

Messtechnischer Vergleich der Raumbeheizung mit einer elektrischen Teilspeicherheizung und einer Infrarotheizung

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 21.05.2024

Inhalt

1	Aufgabenstellung	3
2	Versuchsraum, Messtechnik und Randbedingungen	4
2.1	Allgemeines	4
2.2	Messkonzept, Versuchsaufbau und Sensorik	4
2.3	Versuchsablauf	8
2.4	Auswertemethodik und Vergleichskriterien	9
3	Ergebnisse	10
3.1	Typische Zeitverläufe	10
3.2	Temperatur im Aufenthaltsbereich	12
3.3	Energetische Analyse	15
4	Zusammenfassung und Fazit	17
5	Literaturverzeichnis	18
6	Symbolverzeichnis	19
7	Anhang	20

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. Aus diesem Grund ist die Kenntnis der Wirkung im Raum (Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung) entscheidend, um die Produkte detailliert charakterisieren zu können und Weiterentwicklungspotenziale aufzeigen zu können. Daher sollen im Rahmen des Projektes im Combined Energy Lab der TU Dresden umfangreiche messtechnische Analysen für die Raumbeheizung mit einer elektrischen Teilspeicherheizung und einer elektrischen Infrarotheizung vergleichend durchgeführt werden.

Dazu sind folgende Aufgaben durchzuführen:

- Definition einer geeigneten Versuchsanordnung im Combined Energy Lab der TU Dresden sowie Festlegung der notwendigen Messstellen
- Installation und Inbetriebnahme der Versuchsanordnung
- Durchführung von Messreihen unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen
- Auswertung der Messdaten
- Vergleichende Betrachtung der beiden Heizsysteme

2 Versuchsraum, Messtechnik und Randbedingungen

2.1 Allgemeines

Für die durchzuführenden Versuche wird der Innenklimaraum der TU Dresden (Combined Energy Lab 2.0 [1]) verwendet. Dieser zeichnet sich durch eine vollständige Temperierbarkeit aller Umfassungsflächen aus. Der Bereich der möglichen Oberflächentemperaturen liegt bei $5^{\circ}\text{C} \leq \vartheta_{\text{W}} \leq 50^{\circ}\text{C}$. Auf der Luftseite können Temperaturen von $10^{\circ}\text{C} \leq \vartheta_{\text{L}} \leq 35^{\circ}\text{C}$ 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: Klimaraum der TU Dresden

2.2 Messkonzept, Versuchsaufbau und Sensorik

Der messtechnische Aufbau wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber erarbeitet und umgesetzt. Auf Grund der unterschiedlichen Wirkweise der Raumbeheizung werden eine elektrische Teilspeicherheizung und eine Infrarotheizung mit jeweils einer elektrischen Leistung von $P_{\text{el}} = 1500 \text{ W}$ vergleichend analysiert. In einem ersten Schritt wurde das Heizgerät jeweils mittig vor der 4 m langen Seitenwand installiert, Anordnung siehe Abbildung 2. Die Teilspeicherheizung (Bezeichnung: TSP) wurde dabei auf die dazugehörigen Standfüße gestellt und die Infrarotheizung (Bezeichnung: IRH) wurde mit Hilfe von Magneten an der Seitenwand befestigt, wobei die lange Seitenkante vertikal ausgerichtet war. In einem zweiten Schritt wurde die Infrarotheizung an der langen Seite nahe der Außenwand

¹ Detaillierte Informationen sind in [1] zu finden.

(Bezeichnung: IRH_SW) montiert, siehe Abbildung 2. Dies soll zeigen, wie sich eine grundsätzlich etwas schlechter positionierte Installationsvariante auf die Raumbeheizung auswirkt.

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

- Temperaturmesslanze in der Raummitte zur Bestimmung der Lufttemperatur über der Höhe, Abstand der Sensoren jeweils 10 cm
- Globethermometer zur Bestimmung der operativen Raumtemperatur in drei Entfernungen vom Heizgerät
- Thermografiekamera zur Messung der mittleren Oberflächentemperatur der Vorderseite des jeweiligen Heizgerätes
- One-Wire-Temperatursensoren in den temperierbaren Wänden zur Regelung und Steuerung verschiedener Lastzustände
- SICAM Messumformer zur Messung der elektrischen Größen Spannung, Stromstärke, Leistung

Die Positionen der Temperaturmesslanze, der Globethermometer sowie der Thermografiekamera sind der Abbildung 2 zu entnehmen.

Der Versuchsaufbau mit Teilspeicherheizung ist in Abbildung 3, der mit Infrarotheizung an der Seitenwand ist in Abbildung 4 zu sehen.

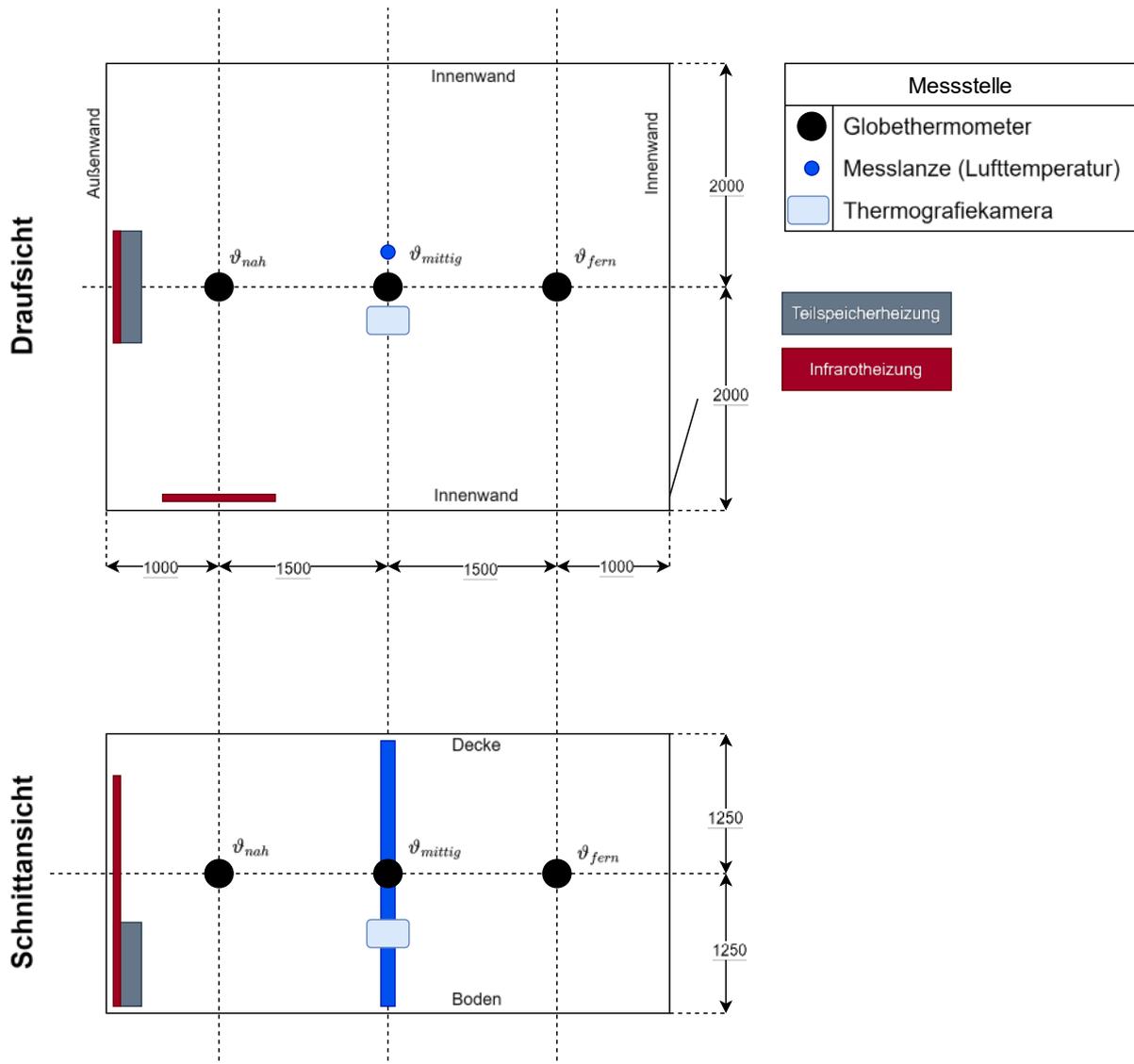


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau


 Abbildung 3: Versuchsaufbau Teilspeicherheizung TSP ($P_{el} = 1500 \text{ W}$)

 Abbildung 4: Versuchsaufbau Infrarotheizung (Seitenwand) IRH_SW ($P_{el} = 1500 \text{ W}$)

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
Lufttemperatursensor Temperaturlanze	NTC	$\pm (0,2 \text{ K})$
Temperatur Wandtemperatur	One-Wire-Temperatur- sensor	$\pm (0,5 \text{ K})$
Siemens SICAM Messumformer elektrische Leistung	Siemens SICAM	$\pm (0,2 \% \text{ vom Messwert})$
Globethermometer PT100	PT100- Temperaturfühler	$\pm (0,3 \text{ K} + 0,005 \cdot \vartheta) \text{ K}$
Thermografiekamera inkl. IRBIS-Software	Variocam HD 1024 x 786 Pixel	$\pm (1,5 \text{ K})$

Alle Messwerte werden mit einem Datenlogger und der dazugehörigen Software der Fa. Ahlborn aufgezeichnet und gespeichert.

