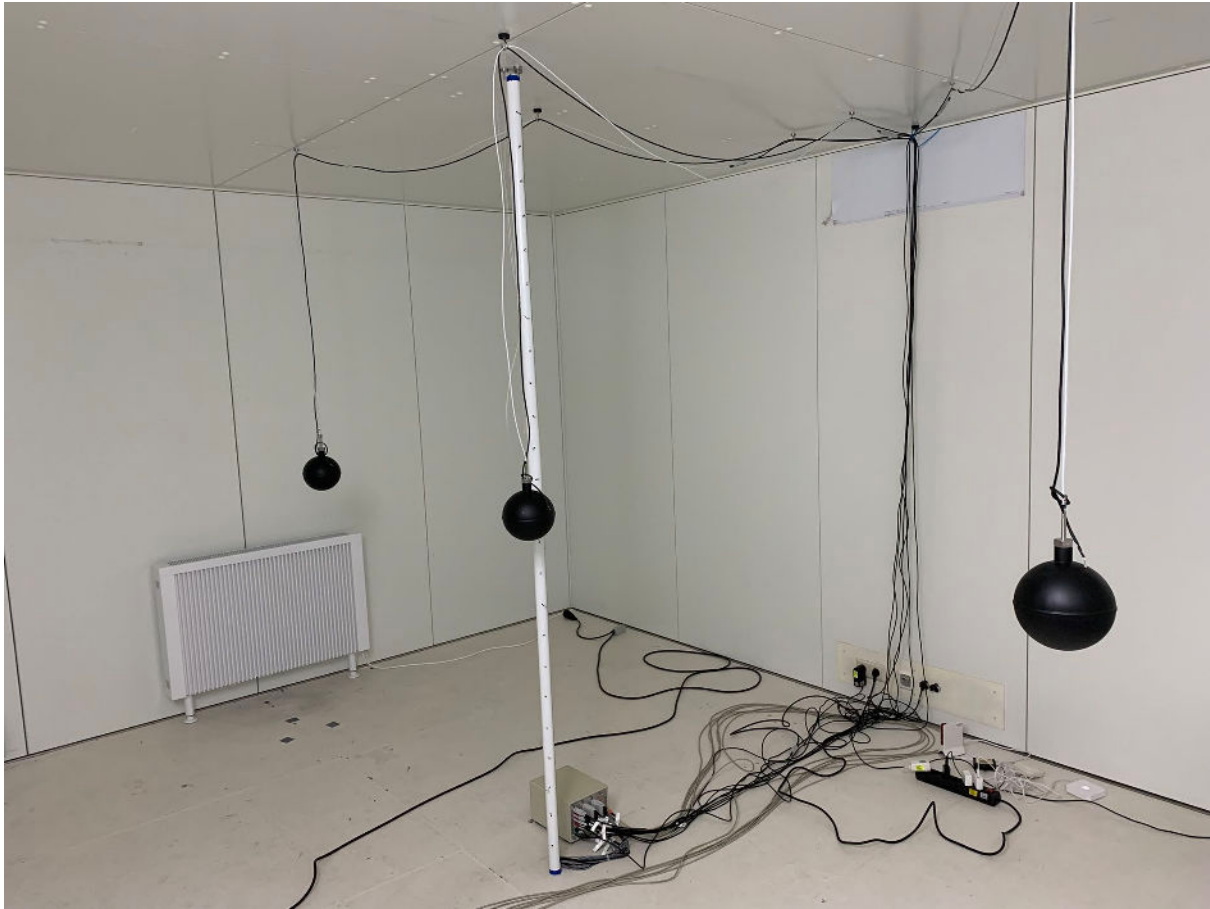


Abbildung 3: Gesamtansicht des Versuchsaufbaus mit Heizgerät Dynamo



Abbildung 4: Installierte Heizgeräte im Innenklimaraum – Links: Dynamo; Mitte: Teilspeicherheizung; Rechts: Infrarotheizung an der Wand

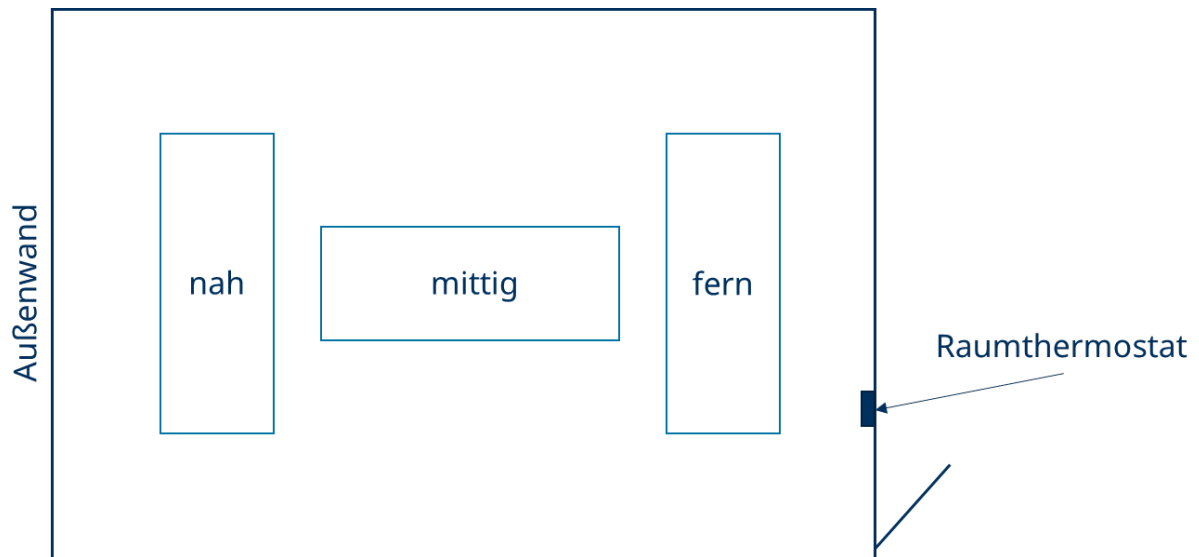


Abbildung 5: Schematische Darstellung der drei Positionierungen der Infrarotheizung an der Decke (Draufsicht)

Die Abbildung 6 bis Abbildung 8 zeigen die installierte Infrarotheizung an der Decke im Innenklimaraum für die drei Positionen.



Abbildung 6: Heizgerät Infrarotheizung an der Decke – Position nah



Abbildung 7: Heizgerät Infrarotheizung an der Decke – Position mittig



Abbildung 8: Heizgerät Infrarotheizung an der Decke – Position fern

Zusammenfassend zur Messtechnik sind die verwendeten Sensoren und deren Toleranzen der Tabelle 1 zu entnehmen:

Tabelle 1: Zusammenfassung der Messtechnik und deren Genauigkeit

Bezeichnung / Messstelle	Typ / Hersteller	Genauigkeit
Temperatursensor Operative Raumtemperatur	PT100 Globethermo- meter	$\pm (0,1 \text{ K} + 0,17 \% \text{ vom Messwert})$
Temperatursensor Höhenprofil	NTC	$\pm (0,2 \text{ K})$
Kombinierter Feuchte-/Temperatursensor Raumluft in mittlerer Höhe	kapazitiver digitaler Sensor	$\pm (2,0 \% \text{ rel. Feuchte vom}$ Messwert) $\pm (0,2 \text{ K Temperatur vom}$ Messwert)
Temperatursensor Wandtemperatur	One-Wire-Tempera- tursensor	$\pm (0,5 \text{ K})$
Messumformer elektrische Leistung	Siemens SICAM	$\pm (0,2 \% \text{ vom Messwert})$

Alle Messwerte werden mit einem Datenlogger und der dazugehörigen Software der Fa. Ahlborn in einer Zeitschrittweite von 5 s aufgezeichnet und gespeichert.

Die Regelung des elektrischen Heizgerätes erfolgt über den dazugehörigen Raumthermostat. Bei dem Heizgerät Dynamo befindet dieser sich direkt am Heizgerät. Für die Heizgeräte Teilspeicherheizung und Infrarotheizung wurde der Raumthermostat – wie in der Praxis üblich - neben der Tür installiert, siehe Abbildung 9. Der Raumthermostat bestimmt die Ist-Temperatur für den Regelkreis. Auf Grund der Positionierung unterscheidet sich dieser Messwert zum Temperaturwert in der Aufenthaltszone, in dieser Untersuchung der Messpunkt Globethermometer „mittig“. Um die Differenz zu ermitteln, wurde für jedes Heizgerät in Vorversuchen die Lufttemperatur neben dem Raumthermostat und dem Globethermometer „mittig“ aufgezeichnet. Anschließend konnte über die App eine Korrektur/Kalibrierung durch Eingabe eines Offsets vorgenommen werden. Über diese App erfolgte ebenfalls unter Rahmenbedingungen, die für Bestandsgebäude typisch sind, die Ansteuerung der elektrischen Heizgeräte (Ein-/Ausschalten und Sollwertvorgabe).



Abbildung 9: Raumthermostat neben der Tür inkl. Vergleichsmessstelle

2.3 Versuchsablauf

In Abstimmung mit dem Auftraggeber sollen die Untersuchungen unter Randbedingungen, die für Bestandsgebäude typisch sind, erfolgen. Die benötigte ausgelegte Heizlast des Raumes beträgt 1500W. Um diese zu decken, wurde für die drei Heizgeräte folgende Leistungsklassen ausgewählt:

- Dynamo 1500 W
- Teilspeicherheizung 1500 W
- Infrarotheizung 1550 W

Die Versuche werden aber nicht im Auslegungszustand durchgeführt, da dieser den seltenen Fall von sehr niedrigen Außentemperaturen widerspiegelt. Stattdessen erfolgen die Untersuchungen in drei verschiedenen Teillastzuständen, welche im Laufe der Winter- und der Übergangszeit häufiger auftreten können. Um diese zu realisieren, werden die Temperaturen der Innen- und Außenwände (siehe Abbildung 2) für jede Versuchsvariante auf unterschiedlichem Niveau konstant gehalten. Die Tabelle 2 fasst die drei Lastfälle und die dazugehörigen Temperaturen der temperierbaren Wände zusammen.

Tabelle 2: Zusammenfassung der drei Lastfälle und den dazugehörigen Temperaturen der temperierbaren Wände des Innenklimaraums (Prozentangabe in Bezug auf Heizlast 1500W)

Variante	Innenwand-temperatur	Außenwand-temperatur	Last
Lastfall 85 %	19,5 °C	16,0 °C	1275 W (85%)
Lastfall 60 %	20,0 °C	17,0 °C	900 W (60%)
Lastfall 25 %	21,0 °C	17,0 °C	375 W (25%)

Für die Analysen werden zwei Zeiträume benötigt. Der erste Zeitraum ist für die Beladung des inneren Speichers des Heizgerätes vorgesehen. In diesem Zeitraum ist die Sollwertvorgabe für den Raum gering und das mögliche Erreichen spielt eine untergeordnete Rolle, da in diesem Zeitraum der Raum nicht genutzt wird. Der zweite Zeitraum ist die Nutzungszeit, bei der ein Sollwert von 21 °C erreicht werden muss, um die Anforderungen der Raumbeheizung zu erfüllen. Die Abbildung 10 stellt den Versuchsverlauf schematisch dar. In den Untersuchungen wurde eine Beladungszeit von bis zu 3 h und eine Nutzungszeit von bis zu 4 h umgesetzt.

Der Sollwertsprung zum Start der Nutzungszeit war für alle Untersuchungen auf 21 °C. Die Temperatur im Raum während der Beladungszeit hat sich abhängig von der Last bzw. durch das Beladen des Heizgerätes eingestellt.

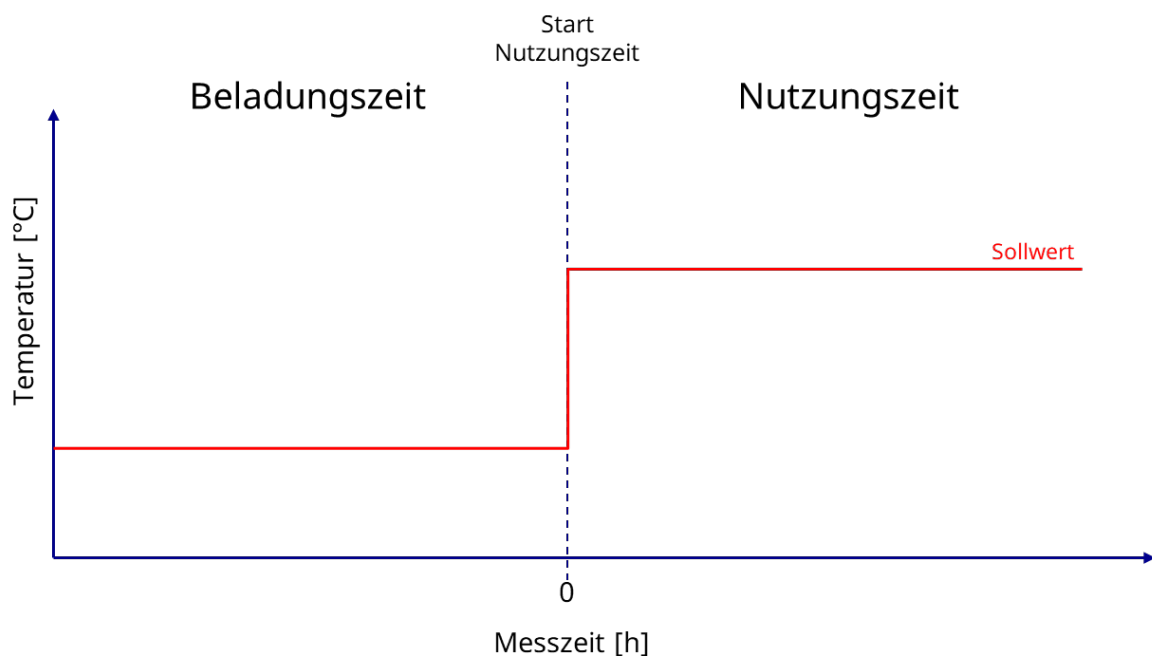


Abbildung 10: Schematischer Versuchsverlauf

2.4 Auswertemethodik

Für die Auswertung werden die zeitlichen Verläufe der Größen

- Globetemperatur – nah, mittig, fern
- Lufttemperatur – nah, mittig, fern
- elektrische Leistung

analysiert.

