

Potentialbewertung von Infrarotheizungen als Spitzenlastabdeckung – Ergebnisse einer Studie der TUD

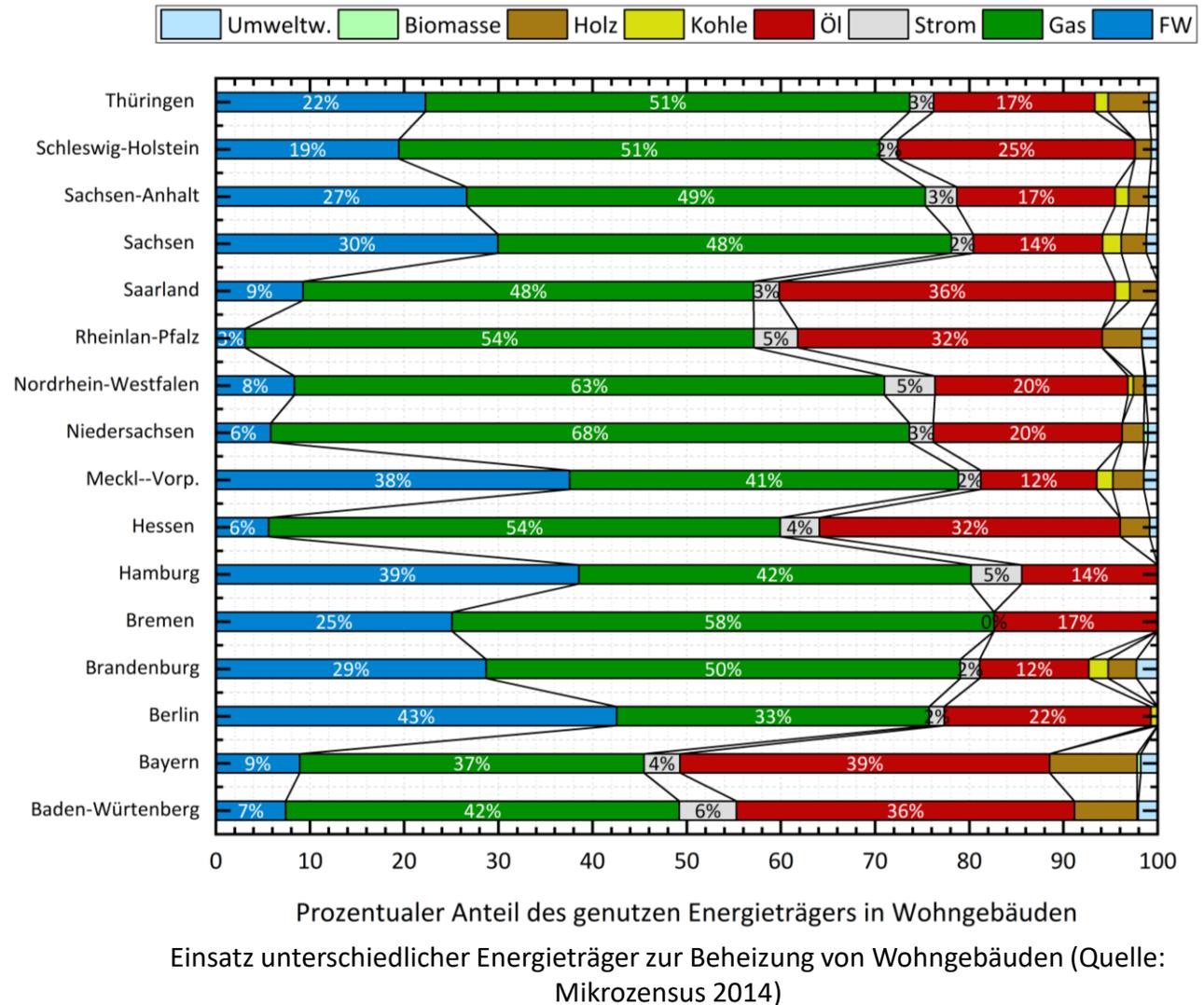
Branchentreff „Die Infrarotheizung im Wohnungsbau“ – 11.05.2023

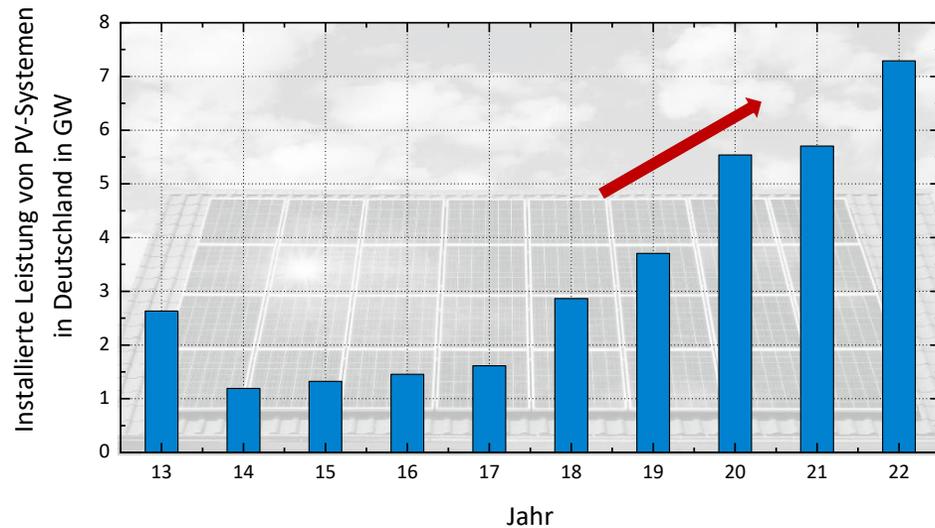
Prof. Dr.-Ing. habil. J. Seifert / Dipl.-Ing. L. Schinke / Dipl.-Ing. A. Meinzenbach / Dr.-Ing. M. Knorr / Dr.-Ing. A. Perschk