Die Ansteuerung der Heizgeräte erfolgt jeweils über einen dazugehörigen Raumthermostat, welche auf der gegenüberliegenden Raumseite der elektrischen Teilspeicherheizung neben der Tür positioniert ist, siehe Abbildung 5.



Abbildung 5: Installation des Raumthermostat neben der Tür des Innenklimaraums

2.3 Versuchsablauf

Die Analysen erfolgen bei stationären Bedingungen. Es wurden mehrere Messpunkte durch Variation der Temperatur der Raumumfassungsflächen und der Sollwertvorgabe definiert. Dadurch können verschiedene Lastzustände im Raum erzielt werden, welche die Leistungsabgabe und somit die Wirkung in den Raum beeinflussen. Alle Wände mit der Bezeichnung Innenwand (siehe Abbildung 2) sowie Decke und Boden hatten bei allen Versuchen eine Temperatur von 21°C. Die Temperatur der Außenwand wurde zwischen 17°C und 19°C variiert. Die Sollwertvorgabe am Raumthermostat war während der Versuche 21°C / 22°C / 23°C. Durch Kombination dieser Parameter entsteht eine Messmatrix von 5 Messpunkten. Die Tabelle 2 fasst die Messpunkte und die dazugehörigen Randbedingungen zusammen.

Tabelle 2: Zusammenfassung des Versuchsablaufs

Bezeichnung Messpunkt	Temperatur Innenwand, Decke, Boden	Temperatur Außenwand	Temperatur Raumthermos- tat
A19_I21_S21	21°C	19°C	21°C
A19_I21_S22			22°C
A19_I21_S23			23°C
A17_I21_S21		17°C	21°C
A17_I21_S22			22°C
A17_I21_S23			23°C

2.4 Auswertemethodik und Vergleichskriterien

Für die oben beschriebenen Messpunkte wird jeweils der stationäre Zustand abgewartet und für mindestens eine Stunde gehalten. Anschließend werden die Messdaten über die letzte Stunde gemittelt und für die Analyse verwendet.

Ein erstes Kriterium für den Vergleich zwischen Teilspeicherheizung und Infrarotheizung ist die Temperaturverteilung im Raum. Dabei werden die Messstellen der Globethermometer *nah*, *mittig*, *fern* verglichen. Des Weiteren wird untersucht, welche elektrische Leistung für die jeweils mittels Globethermometer gemessenen operativen Raumtemperaturen benötigt wurden. Als Bezugspunkt dient hier jeweils eine Nullmessung² bei ausgeschalteten Heizungen als Vergleichsgröße für alle drei untersuchten Heizungen TSP, IRH und IRH_SW.

Durch Detektion eines Zusammenhangs aus elektrischer Leistung und erzielter Raumtemperatur für jede Heizung und jedes Globethermometer sind abschließend Aussagen über die jeweilige Effizienz erzielbar.

² Definiert den Zustand im Innenklimaraum bei ausgeschalteten Heizsystem und definierten Wandtemperaturen – siehe Messpunkte in Tabelle 2

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

3.1 Typische Zeitverläufe

Beispielhaft sollen im Folgenden Zeitverläufe der Messwerte für die elektrische Leistung und die Globethermometer einzelner, repräsentativer Messpunkte dargestellt werden. Abbildung 6 zeigt den Messpunkt A17_I21_S23 für die IRH. Aus einem kalten Startzustand des Klimaraums von ca. 17°C wird die IRH eingeschaltet und parallel stellen sich die Oberflächentemperaturen des Klimaraums analog zur Tabelle 2 ein. Es ist zu erkennen, dass sich nach ca. 1,5 h ein stationärer Zustand einstellt, bei dem die IRH durchgängig im Betrieb bleibt aufgrund der in diesem Falle unzureichenden Heizleistung bei dem auferlegten Lastzustand für das Erreichen eines Sollwerts von 23 °C. Auffällig ist zudem der relativ betrachtet hohe Messwert des Globethermometers im Nahbereich der IRH.

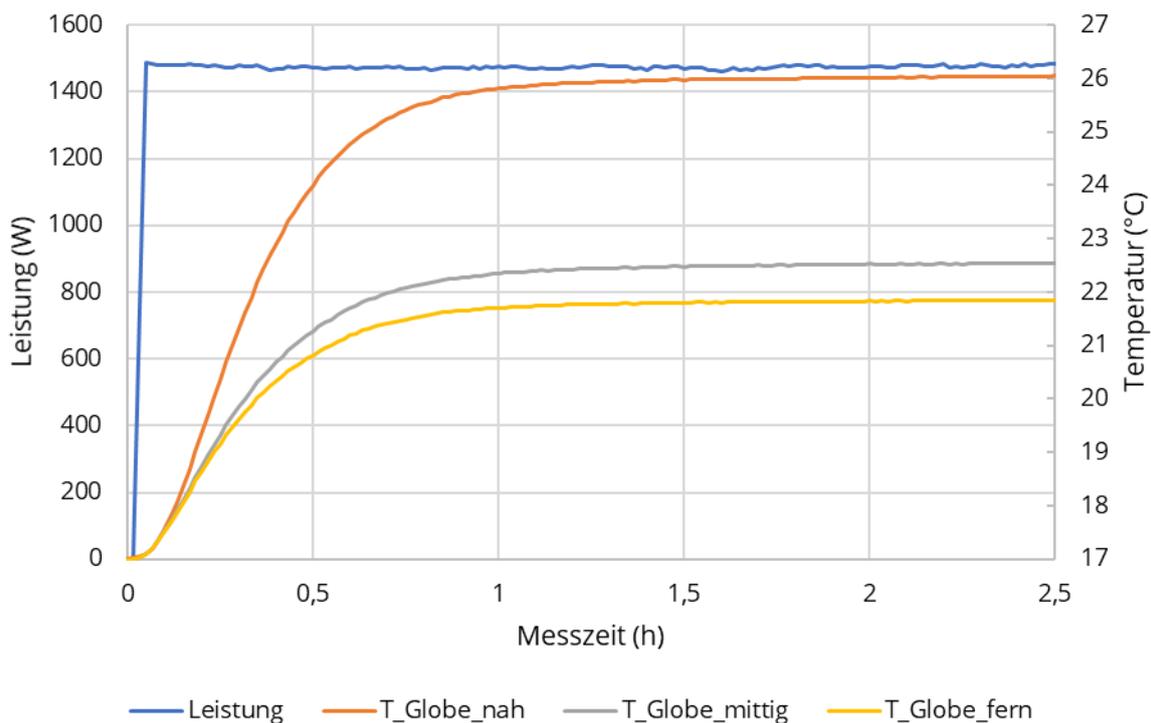


Abbildung 6: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S23 für die IRH

Auch beim Betrieb der TSP konnte ein Sollwert von 23 °C nicht erreicht werden. Dennoch lassen sich diese Messpunkte für eine weiterführende Auswertung nutzen, da hierfür nur das Kriterium des stationären Zustands relevant ist.

Im Vergleich dazu stellt Abbildung 7 den stationären Zustand des Messpunkts A17_I21_S22 der TSP dar, bei welchem der Sollwert erreicht wird.

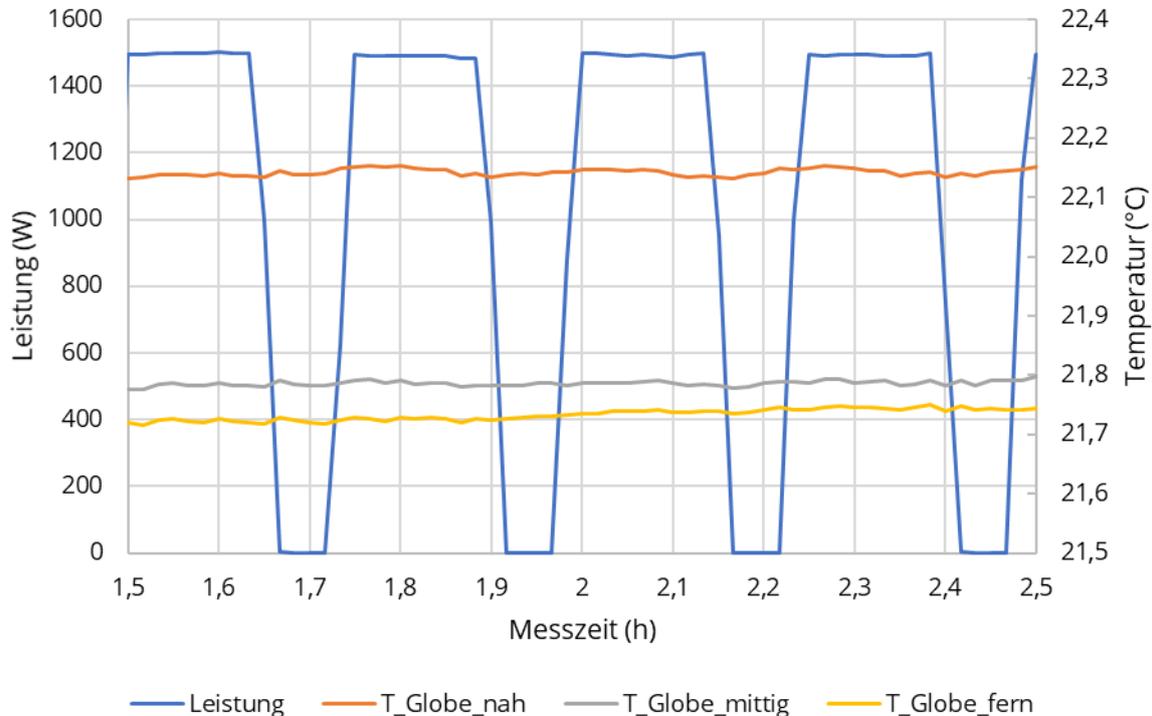


Abbildung 7: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S22 für die TSP (stationärer Zustand)