Des Weiteren wird die elektrische Leistung getrennt für die zwei Zeiträume Beladungszeit und Nutzungszeit zur elektrischen Energie kumuliert.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Für alle Auswertungen werden 3 h Beladungs²- und 4 h Nutzungszeit zu Grunde gelegt.

3.1 Raumwirkung

Als erstes wird die Raumwirkung der verschiedenen Heizgeräte für den Lastfall 60% detailliert bewertet. Für die anderen beiden Lastfälle sind die Diagramme im Anhang zu finden.

3.1.1 Heizgerät Dynamo

Die Abbildung 11 zeigt den zeitlichen Verlauf der Globe- und Lufttemperatur sowie der elektrischen Leistung.

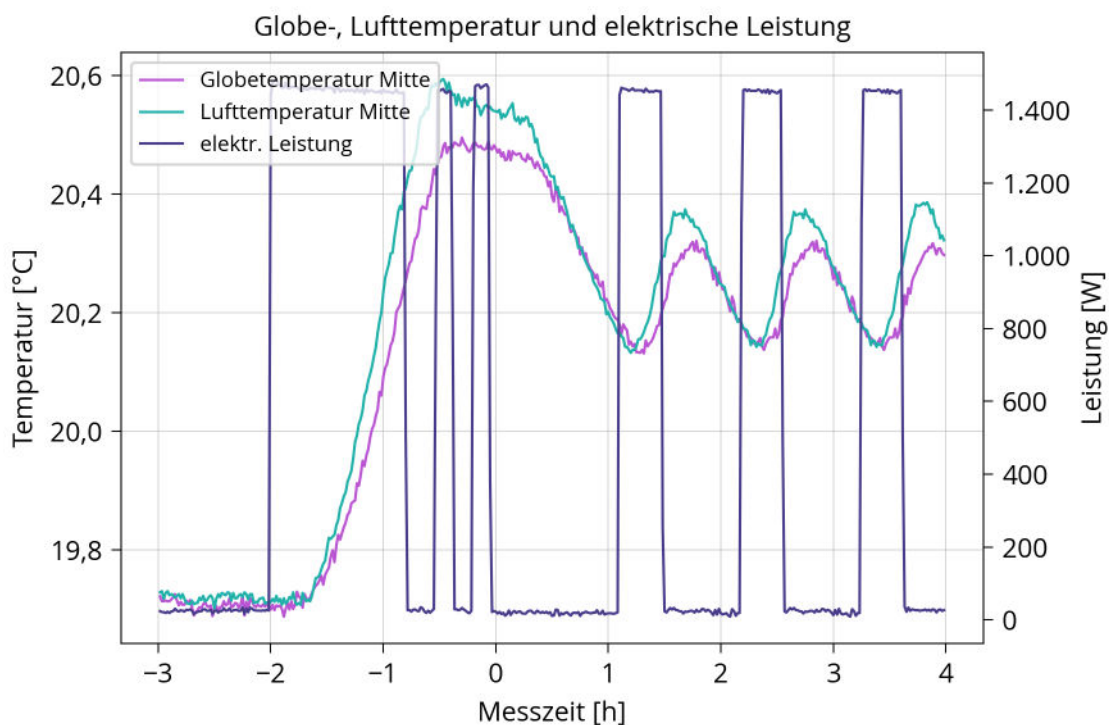


Abbildung 11: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung **für Heizgerät Dynamo** bei Lastfall 60%, Beladungszeit 2 h

² Maximaler Zeitraum, in dem eine potenzielle Beladung des Heizgerätes durchgeführt werden kann.

Das Heizgerät Dynamo hat einen internen thermischen Speicher, welcher in der Beladungszeit aufgeheizt wird. Daher beginnt 2 h vor Nutzungszeit der elektrische Leistungsbezug. Da der thermische Speicher nicht vom Raum entkoppelt ist, beginnt nach ca. 30 min durch die Beladung die Raumtemperatur zu steigen. Nach 1 h 15 min ist die maximale Speichertemperatur erreicht und der Dynamo beendet das Beladen. Durch die Interaktion mit dem Raum fällt die Speichertemperatur wieder und es kommt zum erneuten Beladen bis zur maximalen Speichertemperatur. Dieses taktende Wiederbeladen ist bis zum Start der Nutzungszeit zweimal erkennbar. Zu Beginn der Nutzungszeit hat der Raum den gewünschten Sollwert bereits während der Beladungszeit erreicht bzw. leicht überschritten. Der interne thermische Speicher gibt weiterhin thermische Energie ab und sorgt für die Raumbeheizung. Nach ca. 1 h 10 min in der Nutzungszeit wird der Sollwert unterschritten, die thermische Energie im Speicher reicht nicht mehr für die Raumbeheizung aus und es wird eine elektrische Leistung bezogen um den Sollwert einzuhalten. Anschließend erfolgt das Regeln um den Sollwert durch zyklisches Ein- und Ausschalten des Heizgerätes Dynamo. Weiterhin ist zu erkennen, dass in der Raummitte die Lufttemperatur immer größer als die Globetemperatur während des Betriebes ist, dies ist darauf zurückzuführen, dass das Heizgerät Dynamo auf Grund seiner gerippten Bauweise ähnlich wie die Teilspeicherheizung einen etwas höheren konvektiven Wärmetransport im Vergleich zur Strahlung hat.

Betrachtet man die Raumwirkung des Heizgerätes Dynamo durch den Vergleich der Temperatursensoren an den drei Positionen fern / mittig / nah, so ist ein geringer Temperaturunterschied ($\Delta\vartheta < 0,5 \text{ K}$) zu erkennen, siehe Abbildung 12. Das heißt, es bildet sich eine homogene Temperaturverteilung im Raum aus.

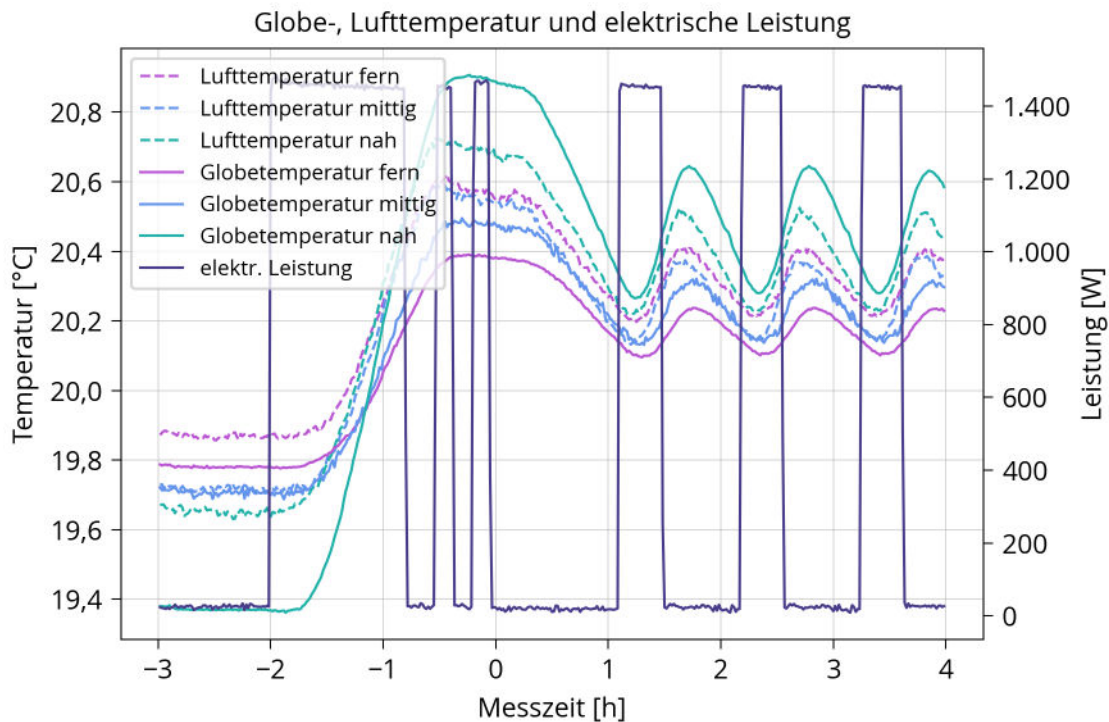


Abbildung 12: Globe- und Lufttemperaturverlauf (fern / mittig / nah) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Dynamo** bei Lastfall 60%, Beladungszeit 2 h

Im Bereich fern ist wie oben beschrieben die Lufttemperatur immer größer als die Globetemperatur. Im Bereich nah kommt auf Grund der Positionierung der Sensorik zum Heizgerät eine verstärkte Strahlungswirkung hinzu. Diese ist aber im Vergleich zu den anderen Heizgeräten als gering einzuschätzen.

Um den Einfluss der Beladungszeit bewerten zu können, erfolgen Wiederholungen des Versuchs mit einer Beladungszeit von 1 h und 3 h. Die Abbildung 13 zeigt den zeitlichen Verlauf der Globe- und Lufttemperatur sowie der elektrischen Leistung für 1 h Beladungszeit.

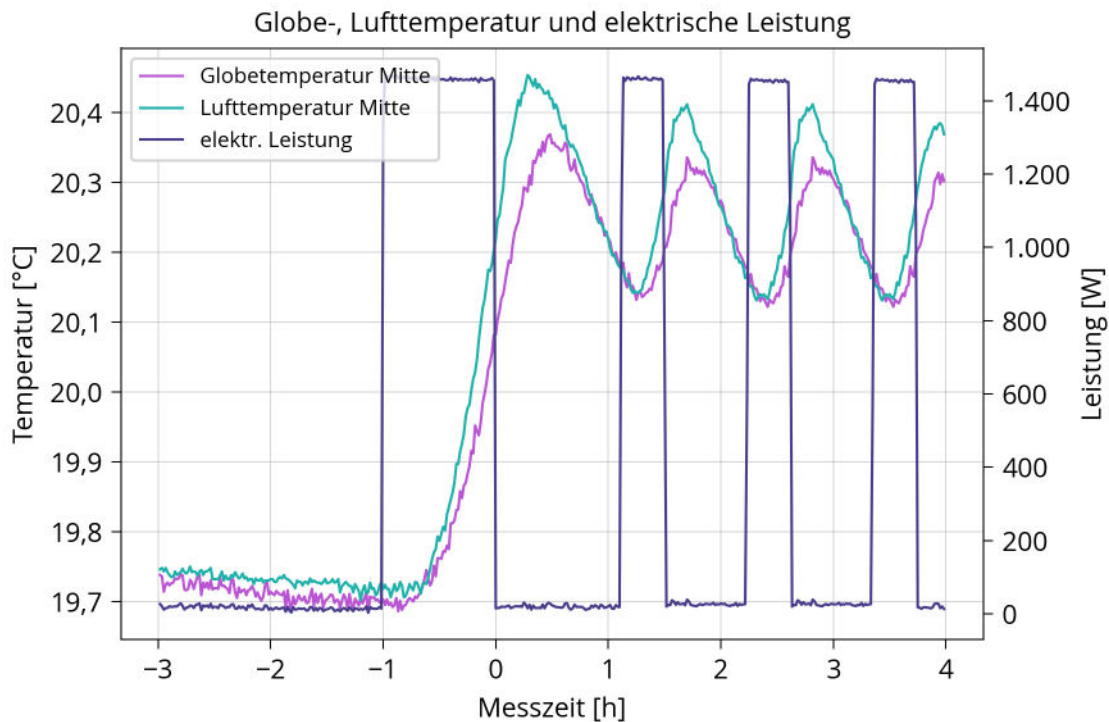


Abbildung 13: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Dynamo** bei Lastfall 60%, Beladungszeit 1 h

Es ist zu erkennen, dass in der einen Stunde der interne thermische Speicher beladen wird und die Raumtemperatur ansteigt. Dieses Verhalten ist auch bei einer Beladungszeit von 2 h zu erkennen. Da die interne maximale Speichertemperatur noch nicht erreicht wird, kommt es zu keinem Takten in der Beladungszeit, sondern zum Abschalten aufgrund des Endes der einprogrammierten Beladungszeit nach 1 h. Innerhalb der Nutzungszeit ist das gleiche Verhalten hinsichtlich der Raumtemperatur und dem zyklischen An- und Ausschalten zu sehen, wie bei der Beladungszeit von 2 h.

Bei einer Beladungszeit von 3 h wird wie bei der Beladungszeit von 2 h der maximale Temperaturwert des internen thermischen Speichers erreicht und es kommt zum Takten während der Beladung, siehe Abbildung 14. In diesem Taktzyklus bleibt die Raumtemperatur nahezu konstant. Während der Nutzungszeit ist der gleiche Verlauf wie bei den anderen beiden Beladungszeiten zu erkennen.