- **Gebäudeenergiegesetz** der Bundesregierung / Verabschiedung des Entwurfs im Bundeskabinett am 19.04.2023
- 65% erneuerbarer Anteil bei Neuanlagen verpflichtend
- Öl- und Gasheizungen sollen durch CO₂-neutrale Systeme ersetzt werden



de facto wird die WP-Technologie zur Haupttechnologie im Gebäudebereich





Aktuell installierte Photovoltaik-Leistung:

67,4 GW_p Ende 2022

Ausbauziel EEG 2023:

215 GW_p bis 2030

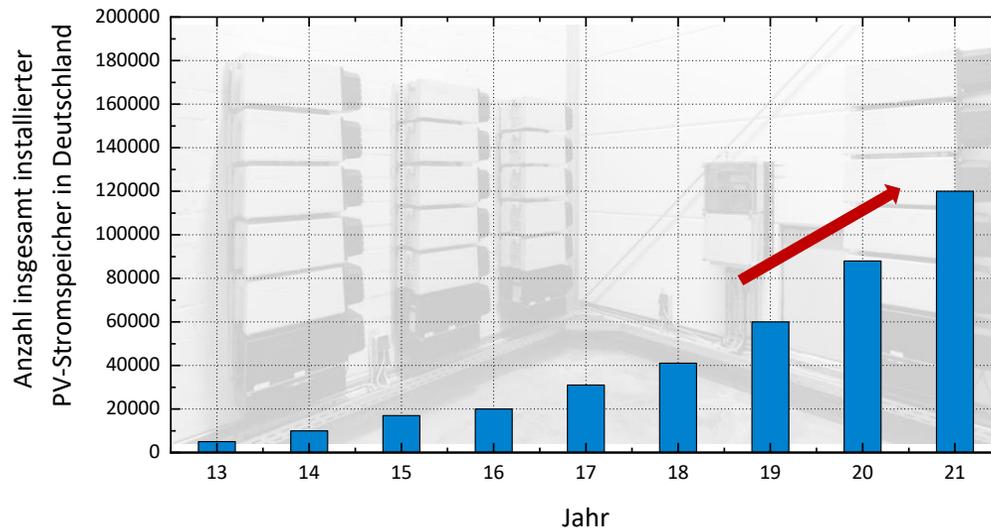
98% aller Photovoltaik-Anlagen sind im **Niederspannungsnetz** angeschlossen

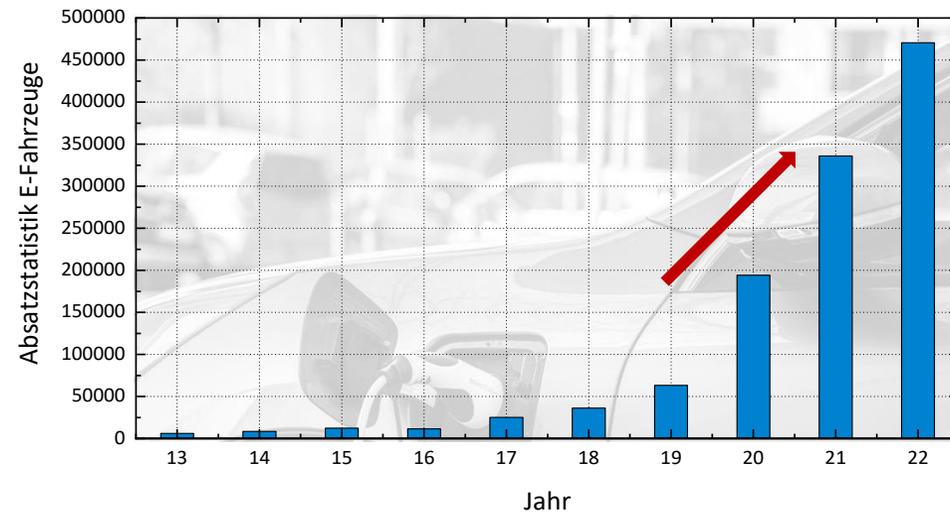
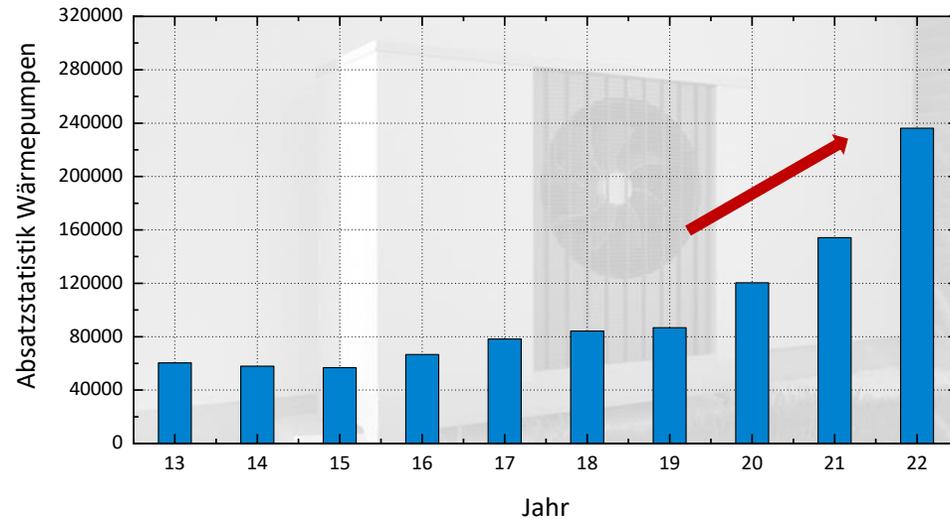
Quelle: Fraunhofer ISE, Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Februar 2020 / Statista 2022