Auch hier kann trotz des Ein/Aus-Betriebs der TSP von einem stationären Zustand gesprochen werden, da im Mittel die Temperaturen im Raum näherungsweise konstant bleiben. Durch die Auswertung des langen Zeitraums von jeweils einer Stunde im stationären Zustand ist sichergestellt, dass die zum Halten des Raumklimazustands notwendige elektrische Leistung mit hoher Genauigkeit ermittelt und für die weitere Auswertung herangezogen werden kann. Im Vergleich zum Betrieb der IRH in Abbildung 6 fällt zudem die homogenere Temperaturverteilung zwischen den Globethermometern auf (siehe hierzu weiterführend Abbildung 11 im Abschnitt 3.2).

Eine Gegenüberstellung von IRH und TSP ist beispielhaft in Abbildung 8 für den Messpunkt A17_I21_S21 dargestellt. Beide Systeme arbeiten aufgrund der Regelung in einem gepulsten Betrieb zwischen 0 W und der maximalen Leistung von ca. 1500 W. Die Pulse der IRH sind dabei länger, das heißt es wird für das Halten des stationären Zustands mehr Energie benötigt. Im Nahbereich der IRH sind die Temperaturen jedoch höher als bei der TSP. Letztere schafft eine sehr homogene (gleichmäßige) Temperaturverteilung im Raum. Die in Abbildung 8 dargestellten Messungen sind nochmals zusammen mit den Messpunkten A17_I21_S22 und A17_I21_S23 im stationären Zustand für die IRH und die TSP in Abbildung 12 bis Abbildung 17 im Anhang vergleichend dargestellt.

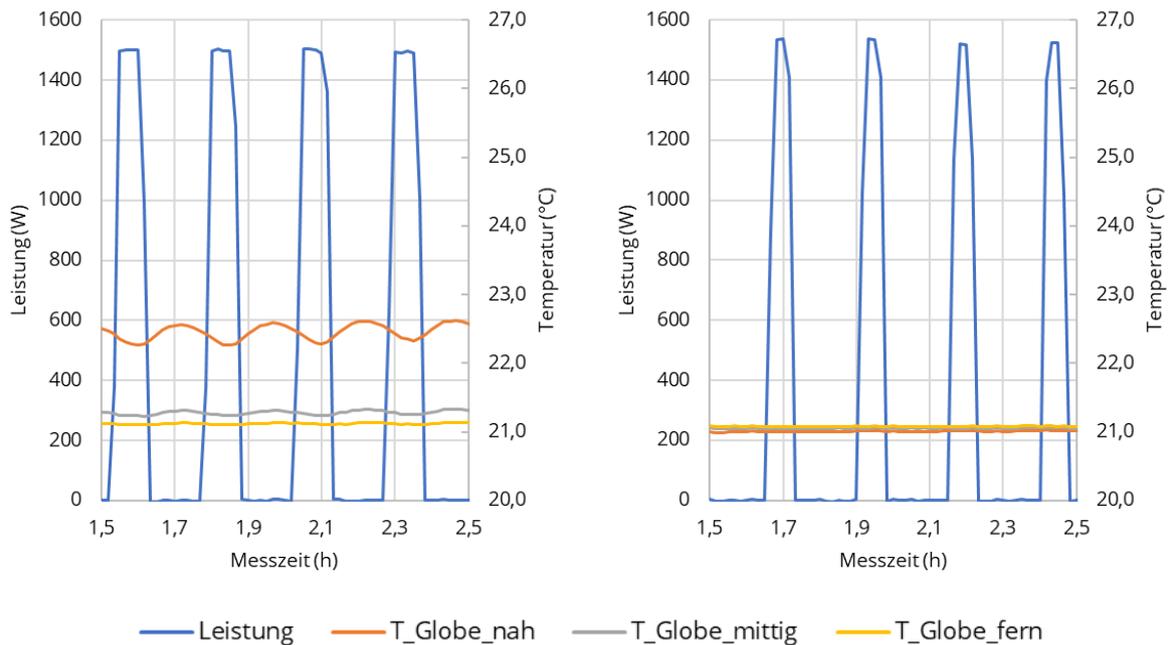


Abbildung 8: Messung A17_I21_S21 für IRH (links) und TSP (rechts)

Es ist zu erkennen, dass mit der TSP eine homogene Temperaturverteilung im Raum entsteht. Bei der IRH gibt es auf Grund der Strahlungswirkung eine entfernungsabhängige Temperaturverteilung im Raum. Um den gewünschten Sollwert im Raum zu erreichen, benötigt die TSP eine mittlere elektrische Leistung von 375,0 W und die IRH 568,1 W.

3.2 Temperatur im Aufenthaltsbereich

Betrachtet man die Lufttemperaturverteilung gemessen mit Hilfe der Lufttemperaturlanze im Raumzentrum in Abbildung 9 am Beispiel des Messpunkts A19_I21_S22 für IRH und TSP fallen nur geringfügige Unterschiede zwischen den Heizungsarten auf. Infolge der Dichterunterschiede steigt die wärmere Luft auf und es bildet sich ein näherungsweise lineares Höhenprofil aus. Dieser Messpunkt benötigt infolge einer mittleren untersuchten Heizlast nur eine moderate elektrische Leistung. Daher ist ergänzend in Abbildung 10 der Messpunkt A17_I21_S23 für beide Systeme dargestellt, bei welchem jeweils ein durchgängiger Betrieb bei maximaler Leistung erzwungen wurde. Hier zeigt sich bei der TSP ein etwas ausgeprägteres, das heißt steileres Temperaturprofil, welches jedoch bei einem maximalen Temperaturunterschied von ca. 0,5 K gegenüber der IRH keinen nennenswerten Einfluss auf die thermische Behaglichkeit im Raumzentrum nimmt.

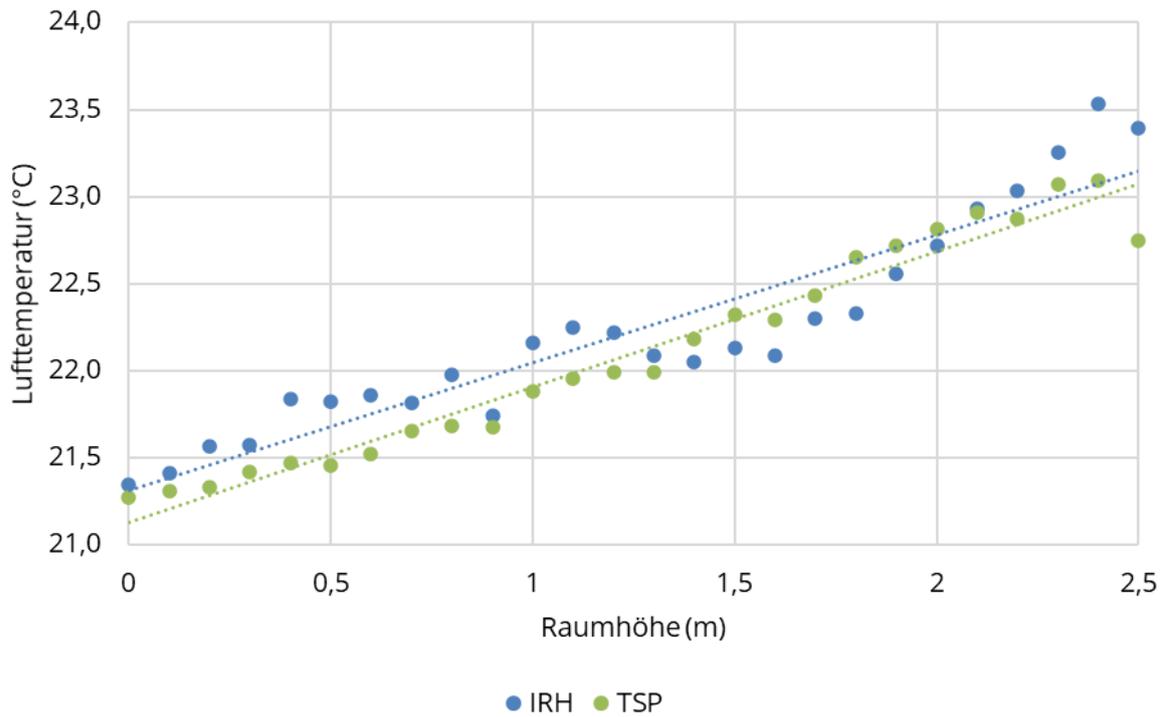


Abbildung 9: Lufttemperaturverteilung im Raumzentrum für Messpunkt A19_I21_S22 für IRH und TSP