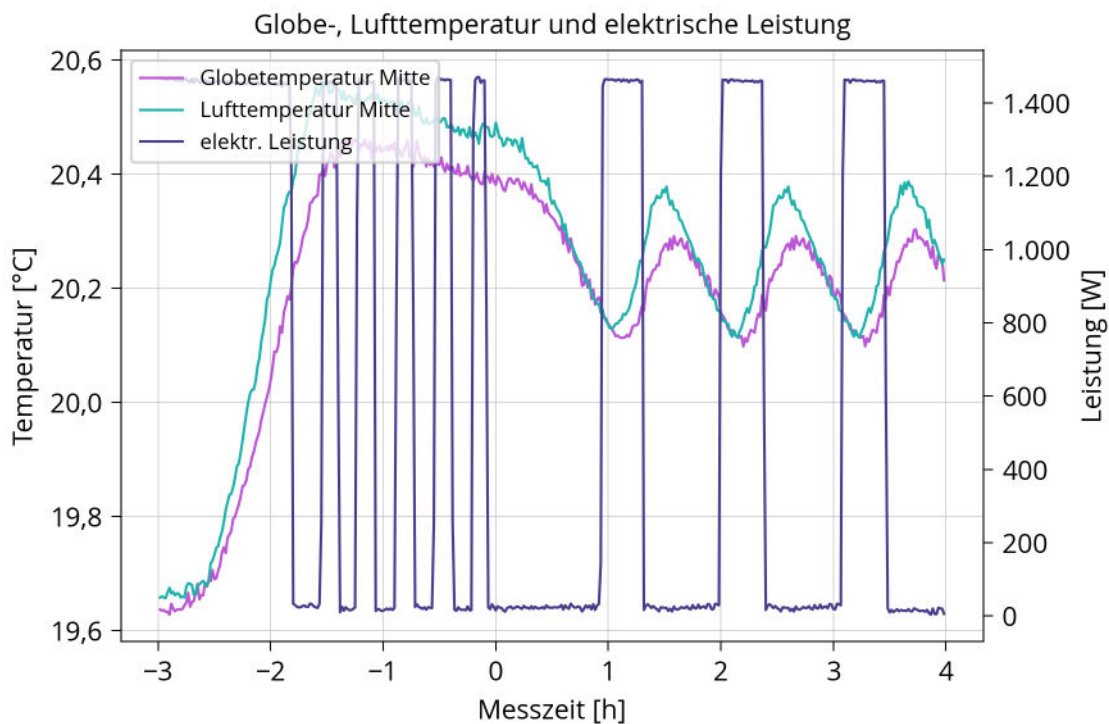


Abbildung 14: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Dynamo** bei Lastfall 60%, Beladungszeit 3 h

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass für die vorliegenden Versuchsrandbedingungen eine Beladungszeit von 1 h 15 min zum vollständigen Beladen des internen thermischen Speichers ausreicht. Auf Grund dessen, werden für die weiteren Betrachtungen in den Abschnitten 3.2 und 3.3 von der potenziellen Beladungszeit von 3 h nur die letzte 1 h genutzt.

Für die Lastfälle 25% und 85% sind ähnliche Zusammenhänge erkennbar, siehe Abbildung 26 und Abbildung 27 im Anhang.

3.1.2 Heizgerät Teilspeicherheizung

Die Abbildung 15 zeigt den zeitlichen Verlauf der Globe- und Lufttemperatur sowie der elektrischen Leistung.

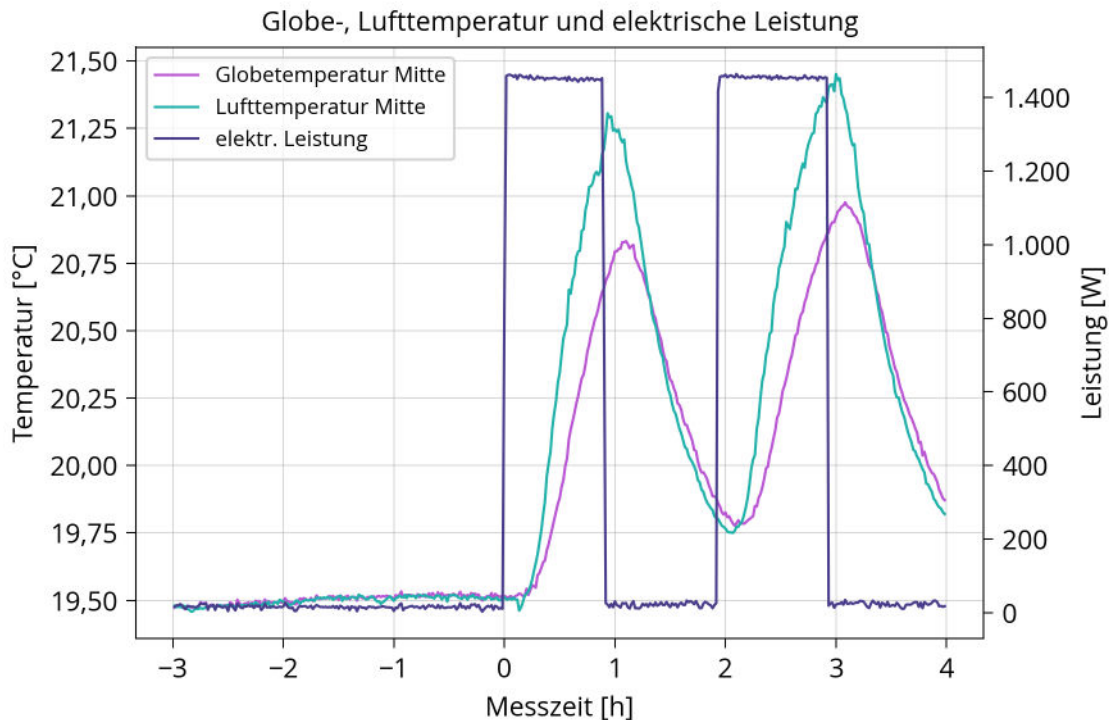


Abbildung 15: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Teilspeicherheizung** bei Lastfall 60%

Die Teilspeicherheizung verfügt über keine Beladungsfunktion, daher beginnt der elektrische Leistungsbezug erst mit dem Beginn der Nutzungszeit (Messzeit 0 h). Die Raumtemperatur steigt rasch an und nach ca. 50 min ist zum ersten Mal der Sollwert erreicht, es kommt zum Abschalten der Teilspeicherheizung. Die Teilspeicherheizung besitzt einen internen thermischen Speicher, welcher parallel zur Raumbeheizung beladen wird. Durch diese Beladung reicht die in der Teilspeicherheizung gespeicherte Wärme nach dem Abschalten ca. 1 h aus, um den Sollwert zu halten. Wird der Raumsollwert unterschritten, beginnt ein neuer Zyklus mit Raumbeheizung und Beladung des internen thermischen Speichers. Weiterhin ist zu erkennen, dass in der Raummitte die Lufttemperatur immer größer als die Globetemperatur während des Betriebes ist. Durch die gerippte Bauweise kombiniert die Teilspeicherheizung die Wärmeübertragungsmechanismen Konvektion und Strahlung in einem nahezu ausgewogenen Verhältnis, siehe auch [2]. Betrachtet man die Raumwirkung des Heizgerätes Teilspeicherheizung durch den Vergleich der Temperatursensoren an den drei Positionen fern / mittig / nah, so ist ein geringer Temperaturunterschied ($\Delta\vartheta < 0,5 \text{ K}$) zu erkennen, siehe Abbildung 16. Es bildet

sich eine homogene Temperaturverteilung im Raum aus, was sich mit den Untersuchungsergebnissen aus [3] deckt.

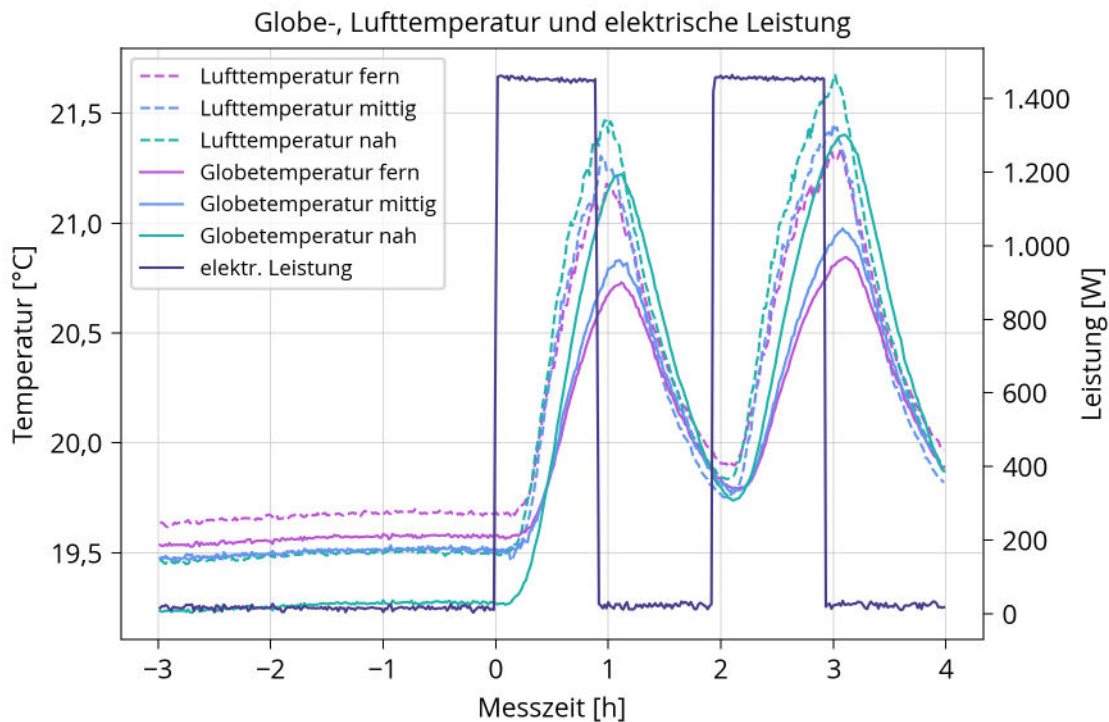


Abbildung 16: Globe- und Lufttemperaturverlauf (fern / mittig / nah) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Teilspeicherheizung** bei Lastfall 60%

Im Bereich nah kommt auf Grund der Positionierung der Sensorik zum Heizgerät eine verstärkte Strahlungswirkung hinzu. Diese sorgt für eine um ca. 0,5 K größere Globetemperatur als an den Messstellen mittig und fern.

Für die Lastfälle 25% und 85% sind ähnliche Zusammenhänge erkennbar, siehe Abbildung 28 und Abbildung 29 im Anhang.

3.1.3 Heizgerät Infrarotheizung – Wand

Die Abbildung 17 zeigt den zeitlichen Verlauf der Globe- und Lufttemperatur sowie der elektrischen Leistung.

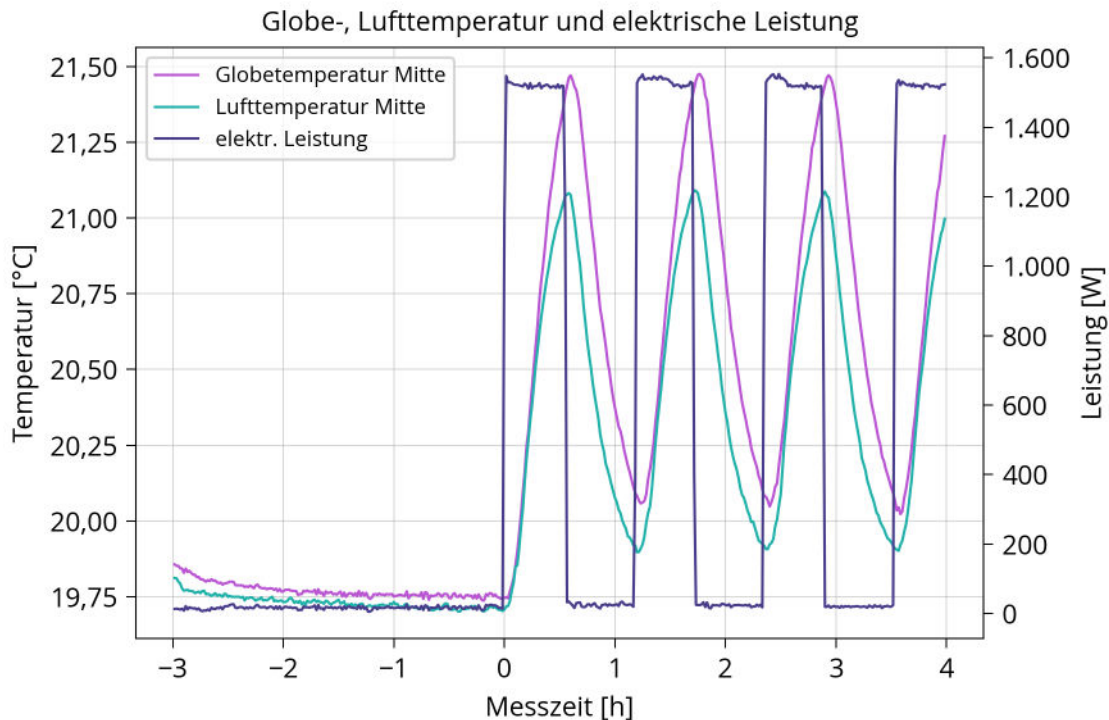


Abbildung 17: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Wand** bei Lastfall 60%

Die Infrarotheizung ist ein schnellreagierendes, anwesenheitsorientiertes Heizsystem und beginnt daher mit Start der Nutzungszeit mit der Raumbeheizung. Auf Grund der geringen Trägheit des Heizsystems kommt es dazu, dass nach ca. 35 min der Sollwert erreicht und die Infrarotheizung daher ausgeschaltet wird. Anschließend kühlt der Raum aus und abhängig von der Schalthysterese des Raumthermostates kommt es nach ca. 40 min zum Wiedereinschalten. Das Ein- und Ausschalten erfolgt anschließend zyklisch bedingt durch die Raumthermostatregelung. Im Vergleich zu den Heizgeräten Dynamo und Teilspeicherheizung ist die Globetemperatur immer größer als die Lufttemperatur. Dies ist darin begründet, dass bei der Infrarotheizung die Strahlung als Wärmetransportmechanismus einen größeren Anteil hat.

Dieser Effekt sorgt auch dafür, dass im Bereich nah die Globetemperatur deutlich größer als in den Bereichen mittig und fern ist (im Mittel ca. 4 K), siehe Abbildung 18. Diese Effekte wurden ebenfalls in der Untersuchung [3] aufgezeigt.