PV-Batteriespeicher:

PV-Batteriespeicher-Leistung: 2,5 GW Ende 2021
entspricht ca. der Leistung von zwei AKWs

PV-Batteriespeicher-Kapazität: 4,4 GWh
entspricht ca. der Speicherkapazität des PSW Markersbach
(Pos. 3 in Deutschland: 1,05GW/4,02GWh)





Wärmepumpen:

Aktuelle Anzahl von Heizungs-Wärmepumpen:

ca. 1,75 Mio. Ende 2022

Ausbauziel:

ca. 6 Mio. bis 2030

Jährlicher Zubau:

500.000 ab 2024

Quelle: BDH

E-Fahrzeuge:

zugel. Elektrofahrzeuge:

1.013.000 April 2023

Ziel E-Fahrzeugbestand:

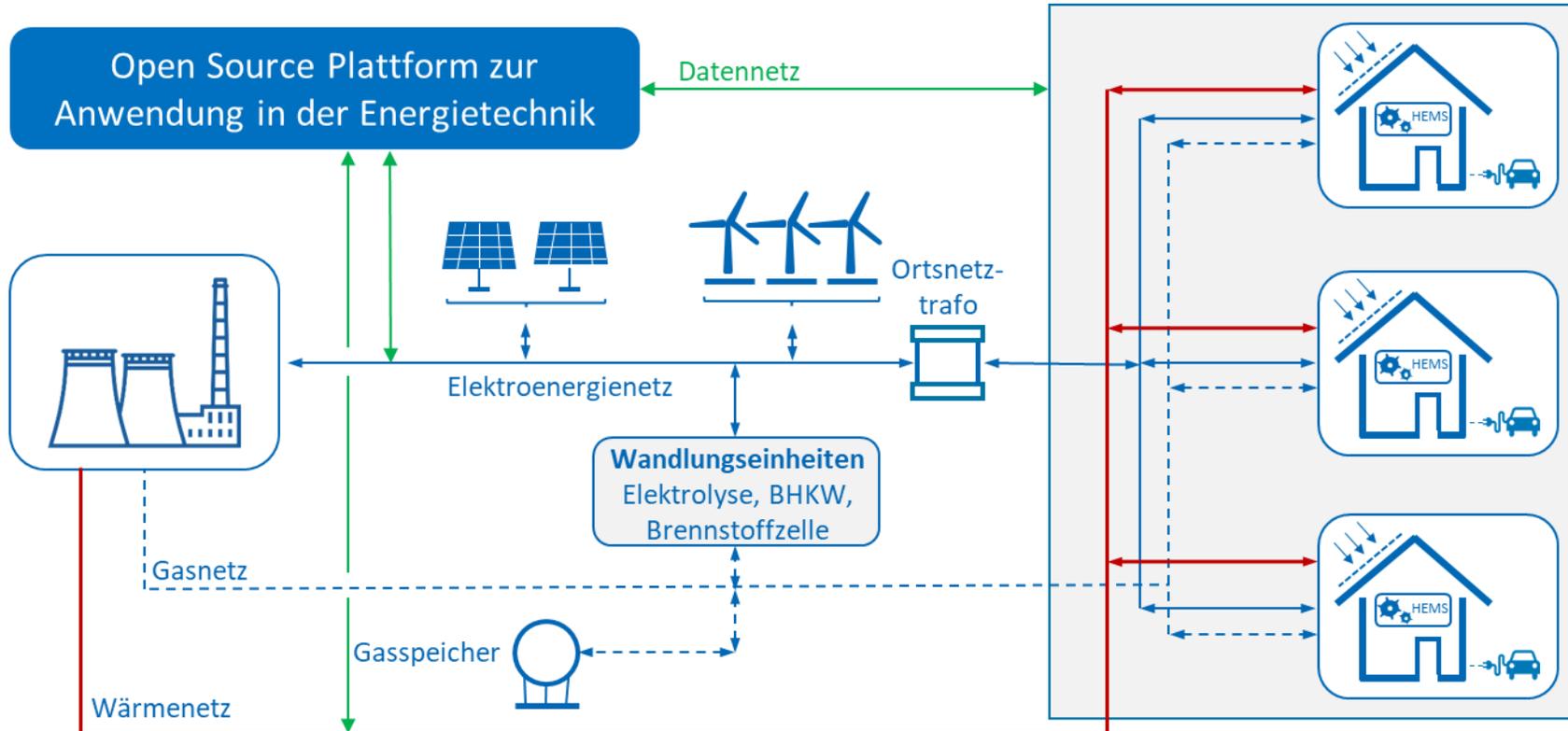
7-10 Mio. bis 2030

Ladepunkte:

1 Mio. bis 2030

Quelle: KBA

Energie-, Mobilitäts- und Wärmewende findet zu großen Teilen in Niederspannungsnetzen statt



Zellulares Energiesystem – schematische Darstellung

- Lokale Nutzung von Elektroenergie wird zunehmend an Bedeutung gewinnen
- Kombination von Wärmepumpe + Infrarotheizung ist eine Option



Studie der TU Dresden

Studie:

„Potentialbewertung von Infrarotheizungen als Spitzenlastabdeckung“

- Analyse der technischen Randbedingungen
- Modellerstellung
- Variationsrechnungen zu unterschiedlichen Betriebsweisen / Nutzerverhalten
- Auswertung zu energetischen Kennwerten / thermische Behaglichkeit
- **jedoch keine Analysen zur Wirtschaftlichkeit**