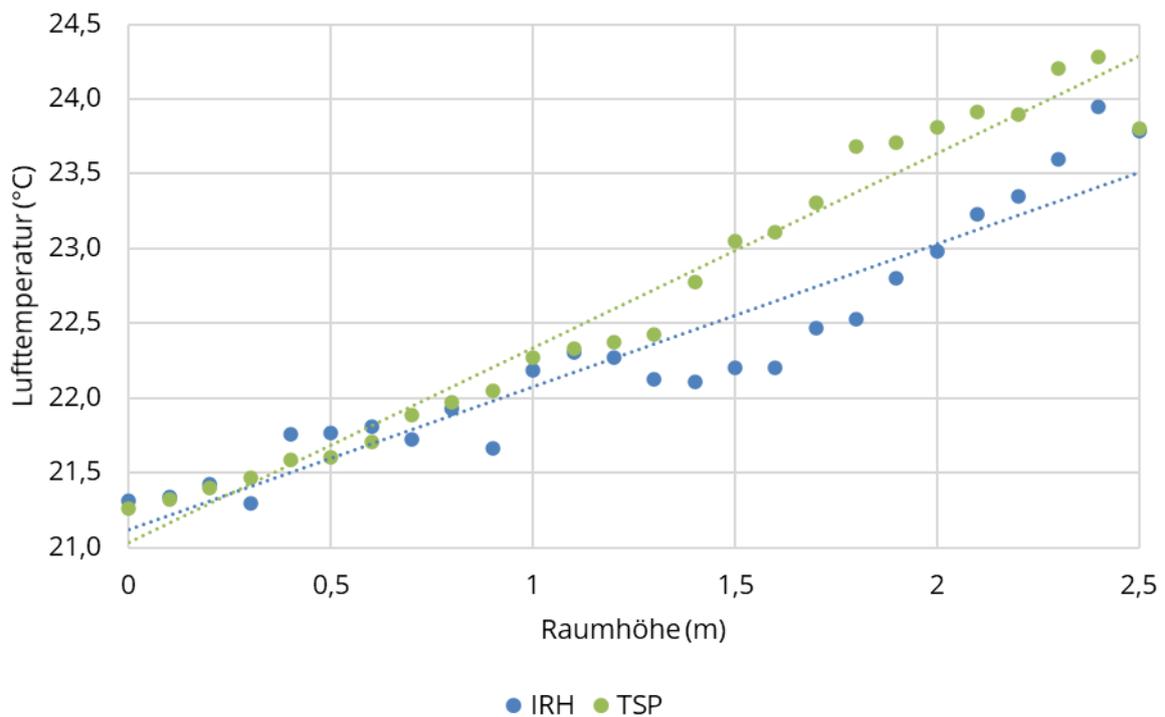


Abbildung 10: Lufttemperaturverteilung im Raumzentrum für Messpunkt A17_I21_S23 für IRH und TSP

Die Abbildungen zeigen, dass sich bei der TSP ein nahezu lineares Lufttemperaturprofil über der Höhe einstellt.

Die Analyse der Globethermometer zeigt hingegen deutliche Unterschiede abhängig von der Heizungsart bzw. im Falle der IRH von dessen Positionierung. Grundsätzlich gilt, je näher der Sensor an der Heizung ist, desto höher ist der Messwert. Im Falle der IRH(_SW) ist jedoch aufgrund des höheren Strahlungsanteils der Heizleistung gegenüber der TSP die Entfernung von entscheidender Bedeutung. Insbesondere im Nahbereich der IRH ist infolge des Abstands von nur 1 m zwischen Sensor und Heizfläche eine deutlichere höhere operative Raumtemperatur messbar. Bei der TSP sind jedoch die Temperaturen wie bereits erwähnt nahezu identisch an jedem Messort.

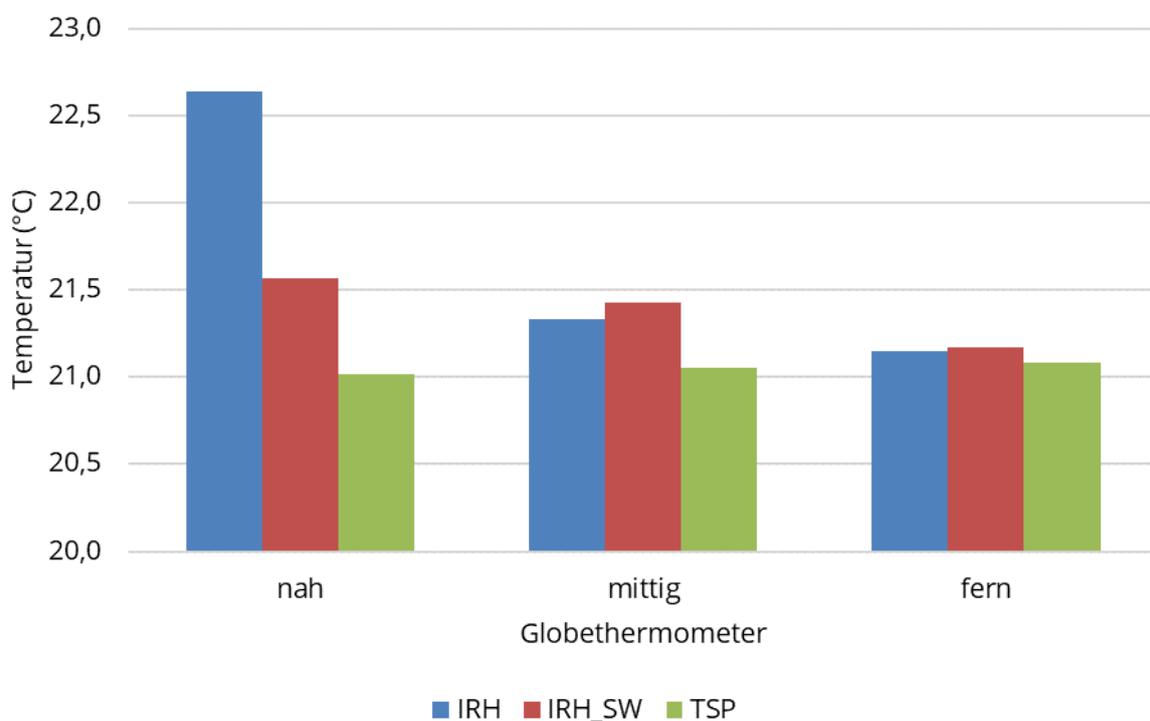


Abbildung 11: Globetemperaturen beispielhaft für Messpunkt A17_I21_S21 für IRH, IRH_SW und TSP

Die Gegenüberstellung der Messwerte der Globethermometer für die Messpunkte A17_I21_S22 und A17_I21_S23 sind in Abbildung 18 und Abbildung 19 im Anhang dargestellt.

3.3 Energetische Analyse

Basierend auf allen untersuchten Messpunkten kann ein funktionaler Zusammenhang von elektrischer Leistung und damit erzielter, gemessener Erhöhung der operativen Raumtemperatur (Bezugspunkt: Mittelwert der Nullmessungen, das heißt bei ausgeschalteter Heizung) in Form von Ausgleichsgeraden für jede untersuchte Heizung ermittelt werden (siehe Abbildung 20 bis Abbildung 22 im Anhang). Mit Hilfe dieser kann die für eine beliebige Raumtemperaturerhöhung im Innenklimaraum des Combined Energy Labs benötigte elektrische Leistung für die im Abschnitt 2.3 genannten Randbedingungen näherungsweise rechnerisch ermittelt werden. Während die Analysen der mittleren Aufenthaltszone nahezu eine Gleichwertigkeit der Heizungen zeigen, kann die IRH den Nahbereich effizienter beheizen (die Ausgleichsgerade ist flacher). Die TSP benötigt hingegen deutlich weniger Leistung für eine Raumtemperaturerhöhung im Fernbereich.

Wichtig ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die Ergebnisse und insbesondere die Ausgleichsgeraden nur für die im Rahmen dieser Untersuchungen analysierte Raumsituation und Temperaturverteilungen gelten. Die Tendenzen sind aufgrund der realitätsnahen Konstellation im Raum jedoch auf die Praxis übertragbar.

Für eine bessere Nachvollziehbarkeit stellen Tabelle 3 und Tabelle 4 die benötigte elektrische Leistung für das Erreichen einer Raumtemperatur von 21 °C bzw. 22 °C in der jeweiligen Aufenthaltszone dar.