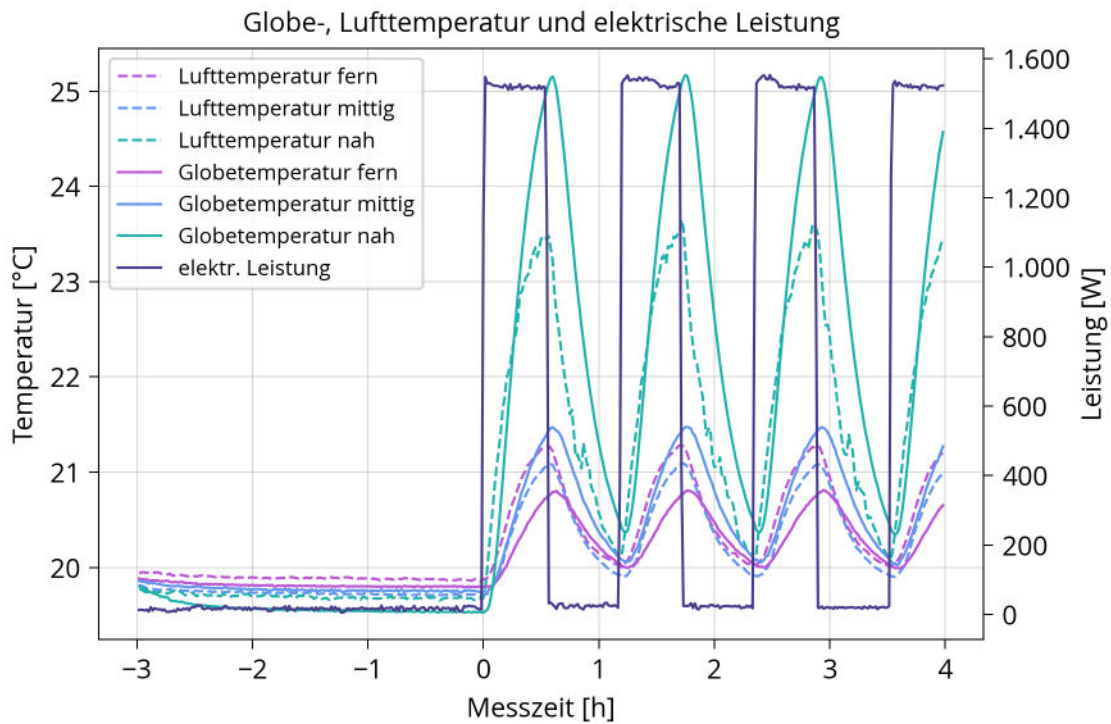


Abbildung 18: Globe- und Lufttemperaturverlauf (fern / mittig / nah) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Wand** bei Lastfall 60%

Für die Lastfälle 25% und 85% sind ähnliche Zusammenhänge erkennbar, siehe Abbildung 30 und Abbildung 31 im Anhang.

3.1.4 Heizgerät Infrarotheizung – Decke

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die drei untersuchten Deckeninstallationen erläutert.

3.1.4.1 Heizgerät Infrarotheizung – Decke - nah

Die Abbildung 19 zeigt den zeitlichen Verlauf der Globe- und Lufttemperatur sowie der elektrischen Leistung.

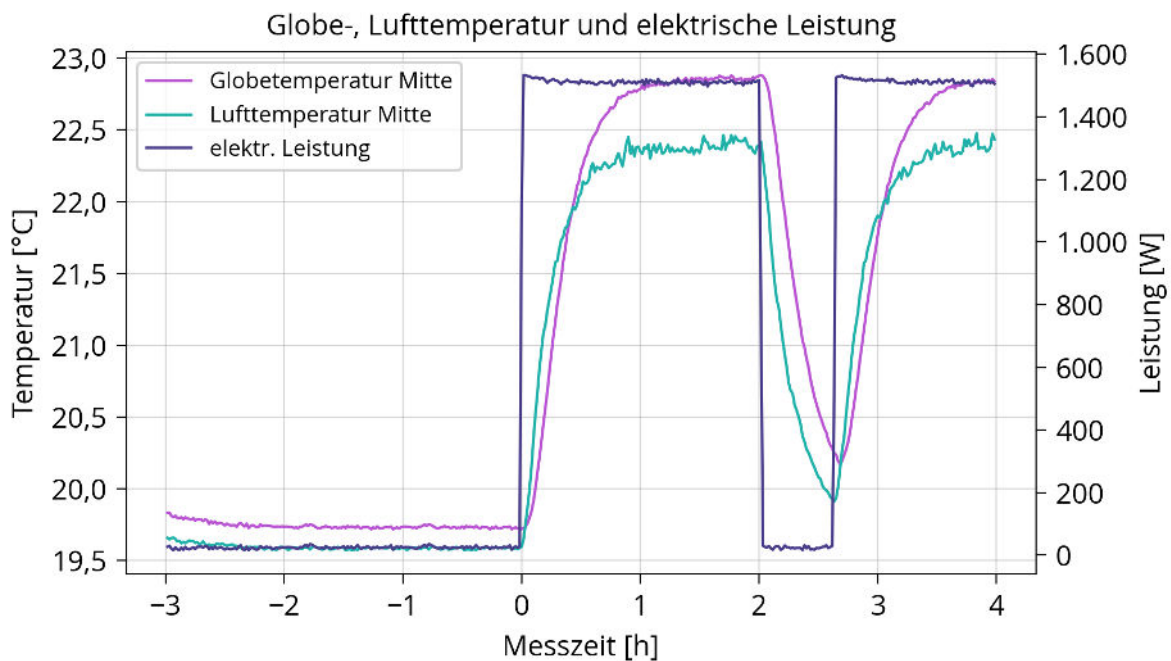


Abbildung 19: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke nah** bei Lastfall 60%

Bei der Infrarotheizung beginnt die Raumbeheizung mit Start der Nutzungszeit. Es ist zu sehen, dass die Raumtemperatur steigt und auch in der Raummitte der Sollwert erreicht wird. Durch die Positionierung des Raumthermostaten erfolgt nur ein kurzes Ausschalten der Infrarotheizung. Im Lastfall 85% erfolgt ein Dauerbetrieb, da dieser trotz Sollwertkorrektur nicht erreicht wird, siehe Abbildung 33. Bei dem Lastfall 25 % wird der Sollwert erreicht und das beschriebene zyklische Ein- und Ausschalten der Infrarotheizung ist auch bei der Deckenmontage zu beobachten (siehe Abbildung 32 im Anhang).

Die Strahlungswirkung der Infrarotheizung ist in diesem Fall an den beiden Globetemperaturen nah und mittig sehr gut erkennbar. Beide Werte sind deutlich höher als die jeweiligen Lufttemperaturen sowie die Messpunkte fern, siehe Abbildung 20. Es ist erkennbar, dass sich zwischen den Positionen nah und fern ein Temperaturunterschied von bis zu 3 K einstellt.

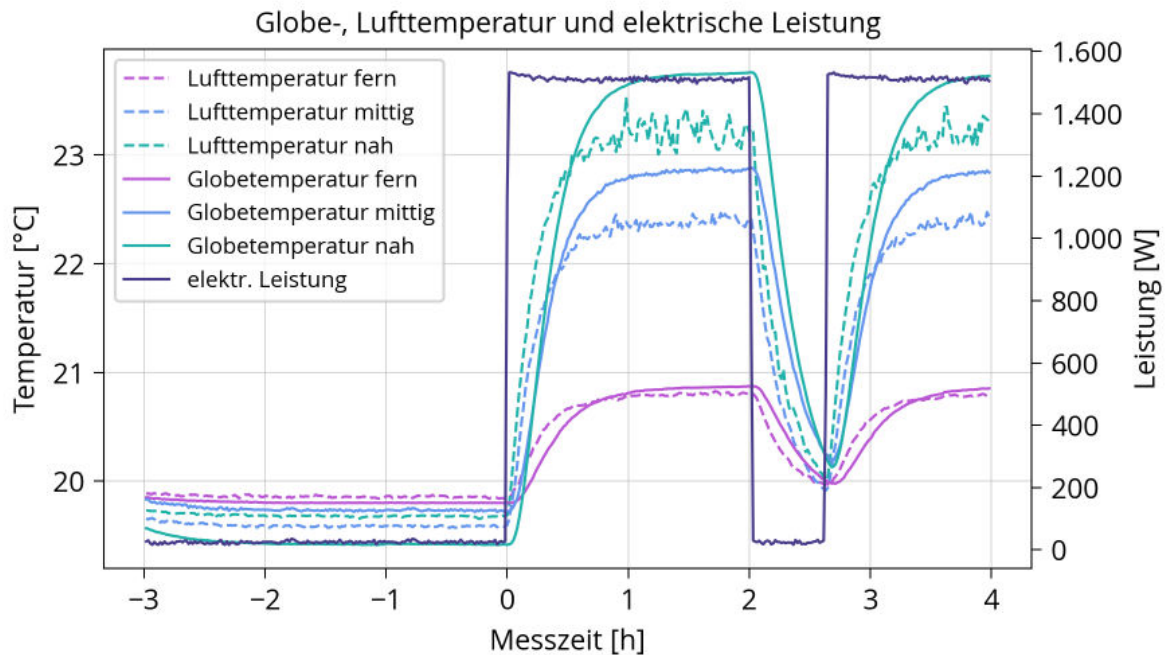


Abbildung 20: Globe- und Lufttemperaturverlauf (fern / mittig / nah) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke nah** bei Lastfall 60%

Weitere Ergebnisse sind im Anhang in Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt.

3.1.4.2 Heizgerät Infrarotheizung – Decke - mittig

Die Abbildung 21 zeigt den zeitlichen Verlauf der Globe- und Lufttemperatur sowie der elektrischen Leistung. Im Vergleich zu Position nah ist erkennbar, dass der Sollwert schneller erreicht wird und das zyklische Takten um diesen dreimal im Betrachtungszeitraum auftritt. Mit Blick auf die Temperaturen im Raum ist erkennbar, dass die Raummitte deutlich wärmer als die Bereiche nah und fern sind, siehe Abbildung 22. Die Raummitte ist bedingt durch die Positionierung der Infrarotheizung bis zu 2 K wärmer als die beiden anderen Bereiche, welche sich auf einem sehr ähnlichen Temperaturniveau bewegen. Im Lastfall 85% erfolgt wie bei der Positionierung nah ein Dauerbetrieb auf Grund der oben beschriebenen Ursache.

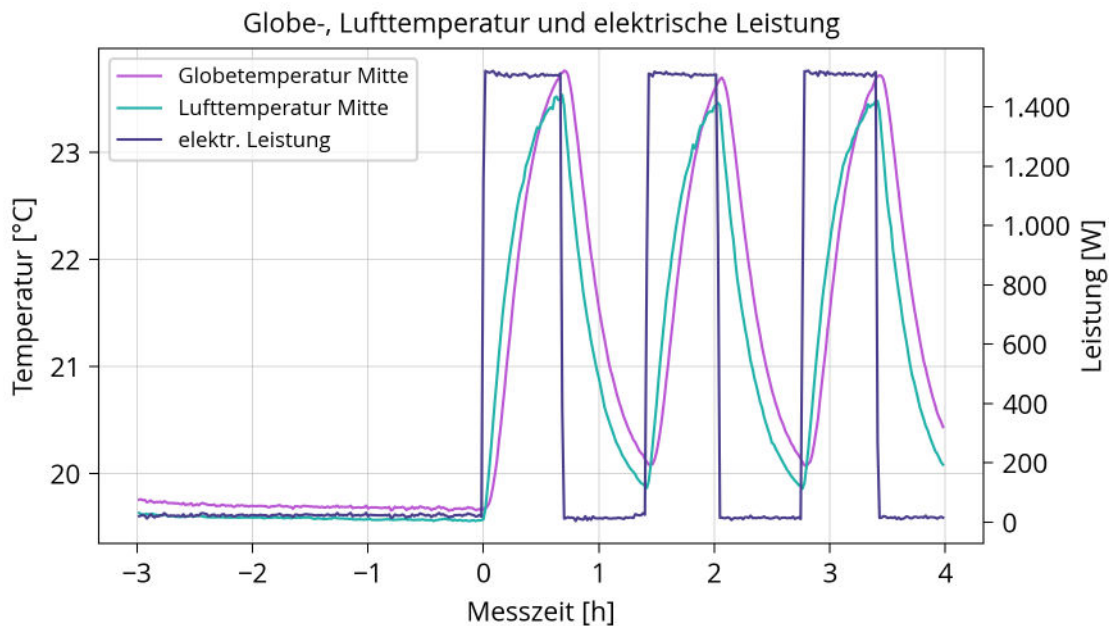


Abbildung 21: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke mittig** bei Lastfall 60%

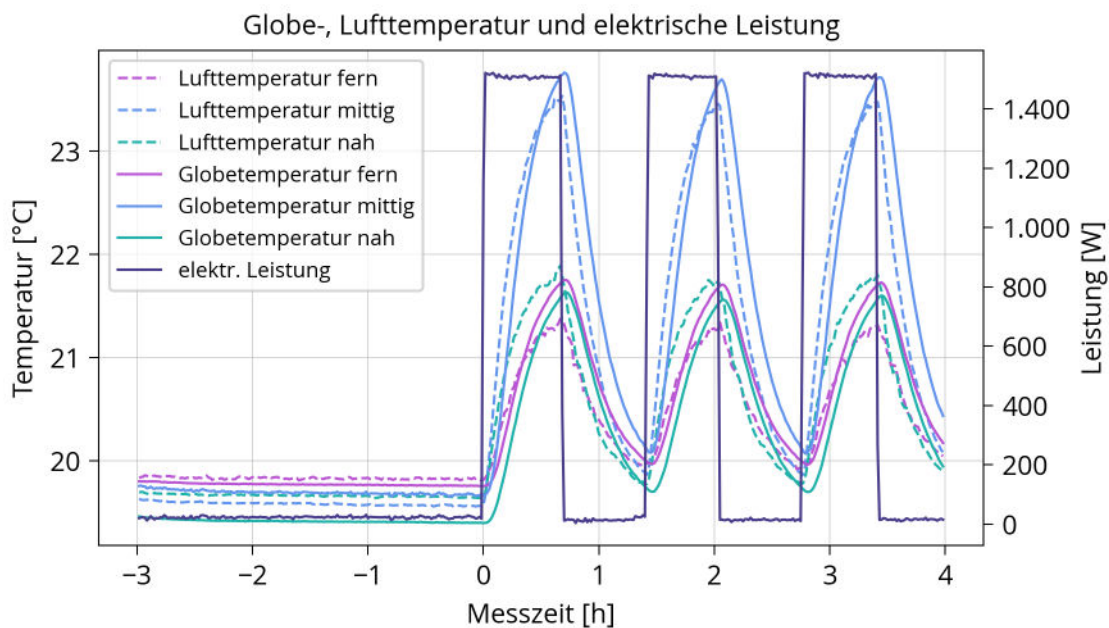


Abbildung 22: Globe- und Lufttemperaturverlauf (fern / mittig / nah) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke mittig** bei Lastfall 60%

Weitere Ergebnisse sind im Anhang in Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellt.