Fakultät Maschinenwesen Institut für Energietechnik
Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Potentialbewertung von Infrarotheizungen als Spitzenlast-
abdeckung

- Abschlussbericht -

Auftraggeber: IG Infrarot Deutschland e.V.
Alpengartenweg 2
87459 Pfronten

Auftragnehmer: Technische Universität Dresden
Institut für Energietechnik
01062 Dresden

Autoren: Dr.-Ing. M. Knorr / Dipl.-Ing. A. Meizenbach / Dipl.-Ing. L. Schinke
Prof. Dr.-Ing. habil. J. Seifert / Dr.-Ing. A. Perschke

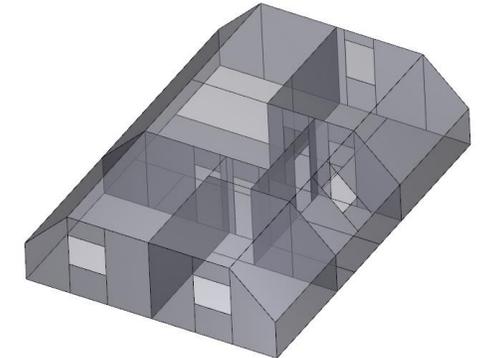
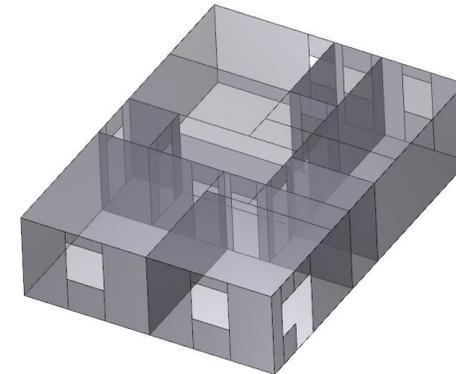
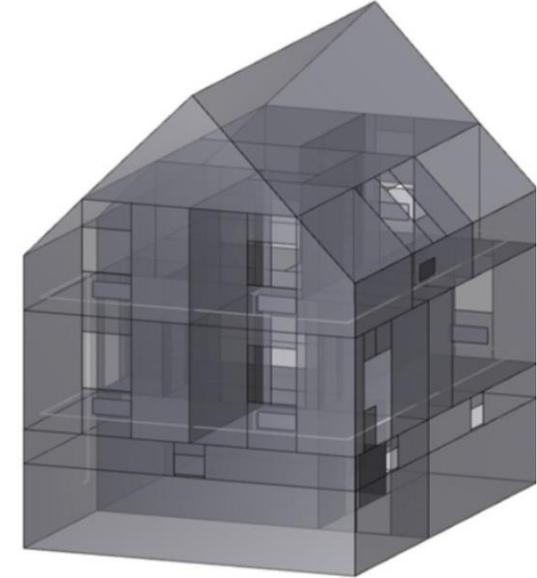
Dresden, 17. April 2023

1. Auswahl Modellgebäude:

- Einfamilienhaus (Modellgebäude aus statistischen Daten)
- Modellgebäude ist anpassbar an unterschiedliche Wärmeschutzniveaus (WSVO77 / 82 / 95 / EnEV / GEG ...)
- Nutzung 4 - Personen Haushalt

Kenngrößen des Einfamilienhauses innerhalb der Studie

Bezeichnung	Heizlast in kW	Spezifische Heizlast* in W/m ²
WSVO 95	9,2	57,20
*bezogen auf die beheizte Nutzfläche des EFH von A=160 m ²		



Statistisches Einfamilienhaus für die Analysen
(Gesamtansicht / Erdgeschoss (l) / Dachgeschoss (r))

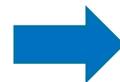
2. Technisches System:

- Zweirohrsystem als hydraulisches Verteilsystem
- Dimensionierung des Verteil- und Übergabesystems mit einem Temperaturniveau von $\vartheta_V=70^\circ\text{C}$ / $\vartheta_R=55^\circ\text{C}$ / $\vartheta_i=20^\circ\text{C}$ (15% überdimensioniert)
- Innerhalb der Studie wird davon ausgegangen, dass beim Tausch von NT- auf ein WP-Gerät lediglich der Wärmeerzeuger (+ 200 l Speicher) ausgetauscht wird → Heizungs- und Übergabesystem wird nicht verändert
- Vorlauftemperatur wird mit folgender Gleichung abgebildet:

$$\vartheta_V = S \cdot \left(\varphi^{\frac{1}{1+m}} \cdot \Delta\vartheta_{m,N} + 0,5 \cdot \Delta\vartheta_N + \vartheta_i \right) + \Delta\vartheta$$

- Temperaturniveau von $\vartheta_V = 40^\circ\text{C}$ / $\vartheta_R = 30^\circ\text{C}$ / $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$

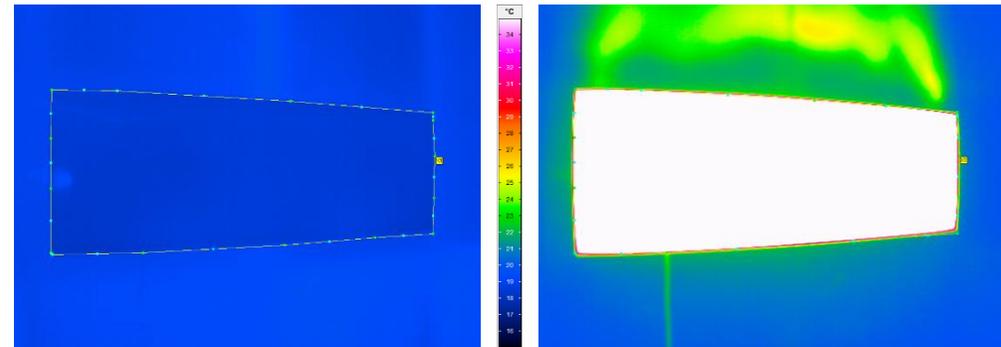
fehlende Heizleistung wird durch IR-Heizung kompensiert