Tabelle 3: benötigte elektrische Leistung in W zum Erreichen von 21°C im Innenklimaraum des Combined Energy Labs im jeweiligen Aufenthaltsbereich

Heizung	nah	mittig	fern
IRH	82	240	296
TSP	244	204	185
IRH_SW	385	365	468

Tabelle 4: benötigte elektrische Leistung in W zum Erreichen von 22°C im Innenklimaraum des Combined Energy Labs im jeweiligen Aufenthaltsbereich

Heizung	nah	mittig	fern
IRH	345	967	1483
TSP	839	1118	1187
IRH_SW	955	1202	1856

Bezieht man die dargestellten Leistungen auf die Nennleistung der Heizgeräte von $P_{el} = 1500 \text{ W}$, so erhält man die in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellten relativen Bezugswerte, mit deren Hilfe die Rangfolge in der Effizienz beim Erreichen des jeweiligen Sollwerts ersichtlich sind. Dabei bedeutet ein geringerer Wert (grüner Farbbereich) eine hohe Effizienz, das heißt es muss weniger elektrische Energie zugeführt werden, um die

Heizaufgabe im jeweiligen Aufenthaltsbereich zu erfüllen. Werte von über 100 % bedeuten hingegen, dass der Sollwert unter den gegebenen Bedingungen nicht erreichbar ist, da die elektrische Nennleistung hierfür nicht ausreicht.

Tabelle 5: benötigte elektrische Leistung zum Erreichen von 21°C im Innenklimaraum des Combined Energy Labs im jeweiligen Aufenthaltsbereich bezogen auf eine Nennleistung von 1500 W

Heizung	nah	mittig	fern
IRH	5%	16%	20%
TSP	16%	14%	12%
IRH_SW	26%	24%	31%

Tabelle 6: benötigte elektrische Leistung zum Erreichen von 22°C im Innenklimaraum des Combined Energy Labs im jeweiligen Aufenthaltsbereich bezogen auf eine Nennleistung von 1500 W

Heizung	nah	mittig	fern
IRH	23%	64%	99%
TSP	56%	75%	79%
IRH_SW	64%	80%	124%

Dies zeigt: Im Nahbereich ist die IRH, sofern diese gut positioniert ist, von den untersuchten Systemen am effizientesten. Im Fernbereich schafft es hingegen die TSP deutlich effizienter, die Aufenthaltszone im behaglichen Bereich zu temperieren. Mittig sind die untersuchten Heizungen nahezu gleichauf. Die schlechter positionierte IRH an der senkrecht zur Außenwand positionierten Innenwand schneidet hingegen in allen drei untersuchten Bereichen infolge des größeren Abstands und des reduzierten Sichtfaktors zu den Globethermometern am schlechtesten ab. Die TSP weist grundsätzlich den Vorteil auf, dass alle Aufenthaltsbereiche nahezu gleich warm werden, wohingegen die IRH in beiden Fällen deutliche entfernungsabhängige Temperaturunterschiede erzeugen (siehe auch Abbildung 11).

4 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen der Untersuchungen wurde ein Versuchsstandskonzept für den messtechnischen Vergleich bei der Raumbeheizung mit einer Teilspeicherheizung und einer Infrarotheizung entworfen und im Innenklimaraum des Combined Energy Lab umgesetzt. Dabei wurden unter verschiedenen Lastbedingungen stationäre Versuche durchgeführt. Mit Hilfe der gewonnenen Messdaten konnten anschließend vergleichende Aussagen zur Temperaturverteilung im Raum sowie der energetischen Aufwendung zur Erreichung einer Sollraumtemperatur erzielt werden. Dabei lassen sich folgende Kernaussagen ableiten:

- Mit einer Teilspeicherheizung kann eine homogene Temperaturverteilung im Raum erzielt werden.
- Die Anordnung / Ausrichtung der Infrarotheizung hat einen entscheidenden Einfluss auf die Raumbeheizung.
- Für die Raumbeheizung bei einer Aufenthaltszone in der Raummitte sind eine Teilspeicherheizung sowie eine Infrarotheizung mit gleicher elektrischer Leistung annähernd gleichwertig hinsichtlich des energetischen Aufwandes.
- Auf Grund der Strahlungswirkung der Infrarotheizung ist die Positionierung hinsichtlich des Aufenthaltsbereichs entscheidend – bei einer nahen Anordnung ist der Energieaufwand zum Erreichen einer Zonentemperatur geringer, bei einer ferneren Anordnung jedoch deutlich größer.

Schlussendlich kann festgehalten werden, dass beide Heizsysteme für die Raumbeheizung geeignet sind. Ein Kriterium für den Einsatz sollte die Raumnutzung mit darstellen. Wird der Raum komplett genutzt, ist durch die gleichmäßige Beheizung eine Teilspeicherheizung deutlich vorteilhaft. Befinden sich im Raum aber mehrere Aufenthaltszonen oder die Größe der Aufenthaltszone ist im Vergleich zum Raumvolumen relativ gering und klar abgegrenzt, so sollte in diesem Fall die Beheizung mit einer Infrarotheizung angestrebt werden. Natürlich kann auch ein hybrider Betrieb beider Heizsysteme sinnvoll sein.

5 Literaturverzeichnis

- [1] J. Seifert, B. Oschatz, L. Schinke, A. Buchheim, S. Paulick, M. Beyer und B. Mailach, Instationäre, gekoppelte, energetische und wärmephysiologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK-Systeme, Berlin: VDE Verlag, 2017.

6 Symbolverzeichnis

Symbol	Beschreibung	Einheit
B	Breite	m
H	Höhe	m
L	Länge	m
P	Leistung	W
ϑ	Celsiustemperatur	°C

Index	Beschreibung
el	elektrisch
fern	Fernbereich
L	Luft
mittig	mittlerer Bereich
nah	Nahbereich
W	Wasser

7 Anhang

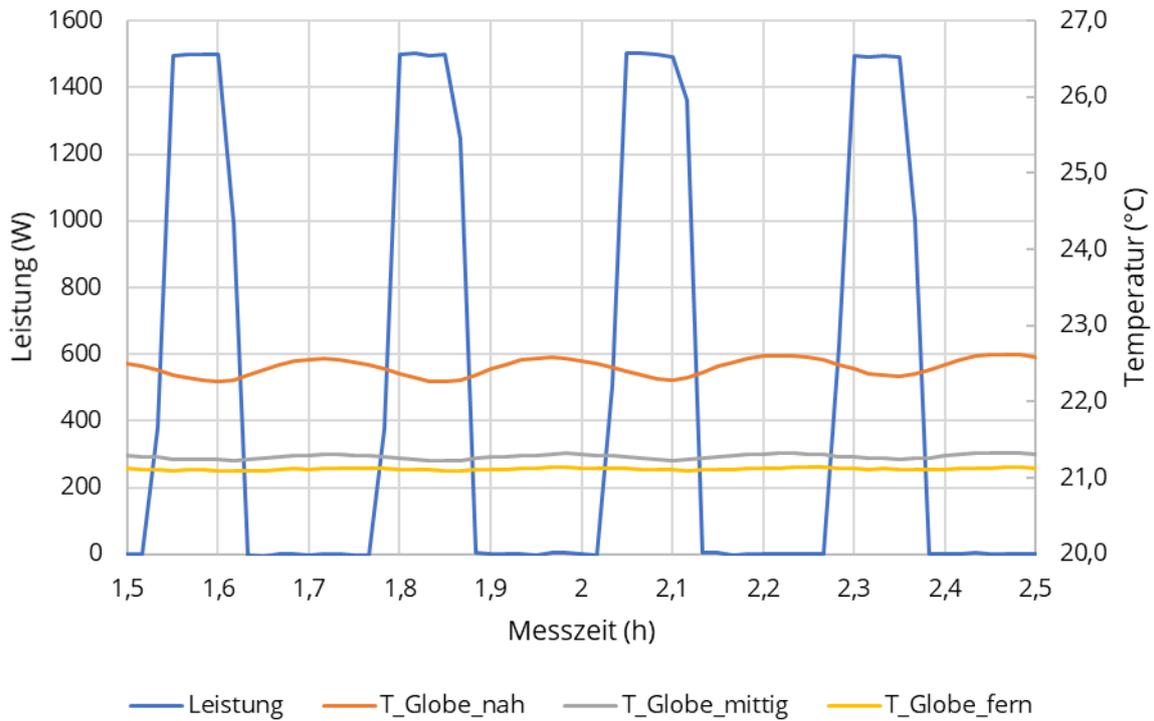


Abbildung 12: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S21 für die IRH (stationärer Zustand)