3.1.4.3 Heizgerät Infrarotheizung – Decke – fern

Die Abbildung 23 zeigt den zeitlichen Verlauf der Globe- und Lufttemperatur sowie der elektrischen Leistung. Bei der Positionierung des Infrarotheizgerätes fern von der Außenwand und nah zum Raumthermostat ist zu erkennen, dass der Sollwert deutlich schneller erreicht wird und ein häufiges und kurzes Takten zum Halten des Sollwertes auftritt.

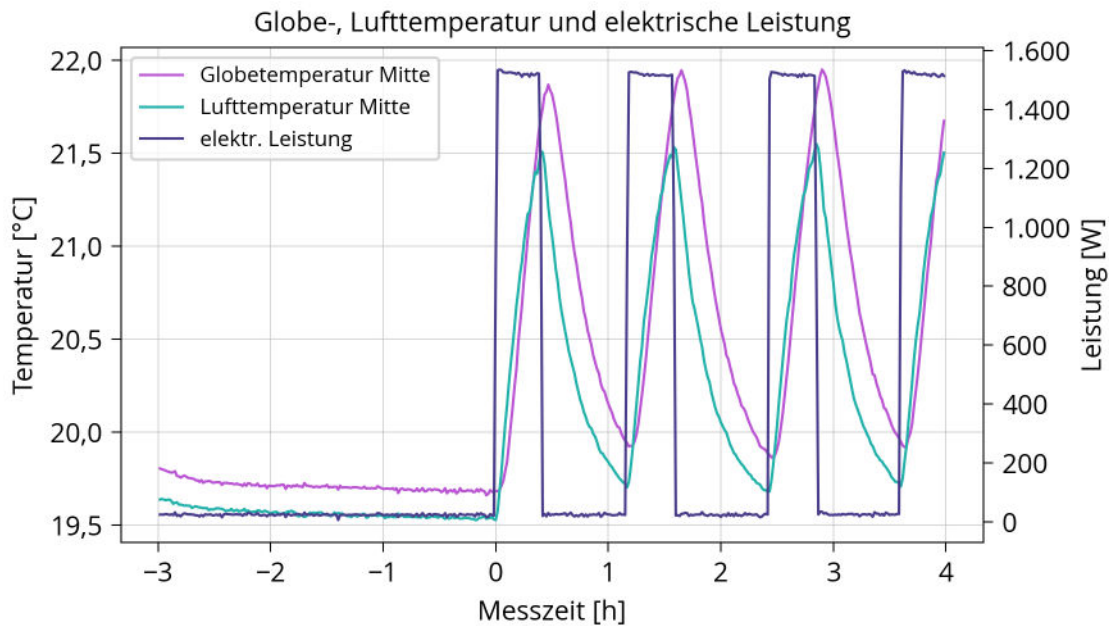


Abbildung 23: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke fern** bei Lastfall 60%

Die Positionierung hat auch hier einen signifikanten Einfluss auf die sich einstellenden Temperaturen im Raum. Während jetzt im Fernbereich die höchsten Temperaturen auftreten, liegt im Nahbereich die Temperaturen bis zu 3 K darunter, siehe Abbildung 24.

Weitere Ergebnisse sind im Anhang in Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellt.

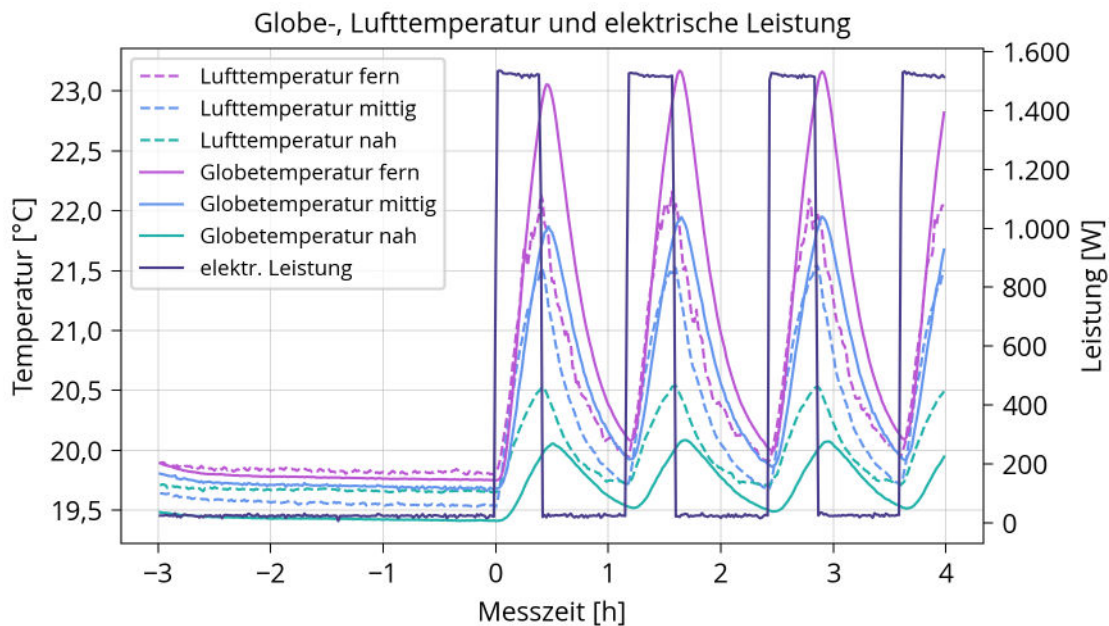


Abbildung 24: Globe- und Lufttemperaturverlauf (fern / mittig / nah) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke fern** bei Lastfall 60%

Zusammenfassend zur Raumwirkung bei der Beheizung des Raumes wurden die sich maximal einstellenden Temperaturdifferenzen zwischen den Messstellen nah / mittig / fern bestimmt. Dafür wurde die Empfindungstemperatur (Globetemperatur) analysiert. Die Tabelle 3 fasst die Temperaturdifferenzen³ der Empfindungstemperatur für alle Heizgeräte sowie Lastfälle zusammen. Es ist zu erkennen, dass die Heizgeräte Dynamo und Teilspeicherheizung für eine sehr gleichmäßige Empfindungstemperatur im Raum sorgen. Die Infrarotheizung sorgt hingegen für lokale Unterschiede bei der Empfindungstemperatur. In Abhängigkeit ihrer Positionierung können Differenzen von bis zu maximal 4,6 K auftreten. Das bedeutet beispielhaft bei der Deckeninstallation fern und Lastfall 60 %, dass zwischen den Raumpositionen nah und mittig ein Temperaturunterschied von 20 °C zu 23,2 °C (entspricht einer Differenz von -3,2 K) vorliegt.

Dieser Unterschied wird aus Sicht der thermischen Behaglichkeit zu Unbehagen beim Nutzer führen. Weiterhin lässt sich festhalten, dass bei einer direkten Positionierung des Nutzers unter der Infrarotheizung lokale Behaglichkeitskriterien wie Strahlungsasymmetrie potenziell nicht mehr erfüllt werden können.

³ Temperaturdifferenzen zwischen Celsiustemperaturwerten werden mit der Einheit Kelvin [K] angegeben

Tabelle 3: Vergleich der maximalen Temperaturdifferenzen der Empfindungstemperaturen im Raum für alle Heizgeräte und Versuche

Heizgerät	Lastfall	Temperaturdifferenzen			
		nah-mittig	mittig-fern	nah-fern	max
		in K	in K	in K	in K
Dynamo (Beladungszeit 1h)	25%	0,20	0,05	0,25	0,25
	60%	0,35	0,10	0,45	0,45
	85%	0,45	0,00	0,45	0,45
Teilspeicherheizung	25%	0,30	0,10	0,40	0,40
	60%	0,50	0,05	0,55	0,55
	85%	0,45	0,05	0,50	0,50
Infrarotheizung Wand	25%	3,30	0,50	3,80	3,80
	60%	3,60	0,70	4,30	4,30
	85%	3,90	0,70	4,60	4,60
Infrarotheizung Decke nah	25%	0,75	1,90	2,65	2,65
	60%	0,90	1,90	2,80	2,80
	85%	1,00	1,80	2,80	2,80
Infrarotheizung Decke mittig	25%	-2,10	1,70	-0,40	2,10
	60%	-2,20	2,00	-0,20	2,20
	85%	-2,00	2,00	0,00	2,00
Infrarotheizung Decke fern	25%	-1,55	-1,10	-2,65	2,65
	60%	-1,90	-1,30	-3,20	3,20
	85%	-2,10	-1,40	-3,50	3,50

3.2 Energetische Analyse

Im Folgenden werden die energetischen Aufwendungen für die Raumbeheizung für die verschiedenen Heizsysteme analysiert. Um dies durchführen zu können, muss vorab geprüft werden, inwiefern sich gleiche Raumtemperaturen bei den verschiedenen Versuchen ergeben haben. Die Tabelle 7 im Anhang fasst die sich im Raum einstellende mittlere Temperatur während der Nutzungszeit zusammen. Es ist erkennbar, dass alle Heizsysteme inkl. deren Regelung eine nahezu einheitliche mittlere Raumtemperatur (Mittelwert aus Lufttemperatur mittig und Globetemperatur mittig) für alle Lastfälle erreichen können. Damit kann ein energetischer Vergleich der Heizsysteme durchgeführt werden. Lediglich die an der Decke montierte Infrarotheizung sorgt für eine höhere Temperatur in der Raummitte, was jedoch wie in Abschnitt 3.1.4 beschrieben der Positionierung des Raumthermostaten geschuldet ist.

Die nachfolgende Tabelle 4 fasst die benötigten elektrischen Energieaufwendungen für die Raumbeheizung separat für die Beladungs- und die Nutzungszeit (4 h) während eines

Versuchs für die analysierten Geräte sowie die verschiedenen Teillastzustände zusammen.

Tabelle 4: Zusammenfassung der benötigten Energie in Beladungs- und Nutzungszeit, das Verhältnis zu Dynamo sowie die max. Temperaturdifferenz im Raum für die verschiedenen Heizgeräte sowie die verschiedenen Lastfälle

Heizgerät	Lastfall	Energie		Verhältnis zu Dynamo	max. Temp- differenz in K
		Beladungszeit	Nutzungszeit		
		in Wh	in Wh		
Dynamo (Beladungszeit 1h)	25%	1448,4	942,7	1,0	0,25
	60%	1490,7	1752,5	1,0	0,45
	85%	1399,6	2621,6	1,0	0,45
Teilspeicherheizung	25%	88,9	2347,8	2,5	0,40
	60%	61,4	2813,0	1,6	0,55
	85%	51,7	3299,7	1,3	0,50
Infrarotheizung Wand	25%	46,5	2047,0	2,2	3,80
	60%	67,8	3236,1	1,8	4,30
	85%	62,3	4051,8	1,5	4,60
Infrarotheizung Decke nah	25%	76,4	2857,3	3,0	2,65
	60%	67,5	5143,3	2,9	2,80
	85%	67,0	6053,9	2,3	2,80
Infrarotheizung Decke mittig	25%	49,7	1524,2	1,6	2,10
	60%	87,5	2973,2	1,7	2,20
	85%	58,7	6054,8	2,3	2,00
Infrarotheizung Decke fern	25%	76,3	1501,7	1,6	2,65
	60%	85,0	2564,9	1,5	3,20
	85%	85,5	3366,1	1,3	3,50

Die geringen Werte während der Beladungszeit bei den Heizgeräten Teilspeicherheizung und Infrarotheizung kommen durch den Stand-by-Verbrauch zu Stande.

Es ist zu erkennen, dass das Heizgerät Dynamo während der Beladungszeit unabhängig von der Last nahezu gleiche Werte aufzeigt. Dies ist bedingt durch die Beladungszeit von 1 h, in welcher der interne Speicher nahezu vollständig aufgeladen wird, dessen thermische Kapazität näherungsweise unabhängig von der Last im Raum ist. Bedingt durch diesen internen thermischen Speicher benötigt das Heizgerät Dynamo in jedem Lastfall während der Nutzungszeit die geringste Energie. Alle anderen Heizsysteme benötigen mehr Energie in der Nutzungszeit. Hierdurch ist das Verhältnis zum Heizgerät Dynamo immer größer 1,0.

Vergleicht man die anderen Heizgeräte untereinander, so ist erkennbar, dass beim kleinsten Teillastverhalten (Lastfall 25%) die Infrarotheizung an der Wand etwas weniger Energie als die Teilspeicherheizung benötigt, um die Raumtemperatur zu erreichen und zu halten. In den anderen beiden Lastfällen benötigt die Teilspeicherheizung wiederum

weniger Energie als die Infrarotheizung. Gleichzeitig sorgt die Teilspeicherheizung über alle Lastfälle hinweg für eine homogene Temperaturverteilung im Raum ($< 0,5 \text{ K}$), während bei der Infrarotheizung an der Wand eine deutliche Inhomogenität der Temperaturverteilung auftritt.

Betrachtet man nur den Einfluss der Positionierung der Infrarotheizung an der Decke, dann lässt sich für alle Lastzustände zusammenfassen, dass der energetische Aufwand für das Erreichen und Halten des Sollwertes umso geringer wird, je näher die Infrarotheizung am Raumthermostat installiert ist. Damit ist jedoch ebenfalls eine inhomogene Temperaturverteilung im Raum verknüpft.