Spitzenlastkompensation

2. Technisches System (Infrarotheizung):

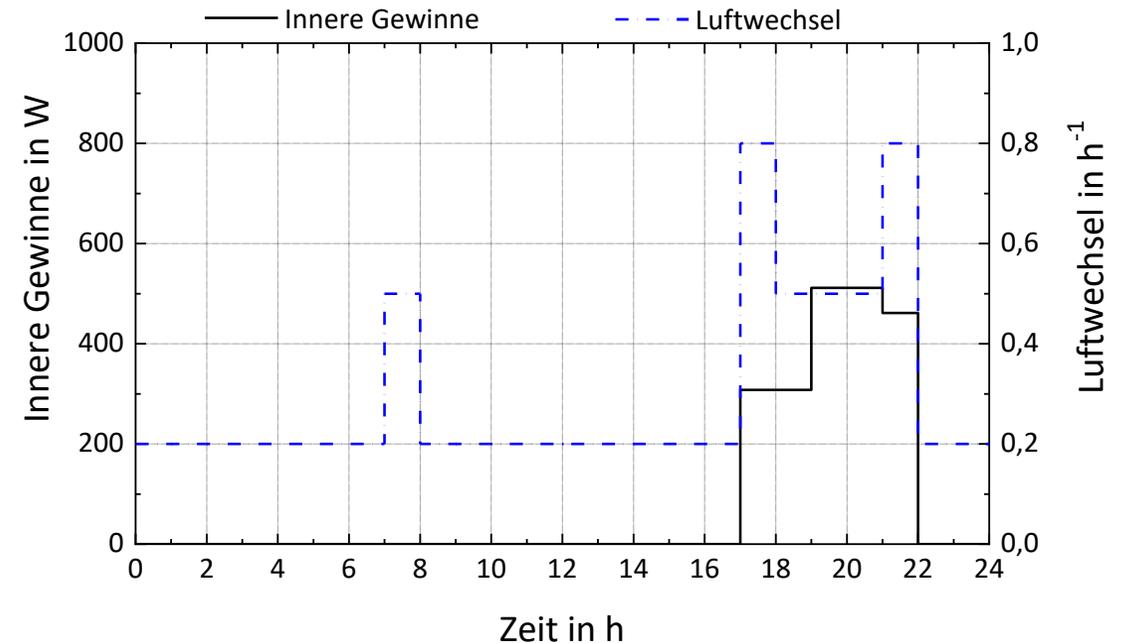
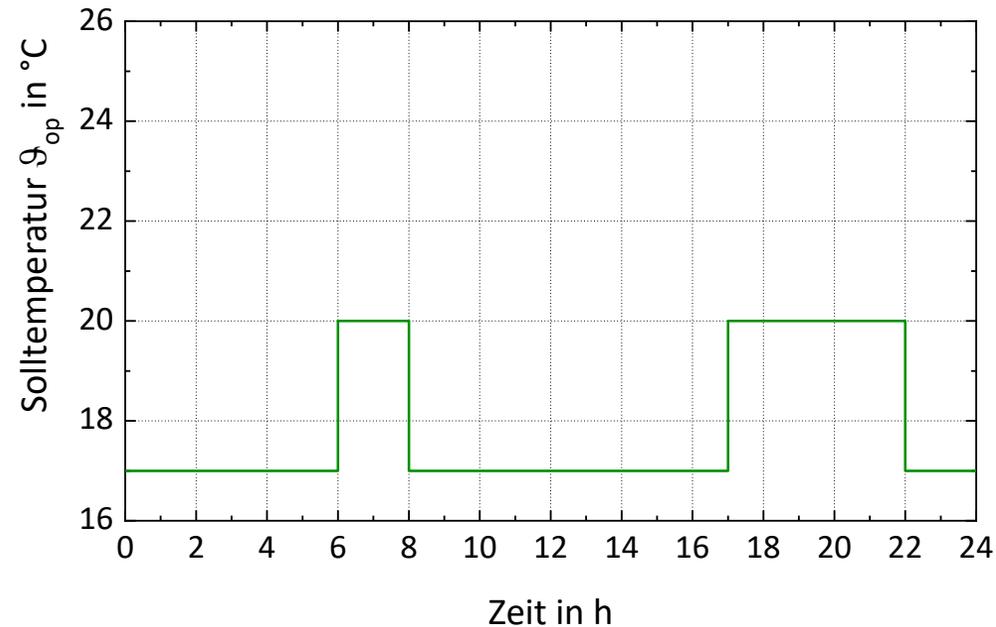
- keine lokale Positionierung der IR-Heizung da sonst eine konkrete Raumsituation mit Möbeln nachgestellt werden muss
- Strahlungswirkungsgrad der IR-Heizung 50%
- dynamisches Verhalten der IR-Heizung mittels PT1-Verhalten (Kapazität findet Berücksichtigung)
- Leistung der IR-Heizung entspricht Normheizlast nach EN 12831



Reale Orientierungssituationen von IR-Heizungen
(Analysen im Combined Energy Lab der TU Dresden)

2. Nutzerverhalten / Randbedingungen:

- Einfamilienhaus (4 Personenhaushalt)
- Zeitabhängige Profile für die inneren Wärmegewinne / Lüftungsverhalten (raumscharf)
- keine Differenzierung zwischen Wochen – und Wochenendbetrieb