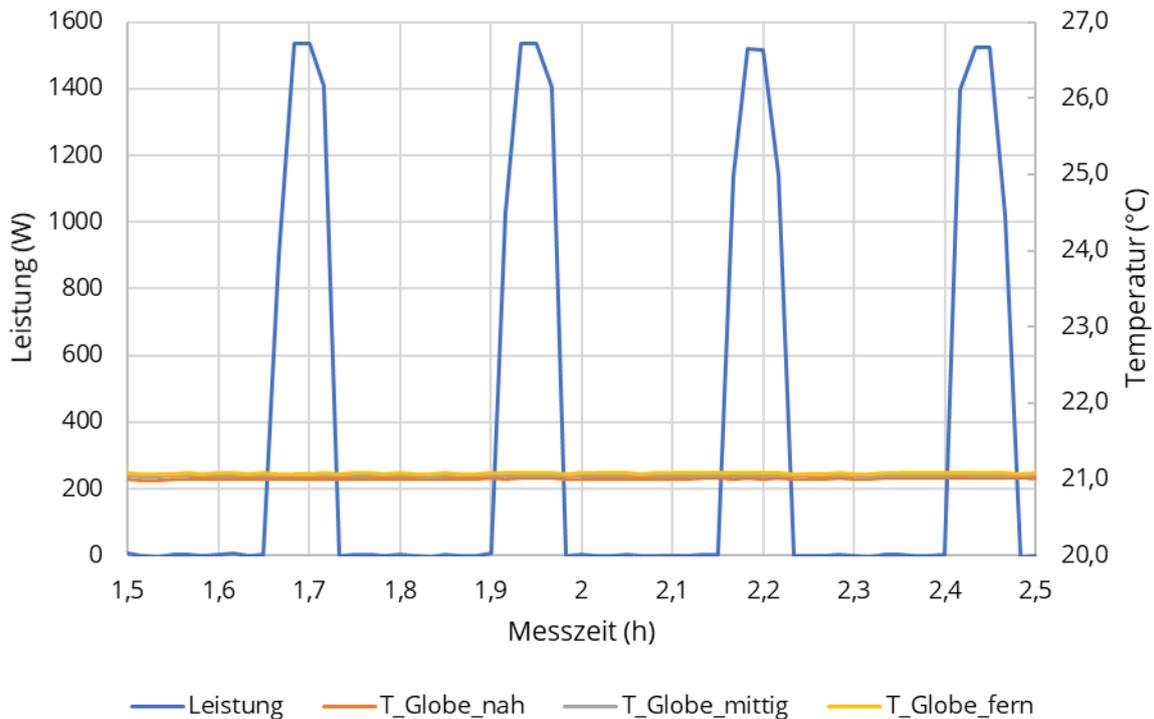


Abbildung 13: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S21 für die TSP (stationärer Zustand)

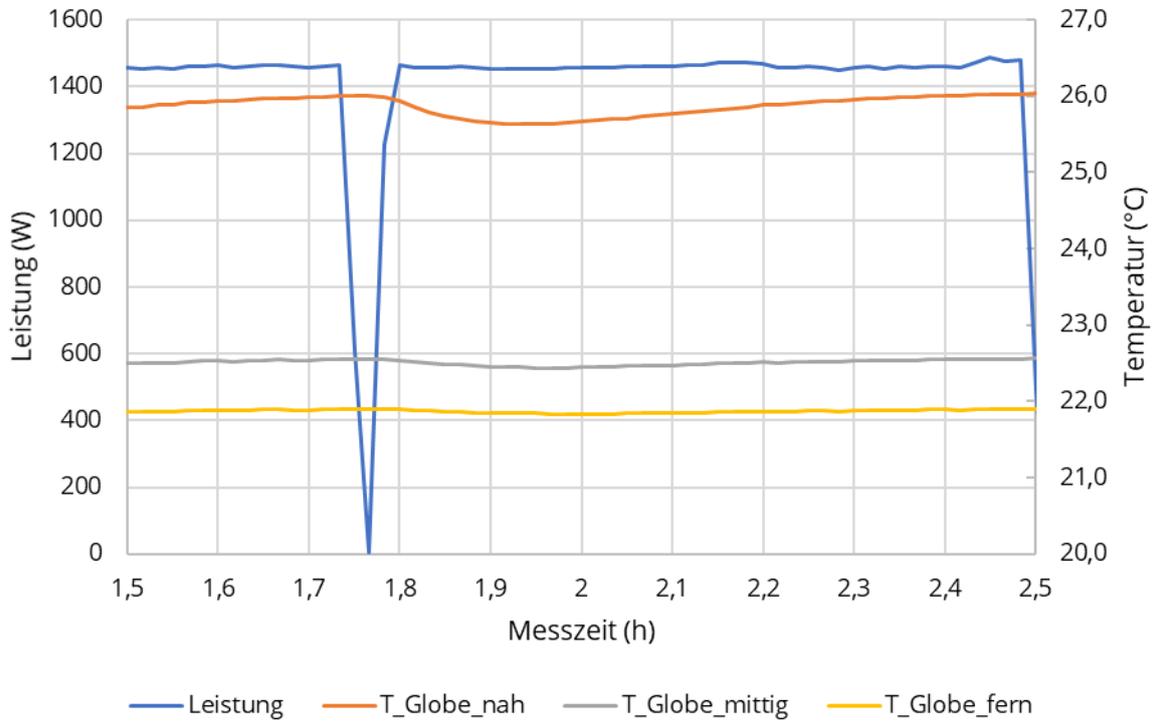


Abbildung 14: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S22 für die IRH (stationärer Zustand)

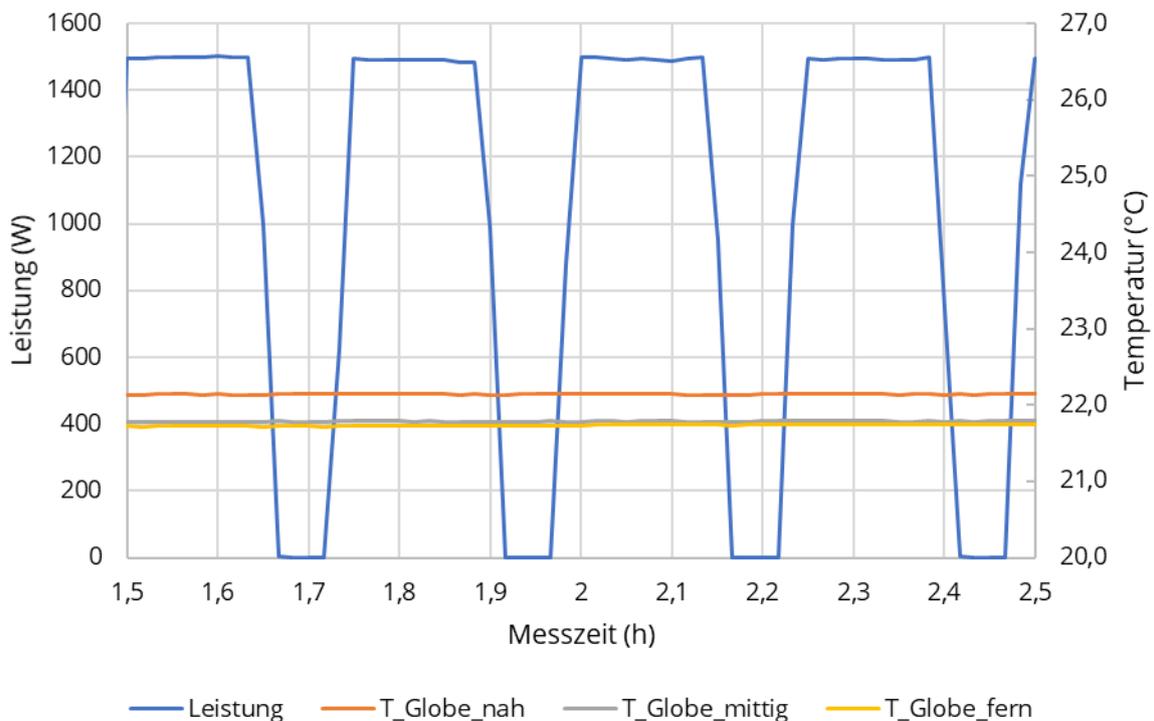


Abbildung 15: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S22 für die TSP (stationärer Zustand)