Die Abbildung 25 zeigt den Vergleich des energetischen Aufwandes im Verhältnis zur Dynamo in grafischer Darstellung.

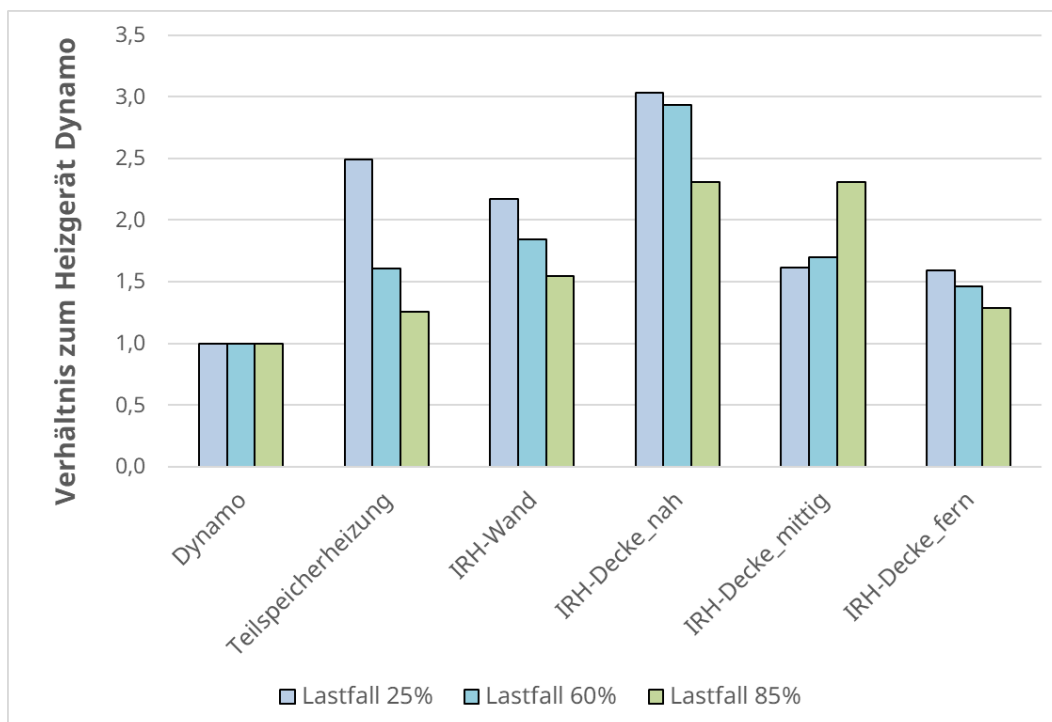


Abbildung 25: Gegenüberstellung des energetischen Aufwandes im Verhältnis zur Dynamo für die untersuchten Heizgeräte

Betrachtet man den Einfluss der Beladungszeit auf das Heizgerät Dynamo, so lässt sich festhalten, dass mit zunehmender Beladungszeit die benötigte elektrische Energie größer wird. Für eine Beladungszeit von 1 h beim Lastfall 60 % beträgt diese beispielsweise 1490,7 Wh (siehe Tabelle 4), für 2 h 2236,9 Wh und für 3 h 2843,6 Wh. Für die Nutzungszeit hingegen ist der Energieverbrauch für alle drei Beladungszeiten näherungsweise gleich groß ($\approx 1750 \text{ Wh}$ bei 1 h und $\approx 1700 \text{ Wh}$ bei 2 h und 3 h).

3.3 Ökonomische Analyse der Energieverbräuche

Unter der Betrachtung verschiedener Preisszenarien wird der Betrieb der unterschiedlichen Heizgeräte monetär bewertet. Dabei werden drei verschiedene Strompreisszenarien angesetzt, siehe Tabelle 5. Hierbei wird ausschließlich der Arbeitspreis berücksichtigt, weitere Kostenpunkte wie beispielsweise Grundpreis oder Investitionskosten finden keine Berücksichtigung.

Tabelle 5: Übersicht Preisszenarien

Szenario	Beschreibung	Preis Beladung	Preis Nutzung
1	Konstanter Stromtarif	0,30 €/kWh	0,30 €/kWh
2	Dynamischer Stromtarif	0,15 €/kWh	0,40 €/kWh
3	Kombination PV-Strom und konstanter Stromtarif	0,08 €/kWh	0,30 €/kWh

Das Szenario 1 ist ein konstanter Strompreis für alle Betriebszeiten. Es erfolgt keine preisliche Unterscheidung in der Beladungs- und Nutzungszeit.

Ein dynamischer Stromtarif wird bei dem Szenario 2 angenommen. Dabei wird in der Beladungszeit der Tiefpreis und in der Nutzungszeit der Hochpreis angesetzt. Für die Analyse wird angenommen, dass der Wechsel zwischen Tief- und Hochpreis zu Beginn der Nutzungszeit geschieht.

Beim Szenario 3 wird angenommen, dass PV-Überschussstrom während der Beladungszeit zur Verfügung steht, für den alternativ zum Verbrauch im Heizgerät die Einspeisevergütung hätte erwirtschaftet werden können. Während der Nutzungszeit wird der konstante Strompreis angenommen.

Diese drei Szenarien werden jeweils für alle Heizgeräte angewandt und verglichen. Grundlage dafür sind die benötigten Energien (siehe Tabelle 4) der verschiedenen Heizgeräte für die verschiedenen Lastfälle. Die Tabelle 6 fasst die entstehenden Kosten zusammen. Es ist zu erkennen, dass unabhängig vom Heizgerät für alle betrachteten Fälle mit steigender Last der Energiebedarf während der Beladungs- und Nutzungszeit und somit auch die Kosten steigen.

Das Preisszenario 1 sorgt dafür, dass alle aufgewandte Energie je Lastfall gleich viel kostet. Da bei dem Heizgerät Dynamo durch den Betrieb während der Beladungs- und Nutzungszeit in den meisten Fällen in Summe etwas mehr Energie benötigt wurde als bei den Heizgeräten Teilspeicherheizung und Infrarotheizung, treten in Abhängigkeit vom Lastfall zum Teil höhere Kosten auf.

Wird ein dynamischer Stromtarif verwendet, so wird die aufgewandte Energie in der Beladungs- sowie Nutzungszeit unterschiedlich bepreist. Dies führt dazu, dass die Kosten

für den Betrieb des Heizgerätes Dynamo in den meisten Fällen vergleichend zur Teilspeicherheizung und Infrarotheizung günstiger sind. Dieser Effekt wird im Szenario 3 weiter verstärkt, da durch die PV-Eigenstromnutzung in der Beladungszeit die Kosten nochmals deutlich geringer sind.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Kosten für die Heizgeräte für die verschiedenen Lastfälle und Preisszenarien

Heizgerät	Lastfall	Kosten		
		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
		in €	in €	in €
Dynamo (Beladungszeit 1h)	25%	0,72	0,59	0,40
	60%	0,97	0,92	0,64
	85%	1,21	1,26	0,90
Teilspeicherheizung	25%	0,73	0,95	0,71
	60%	0,86	1,13	0,85
	85%	1,01	1,33	0,99
Infrarotheizung Wand	25%	0,63	0,83	0,62
	60%	0,99	1,30	0,98
	85%	1,23	1,63	1,22
Infrarotheizung Decke nah	25%	0,88	1,15	0,86
	60%	1,56	2,07	1,55
	85%	1,84	2,43	1,82
Infrarotheizung Decke mittig	25%	0,47	0,62	0,46
	60%	0,92	1,20	0,90
	85%	1,83	2,43	1,82
Infrarotheizung Decke fern	25%	0,47	0,61	0,46
	60%	0,79	1,04	0,78
	85%	1,04	1,36	1,02

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Preisszenario 1 für die Heizgeräte Teilspeicherheizung und Infrarotheizung sinnvoll ist, da diese für die Interaktion mit dynamischen Stromtarifen nicht ausgestattet sind. Der dynamische Stromtarif (Szenarien 2 und 3) sollte für das Heizgerät Dynamo genutzt werden, da hier durch den internen thermischen Speicher und die elektrische Verschaltung ein Energieverschiebungspotenzial in den günstigeren Tarif genutzt werden kann.

4 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen der Untersuchungen wurden verschiedene Heizgeräte für die Beheizung eines Raumes eines Bestandgebäudes (Raum-Heizlast von 1500 W) unter unterschiedlichen Teillastzuständen (Lastbedingungen) für eine angenommene Nutzungszeit von 4 h untersucht. Dabei wurde das Energieverschiebungspotenzial von Heizgeräten mit integrierten thermischen Speichern und damit verbundene potenzielle Reduzierungen der verbrauchsgebundenen Kosten bei dynamischen Stromtarifen in den Fokus genommen. Dazu wurden umfangreiche messtechnische Analysen im Innenklimaraum des Combined Energy Lab der TU Dresden konzipiert, umgesetzt und anschließend die Messdaten hinsichtlich der Wirkung der Raumbeheizung und dem energetischen Verschiebungspotenzial analysiert und bewertet.

Die Untersuchungen zeigen folgende Kernaspekte auf:

- Die Heizgeräte Dynamo und Teilspeicherheizung weisen ein sehr ähnliches Verhalten bei der Raumbeheizung auf. Es stellt sich eine homogene Temperaturverteilung im Raum ein.
- Bedingt durch die Strahlungswirkung der Infrarotheizung ist die Positionierung für die Wirkung der Raumbeheizung wichtig. Es bildet sich bei den hier betrachteten Untersuchungen keine homogene Temperaturverteilung im Raum aus. Bei großen örtlichen Unterschieden (nah zu fern) können spürbare Temperaturunterschiede von bis zu 4,6 K auftreten.
- Die Raumnutzung – Festlegung der Aufenthaltszone – stellt die wesentliche Grundlage für die Auswahl des Heizsystems dar
 - Komplette Raumnutzung: Heizgerät Dynamo oder Teilspeicherheizung
 - Partielle Raumnutzung oder mehrere Aufenthaltszonen: Infrarotheizung
- Integrierte thermische Speicher können zu einer Verschiebung der benötigten Heizenergie während der Nutzungszeit in eine vorgelagerte Beladungszeit genutzt werden. Die gesamten elektrische Energieverbräuche über Beladungs- und Nutzungszeit können hierdurch steigen. Durch die Nutzung eines geeigneten Stromtarifs bzw. PV-Stroms kann dies aber trotzdem wirtschaftlicher im Vergleich zu den anderen Heizsystemen sein.
- Bei der höchsten untersuchten thermischen Last benötigen die Heizgeräte Dynamo und Teilspeicherheizung im Vergleich zur Infrarotheizung Wand und Decke weniger Energie für die Raumbeheizung während der Nutzungszeit.
- Durch die Nutzung von dynamischen Stromtarifen (Tiefpreis zu Beladungs- und Hochpreis zu Nutzungszeit) ist eine Kostenreduzierungen durch die Nutzung speicherintegrierten Systeme wie der Dynamo möglich.
- Für Systeme ohne integrierte thermische Speicher können konstante Stromtarife sinnvoll sein.

- Ziel für alle elektrisch betriebenen Heizsysteme sollte, wenn vorhanden, ein hoher Eigenverbrauch von PV-Strom sein.

Die Untersuchungen zeigen, dass das Heizsystem mit integriertem thermischen Speicher Dynamo sinnvolle Einsatzmöglichkeiten bietet. Die Beladung des Speichers während der Nichtnutzungszeit ohne Berücksichtigung einer Raumsolltemperatur sorgt für eine moderate Raumbeheizung. Unter Umständen kann es zu einer leichten Temperaturerhöhung im Raum kommen. In der anschließenden Nutzungszeit erfolgt die Raumbeheizung im ersten Schritt mittels der gespeicherten Energie im internen thermischen Speicher. Erst im Anschluss ist ggf. ein Nachheizen notwendig. Da in Bestandsgebäuden vergleichend zum Neubau höhere Heizlasten auftreten und eine geringere Thermostabilität des Raumes vorherrscht, ist die Nutzung des Heizgerätes Dynamo hier zielführend.

5 Literaturverzeichnis

- [1] J. Seifert, B. Oschatz, L. Schinke, A. Buchheim, S. Paulick, M. Beyer und B. Mailach, Installationäre, gekoppelte, energetische und wärmephysiologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK-Systeme, Berlin: VDE Verlag, 2017.
- [2] L. Schinke, M. Beyer und J. Seifert, „Ermittlung der Wärmeströme an einer elektrischen Teilspeicherheizung,“ Technische Universität Dresden, Dresden, 2024.
- [3] L. Schinke, M. Beyer und J. Seifert, „Messtechnischer Vergleich der Raumbeheizung mit einer elektrischen Teilspeicherheizung und einer Infrarotheizung,“ Technische Universität Dresden, Dresden, 2024.