Sollwerte der operativen Raumtemperatur / Innere Gewinne / Luftwechsel

Variantenmatrix / Auswertung

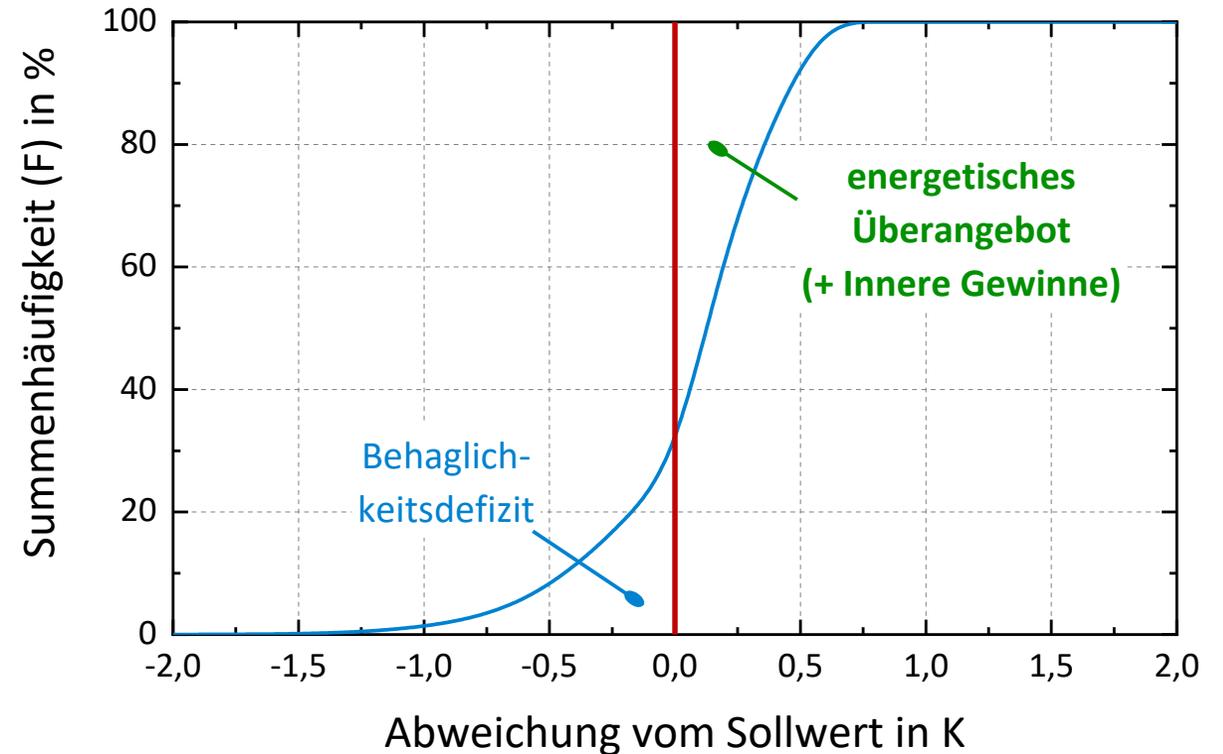
Wärme- erzeuger	Wärme- übergabe	Heizkurve (ϑ_V/ϑ_R)	Heizgrenz- temp.	Nachtab- schaltung	örtliche Regeleinrichtung	
					HK	IRH
NT-Kessel System	Freie Heizflächen	70/55°C (Anhz. 3 h)	15°C	ohne NA	Ja	-
		70/55°C (durchgehend)	15°C	ohne NA	Ja	-
	Freie Heizfläche + IR	40/30°C	15 °C	ohne NA	Nein	Ja
		40/30°C	15°C	mit NA	Nein	Ja
		40/30°C	15°C	mit NA $f(\vartheta_a)$	Nein	Ja
		40/30°C	10°C	ohne NA	Nein	Ja
		40/30°C	10°C	mit NA	Nein	Ja
		40/30°C	10°C	mit NA $f(\vartheta_a)$	Nein	Ja
WP-System	Freie Heizflächen	70/55°C (Anhz. 3 h)	15°C	ohne NA	Ja	-
	Freie Heizfläche + IR	40/30°C	15 °C	ohne NA	Nein	Ja
		40/30°C	15°C	mit NA	Nein	Ja
		40/30°C	15°C	mit NA $f(\vartheta_a)$	Nein	Ja
		40/30°C	10°C	ohne NA	Nein	Ja
		40/30°C	10°C	mit NA	Nein	Ja
		40/30°C	10°C	mit NA $f(\vartheta_a)$	Nein	ja

Variantenmatrix / Auswertung

- Auswertung der Nutzenergie (raumseitig) - Q_{nutz}
- aufzuwendende Gesamtenergie Q_{end}
- Anteil der IR-Heizung am Gesamtaufwand
- operative Raumtemperatur (ϑ_{op}) als Summenhäufigkeit (in der Nutzungszeit)