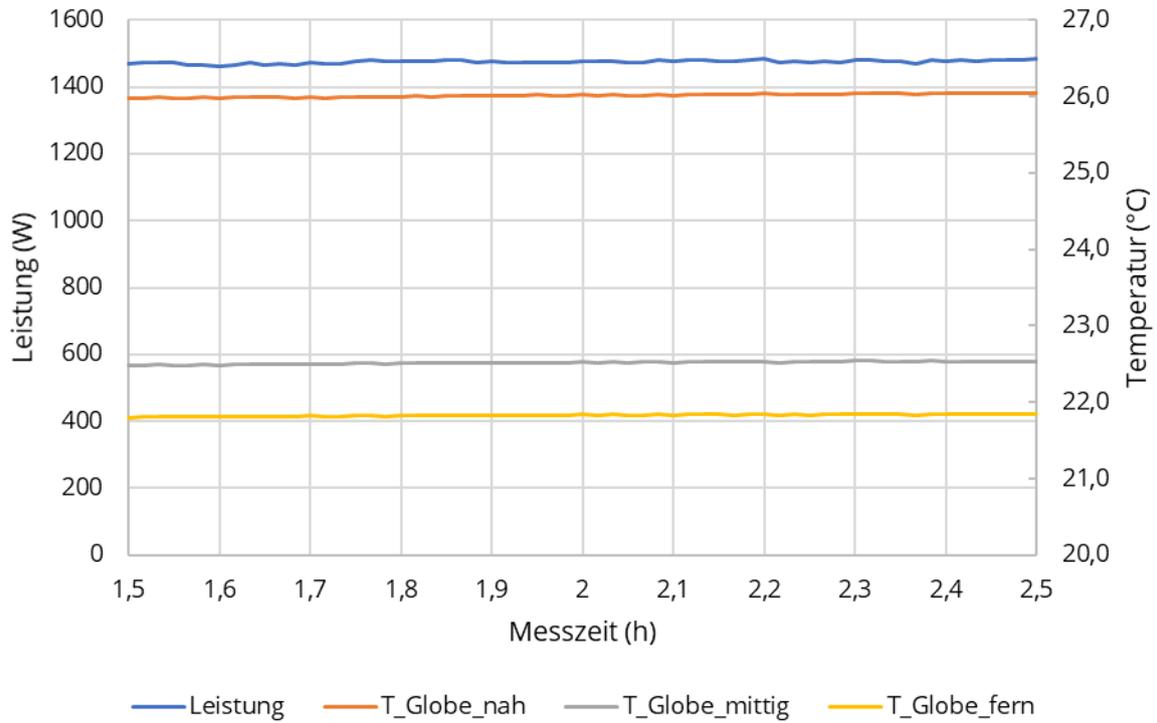


Abbildung 16: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S23 für die IRH (stationärer Zustand)

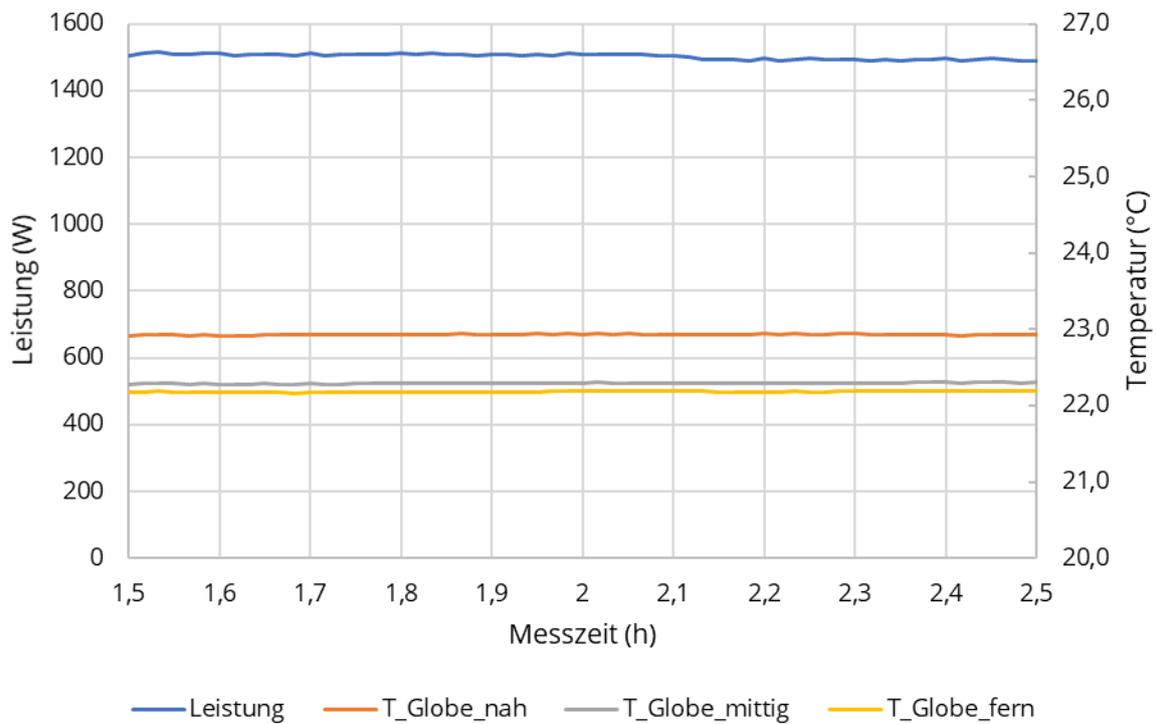


Abbildung 17: Zeitverlauf der Messung A17_I21_S23 für die TSP (stationärer Zustand)

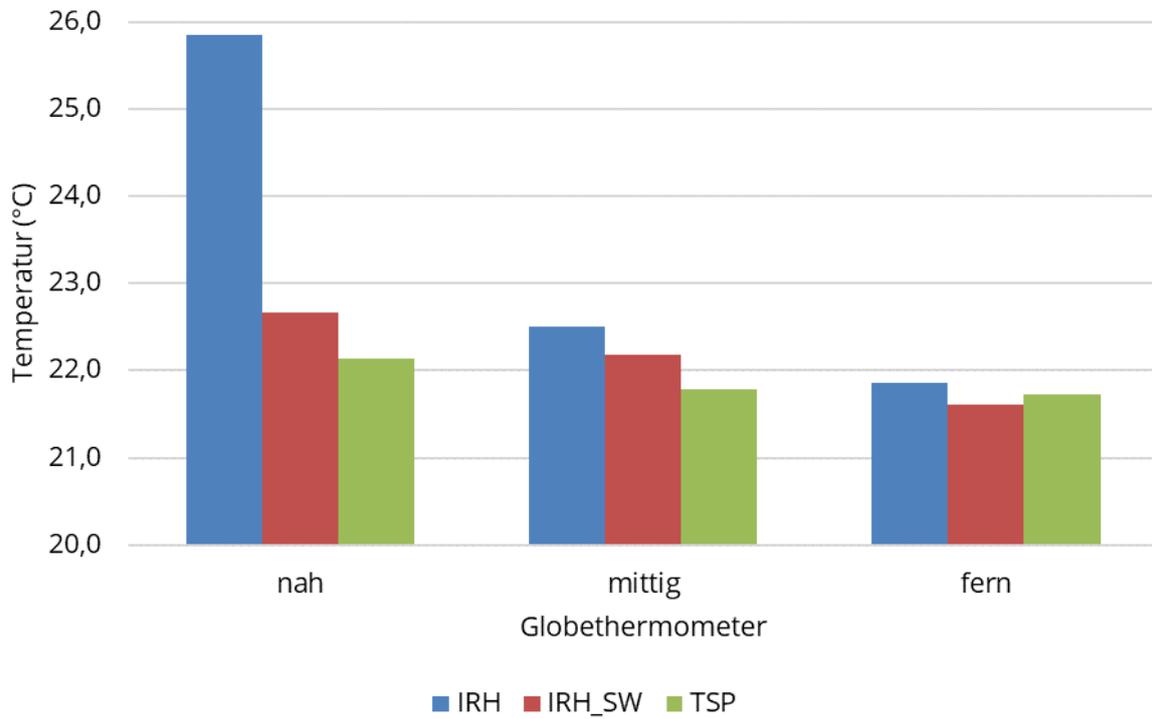


Abbildung 18: Globetemperaturen für Messpunkt A17_I21_S22 für IRH, IRH_SW und TSP

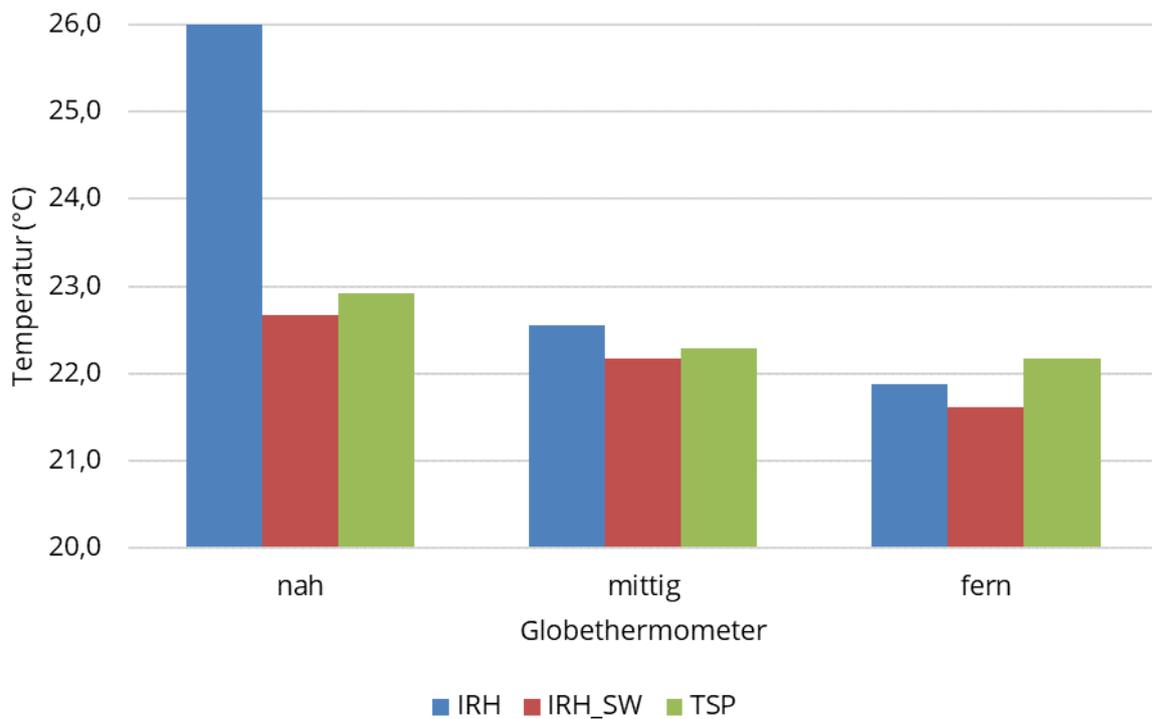


Abbildung 19: Globetemperaturen für Messpunkt A17_I21_S23 für IRH, IRH_SW und TSP