6 Symbolverzeichnis

Symbol	Beschreibung	Einheit
B	Breite	m
H	Höhe	m
L	Länge	m
P	Leistung	W
ϑ	Celsiustemperatur	°C
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K

Index	Beschreibung
1	Index 1
2	Index 2
nah	Position nah
mittig	Position mittig
fern	Position fern
L	Luft
Str	Strahlung
emp	Empfindung

7 Anhang

Weitere Ergebnisdiagramme Heizgerät Dynamo

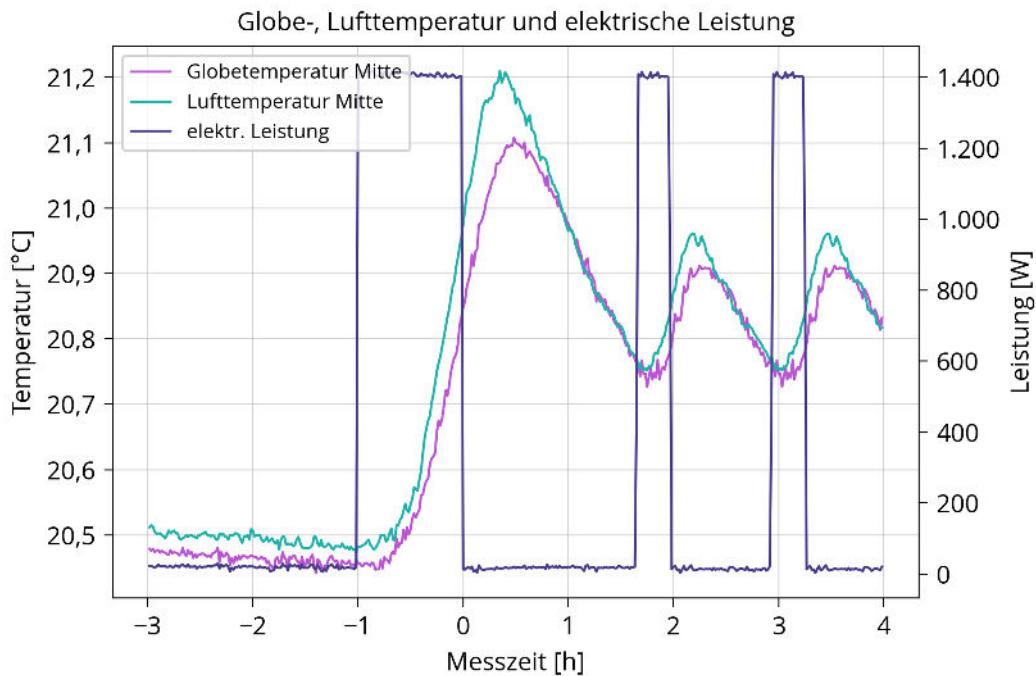


Abbildung 26: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Dynamo** bei Lastfall 25%, Beladungszeit 1 h

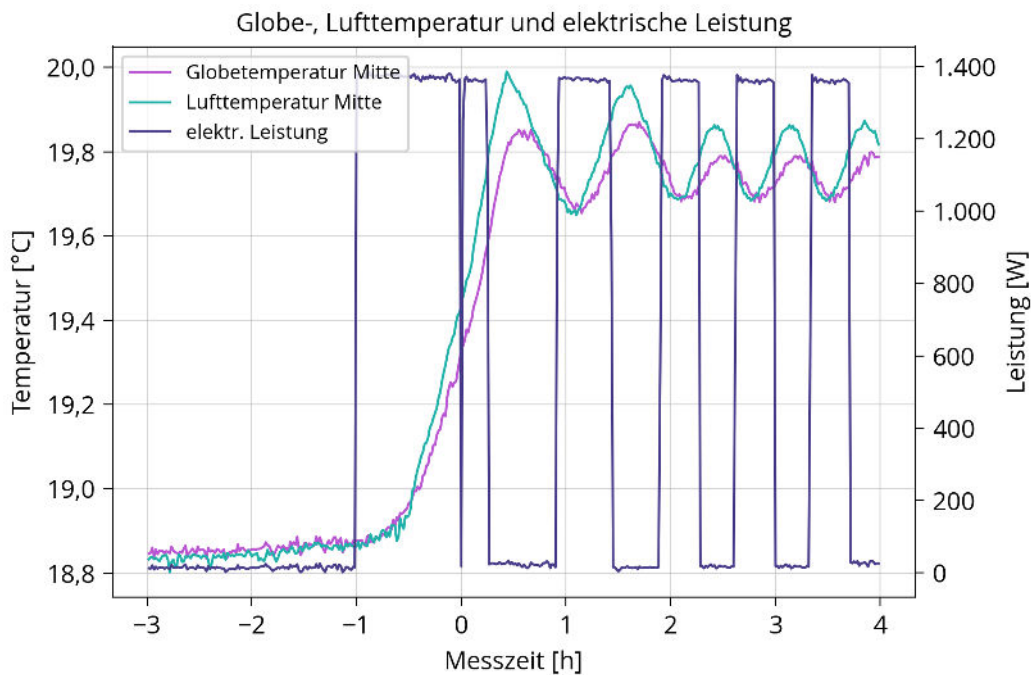


Abbildung 27: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Dynamo** bei Lastfall 85%, Beladungszeit 1 h

Weitere Ergebnisdiagramme Heizgerät Teilspeicherheizung

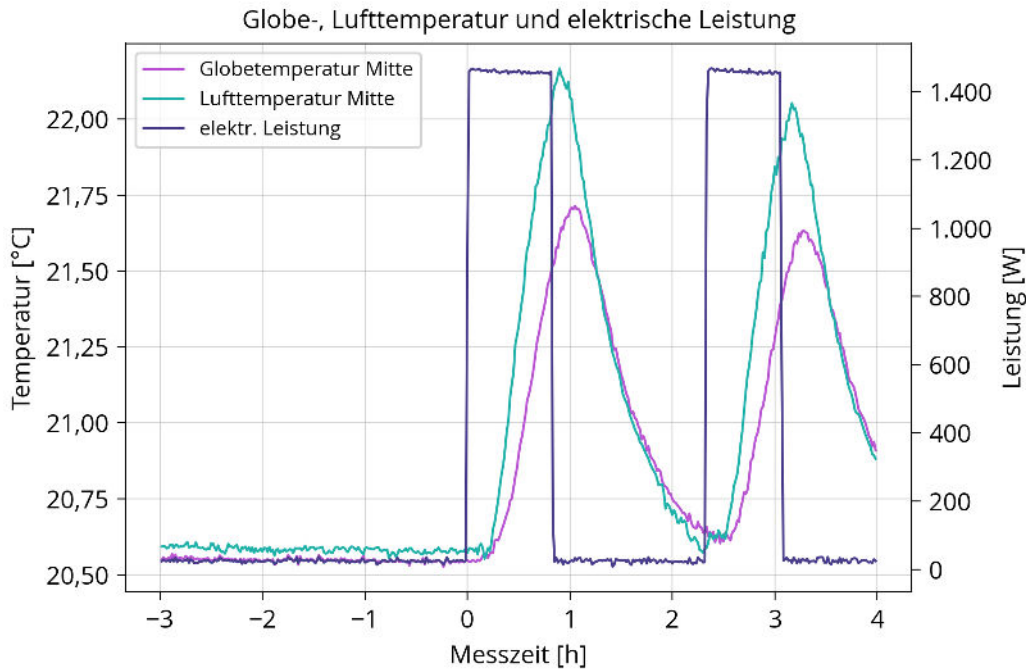


Abbildung 28: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Teilspeicherheizung** bei Lastfall 25%

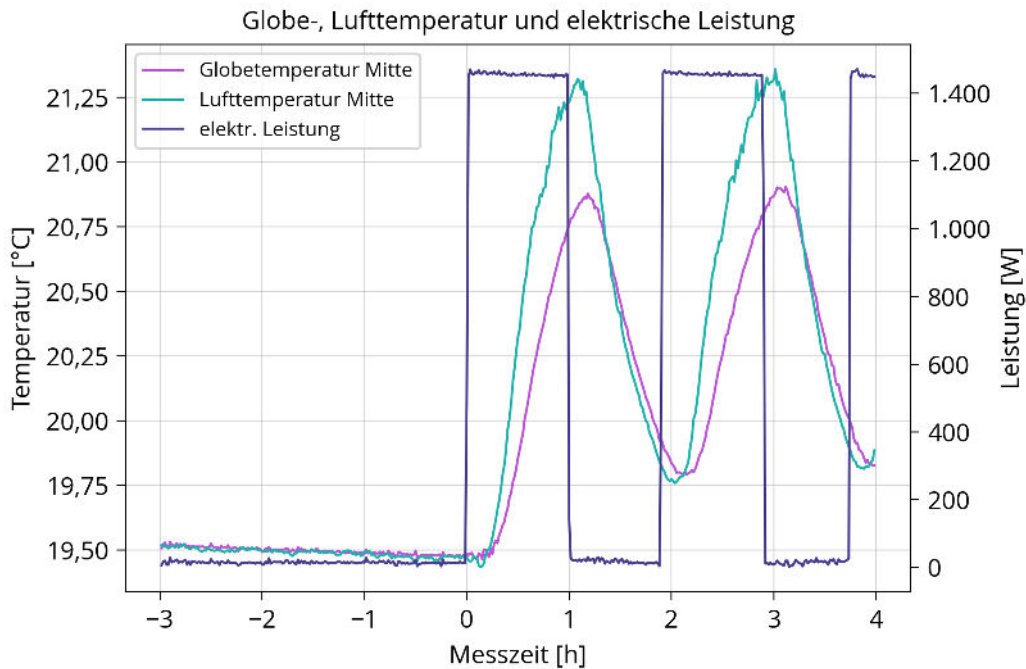


Abbildung 29: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Teilspeicherheizung** bei Lastfall 85%

Weitere Ergebnisdiagramme Heizgerät Infrarotheizung Wand

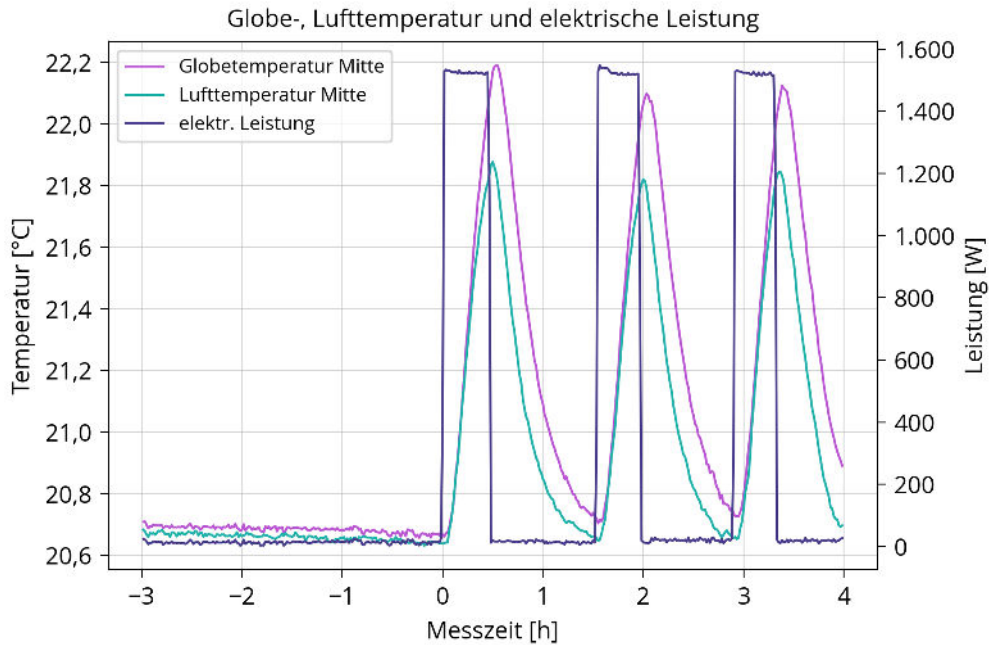


Abbildung 30: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Wand** bei Lastfall 25%

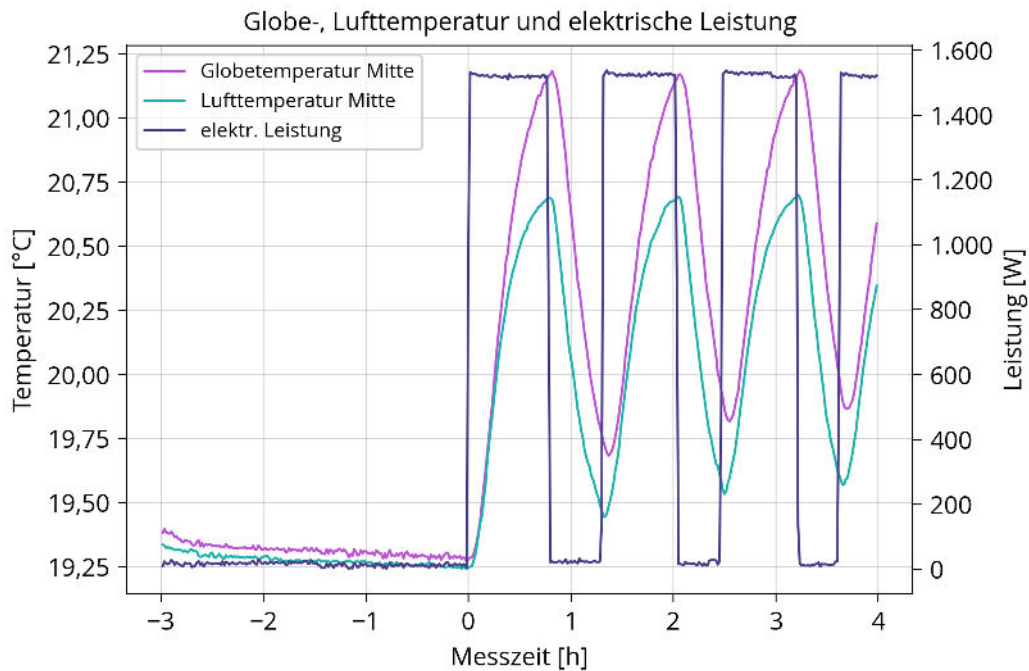


Abbildung 31: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Wand** bei Lastfall 85%

Weitere Ergebnisdiagramme Heizgerät Infrarotheizung Decke - nah

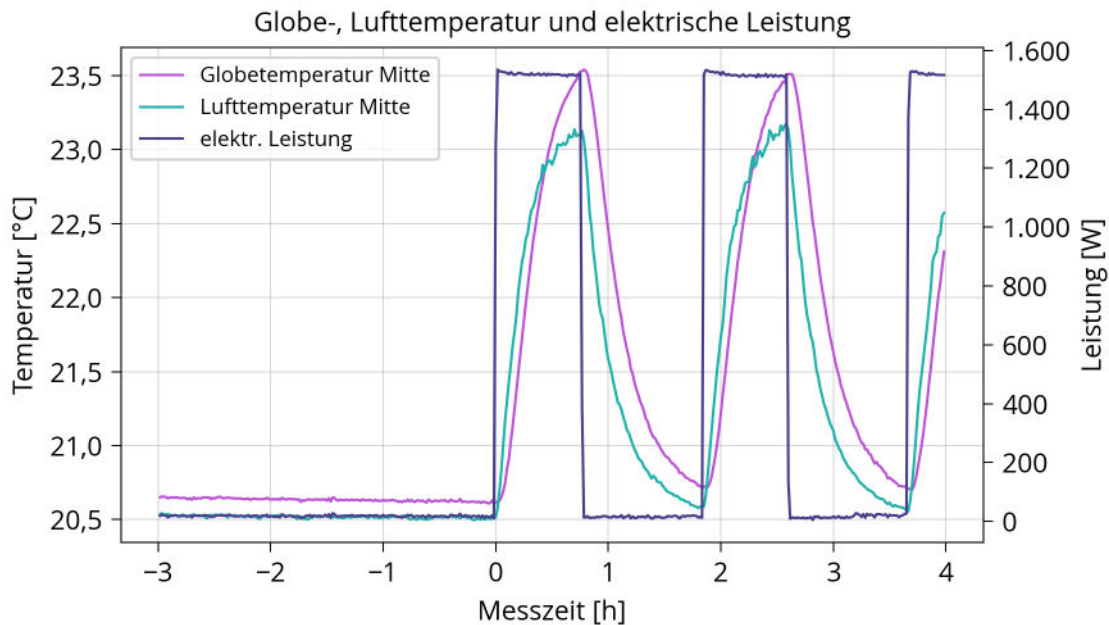


Abbildung 32: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke nah** bei Lastfall 25%

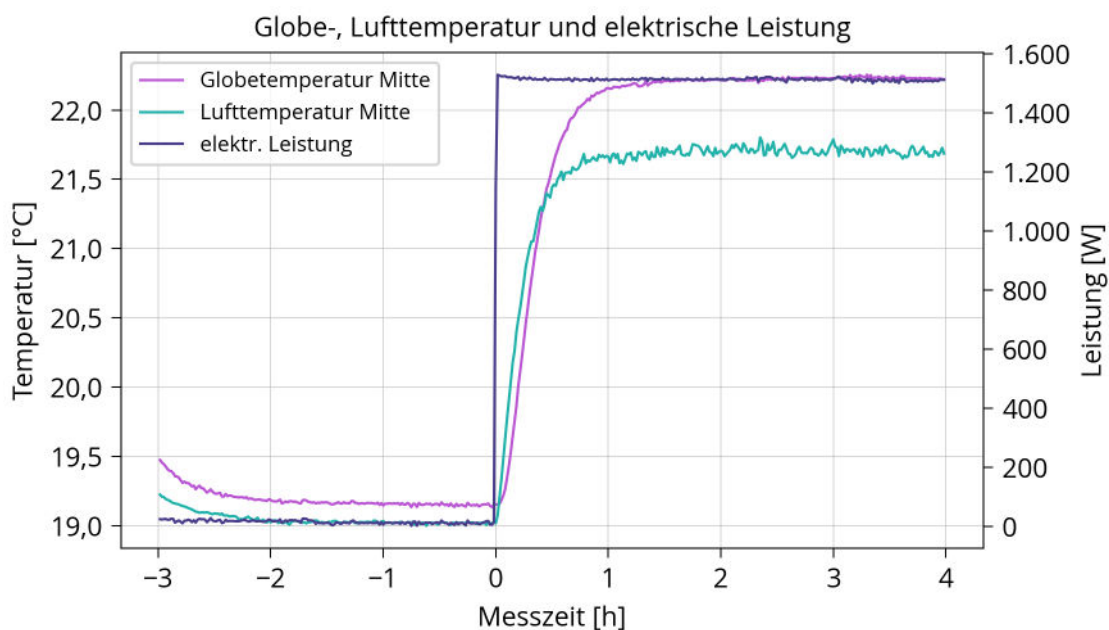


Abbildung 33: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke nah** bei Lastfall 85%

Weitere Ergebnisdiagramme Heizgerät Infrarotheizung Decke - mittig

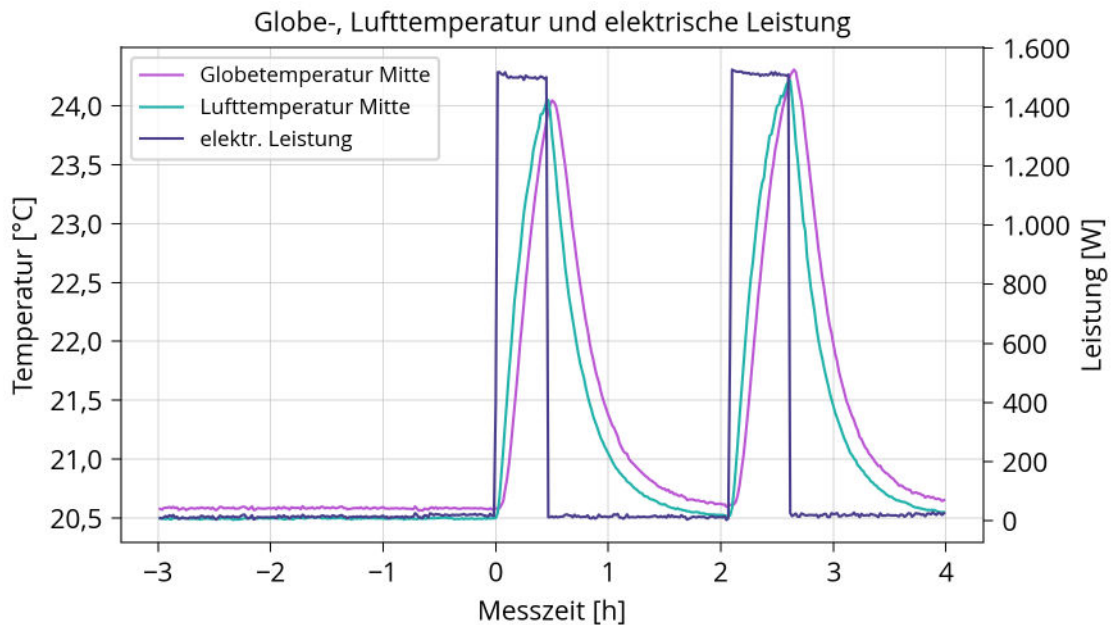


Abbildung 34: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke mittig** bei Lastfall 25%

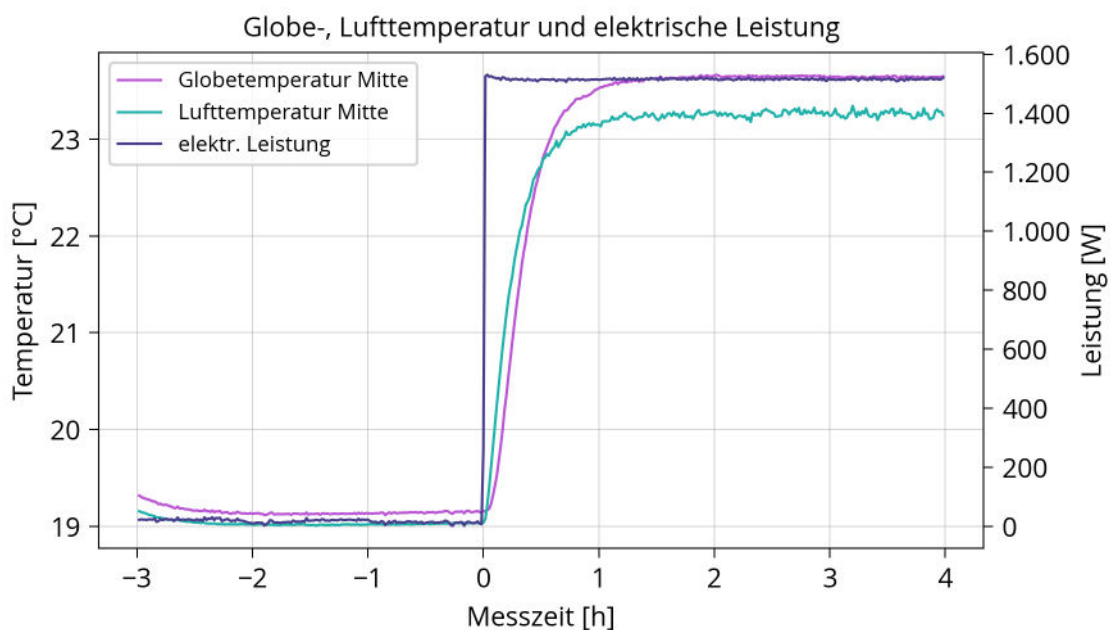


Abbildung 35: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke mittig** bei Lastfall 85%

Weitere Ergebnisdiagramme Heizgerät Infrarotheizung Decke - fern

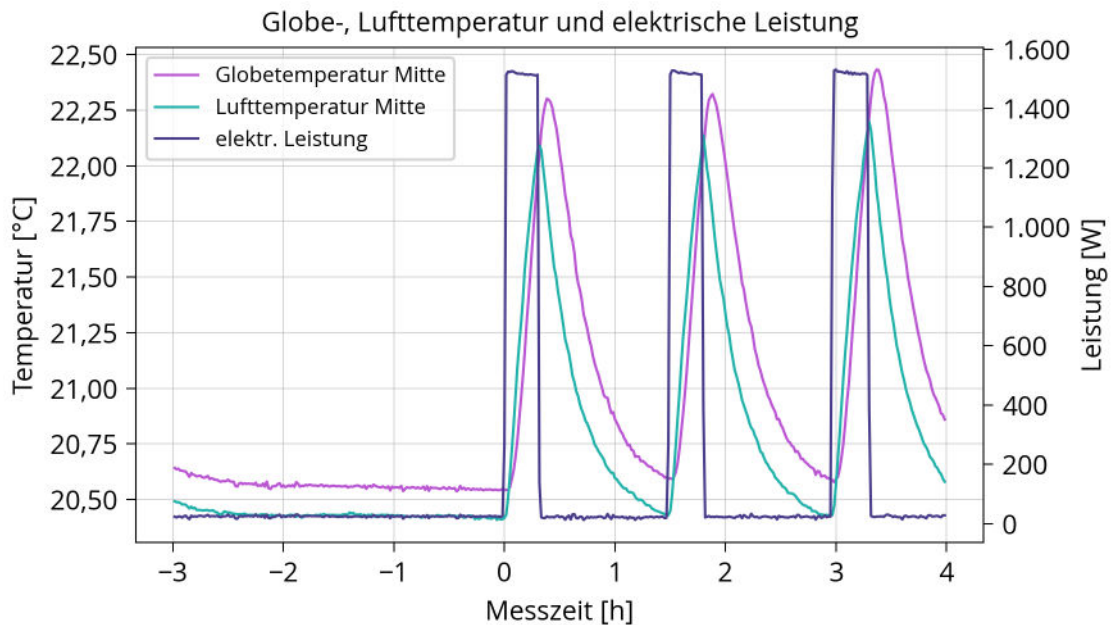


Abbildung 36: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke fern** bei Lastfall 25%

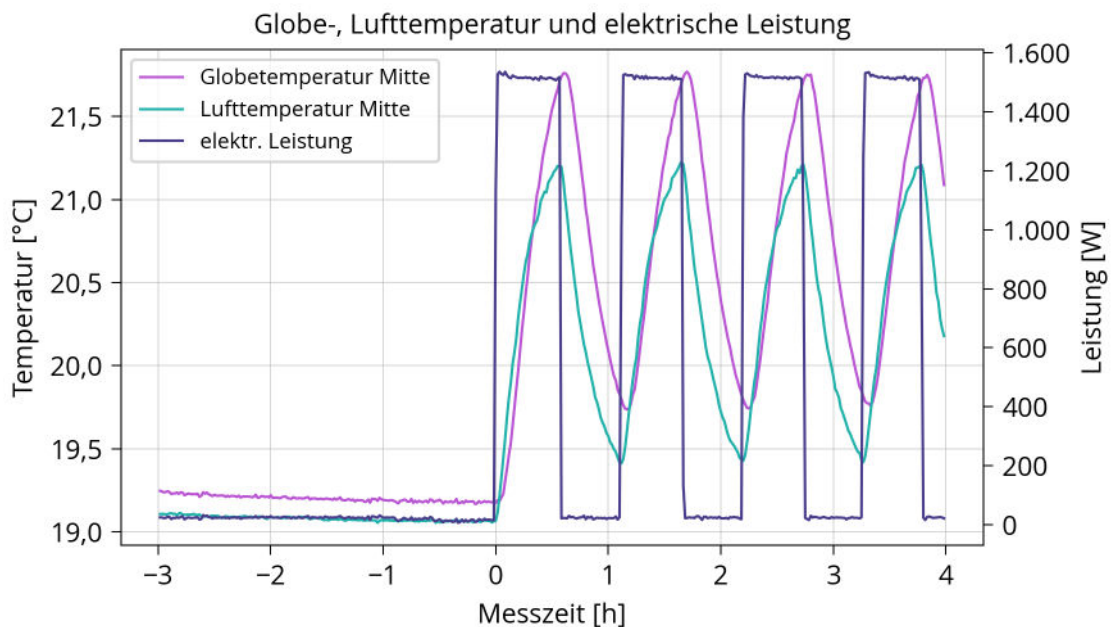


Abbildung 37: Globe- und Lufttemperaturverlauf (mittig) sowie elektrische Leistung für **Heizgerät Infrarotheizung Decke fern** bei Lastfall 85%

Mittlere Raumtemperaturen während der Versuche

Tabelle 7: Zusammenfassung der mittleren Raumtemperatur während der Nutzungszeit für die verschiedenen Heizgeräte sowie die verschiedenen Lastfälle

Heizgerät	Lastfall	mittlere Temperatur in der Nutzungszeit in °C
Dynamo (Beladungszeit 1h)	25%	20,9
	60%	20,3
	85%	20,0
Teilspeicherheizung	25%	21,1
	60%	20,3
	85%	20,3
Infrarotheizung Wand	25%	21,2
	60%	20,6
	85%	20,3
Infrarotheizung Decke nah	25%	22,0
	60%	21,8
	85%	21,7
Infrarotheizung Decke mittig	25%	21,9
	60%	21,6
	85%	23,0
Infrarotheizung Decke fern	25%	21,1
	60%	20,6
	85%	20,5