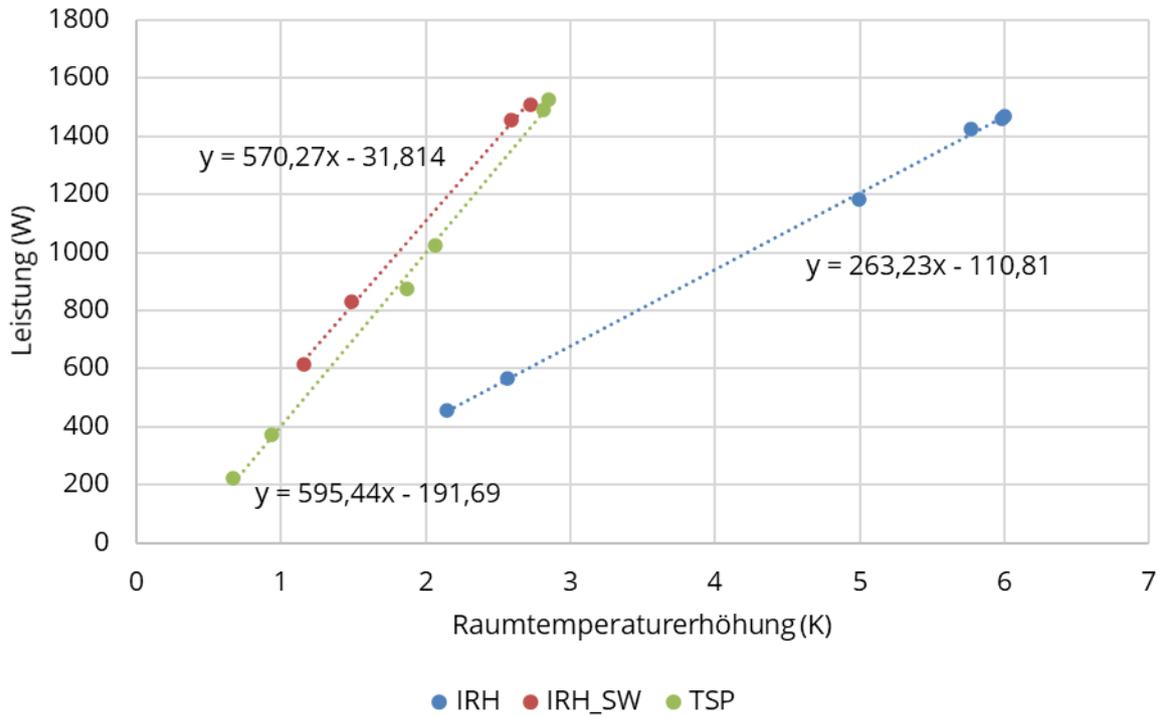


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen Leistung und Raumtemperaturerhöhung im Bereich *nah*

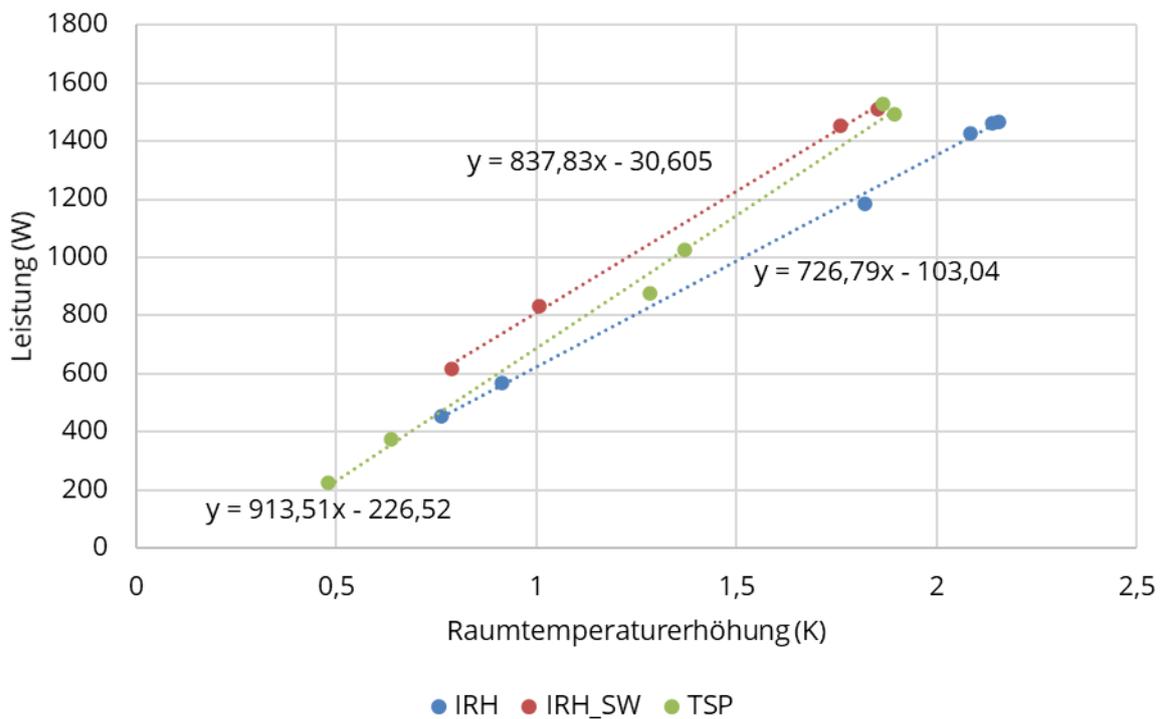


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Leistung und Raumtemperaturerhöhung im Bereich *mittig*

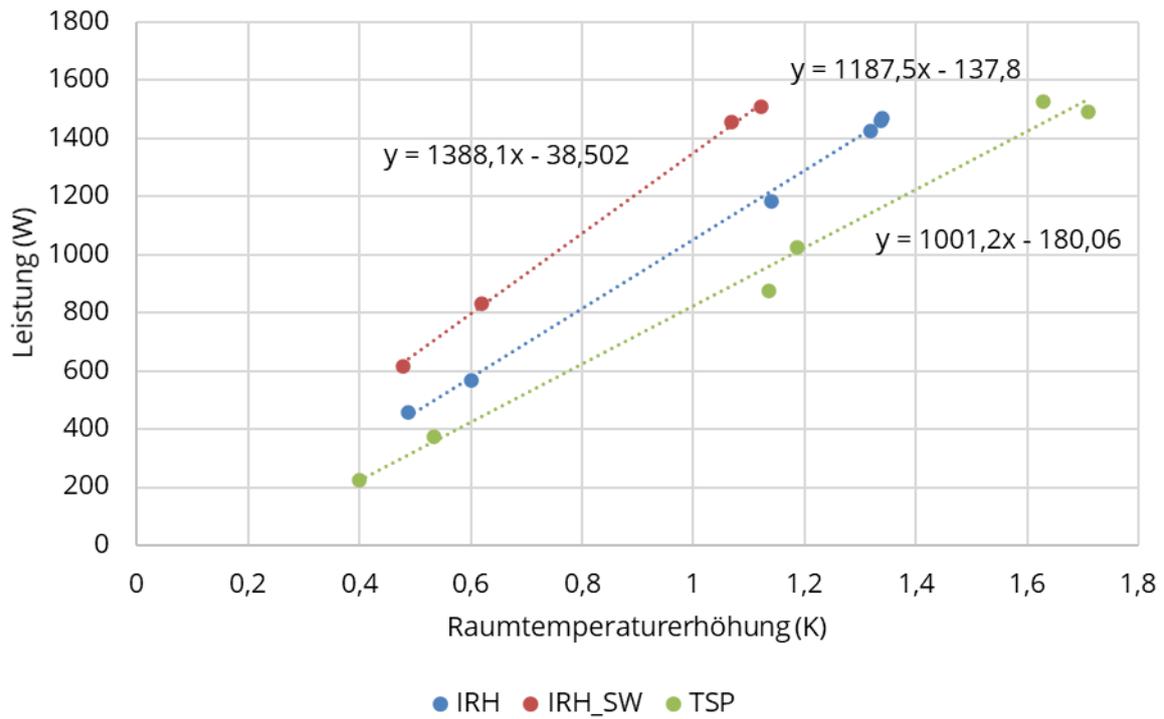


Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Leistung und Raumtemperaturerhöhung im Bereich *fern*