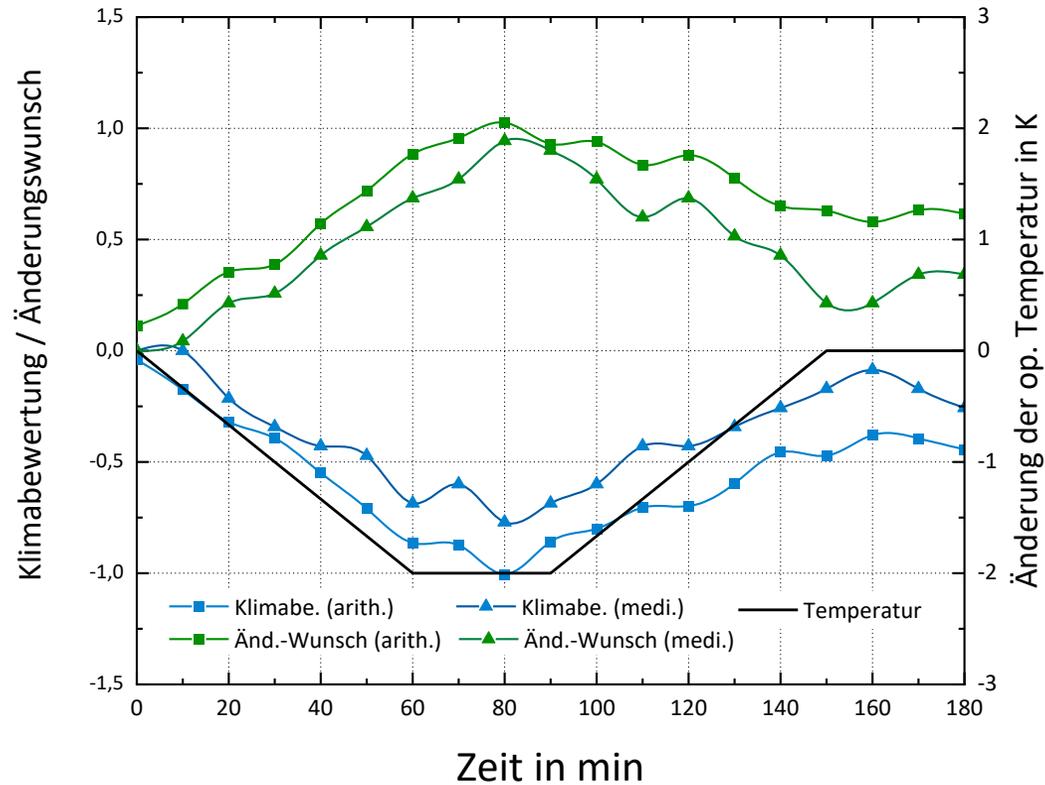
$$F(\vartheta_{\text{op}}) = \frac{\int_{-\infty}^{\vartheta_{\text{op}}} f(\vartheta_{\text{op}}) d\vartheta_{\text{op}}}{\int_{-\infty}^{+\infty} f(\vartheta_{\text{op}}) d\vartheta_{\text{op}}}$$

$$= \frac{\text{Stunde mit Temperatur} \leq \vartheta_{\text{op}}}{\text{Gesamtstunde}}$$

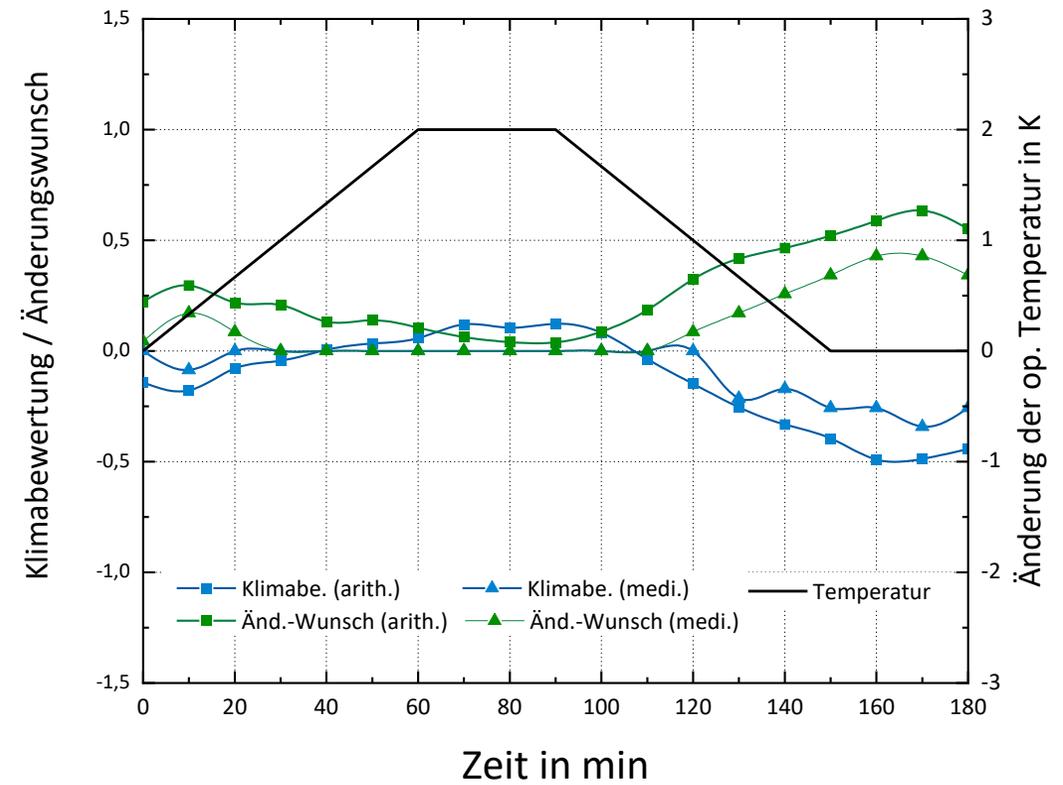


Summenhäufigkeit der operativen Raumtemperatur

Sollwert-Unterschreitungen:



Sollwert-Überschreitungen:

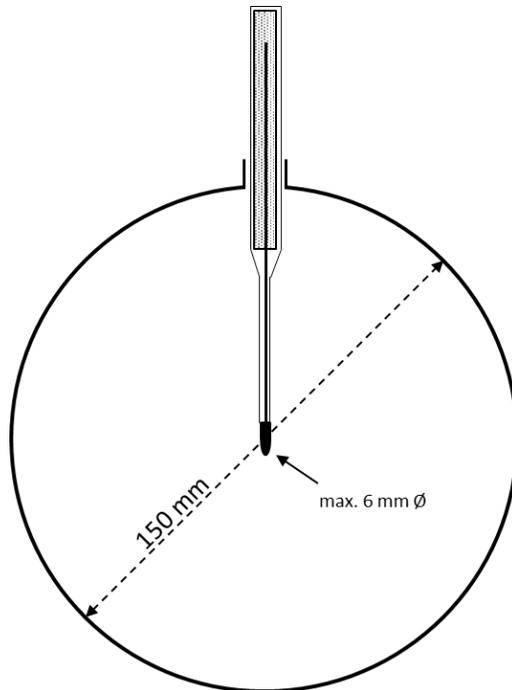


Klimabewertung / Änderungswunsch der momentanen Raumtemperatur als Funktion der Versuchsdauer

Quelle: Instationäre, gekoppelte, energetische und wärmephysiologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK Systeme

Operative Raumtemperatur (Empfindungstemperatur / Indikationsgröße für das Empfinden des Menschen)

$$\vartheta_{op} = a \cdot \vartheta_L + (1 - a) \cdot \vartheta_S$$



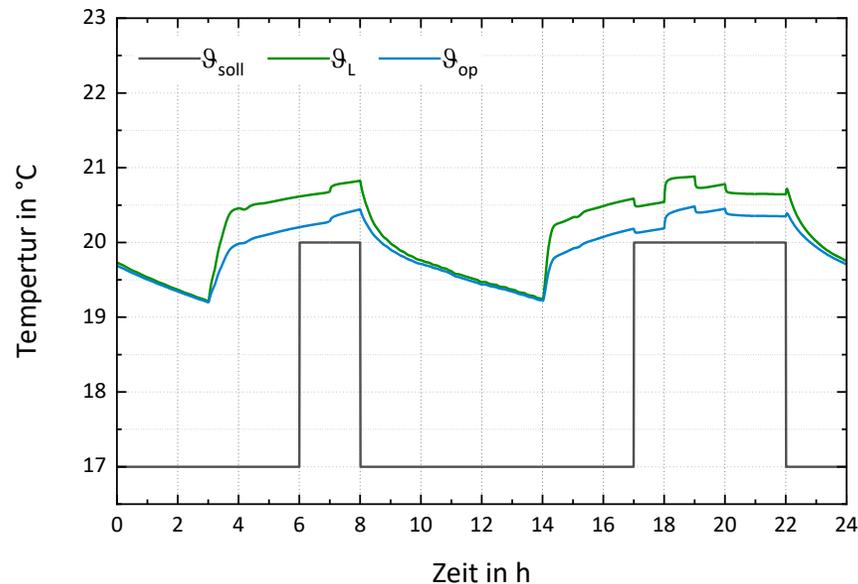
Globe-Thermometer für die Bestimmung der operativen Raumtemperatur

Quelle: Seifert et al.; Grundlagen der Wärmephysiologie, 2018

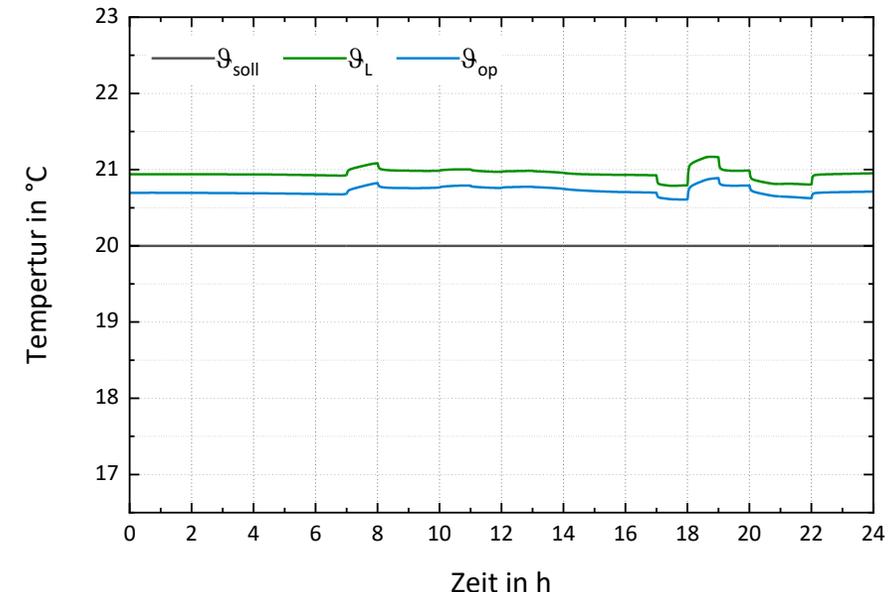
Ergebnisse der Studie

Ergebnisse NT-System (Basisvariante)

Wärme- erzeuger	Wärme- übergabe	Heizkurve (ϑ_V/ϑ_R)	Heizgrenz- temp.	Nacht- abschaltung	Energiekennwerte	
					$Q_{\text{Nutz, FH}}$ kWh	Q_{end} kWh
NT-System	Freie Heizflächen	70/55°C (Anhz. 3 h)	15°C	ohne NA	14608	15152
		70/55°C (durchgehend)	15°C	ohne NA	17633	18231



Temperaturen in der Zone 2 – NT-System (intermittierender Betrieb;
 $\vartheta_V/\vartheta_R=70/55^\circ\text{C}$)



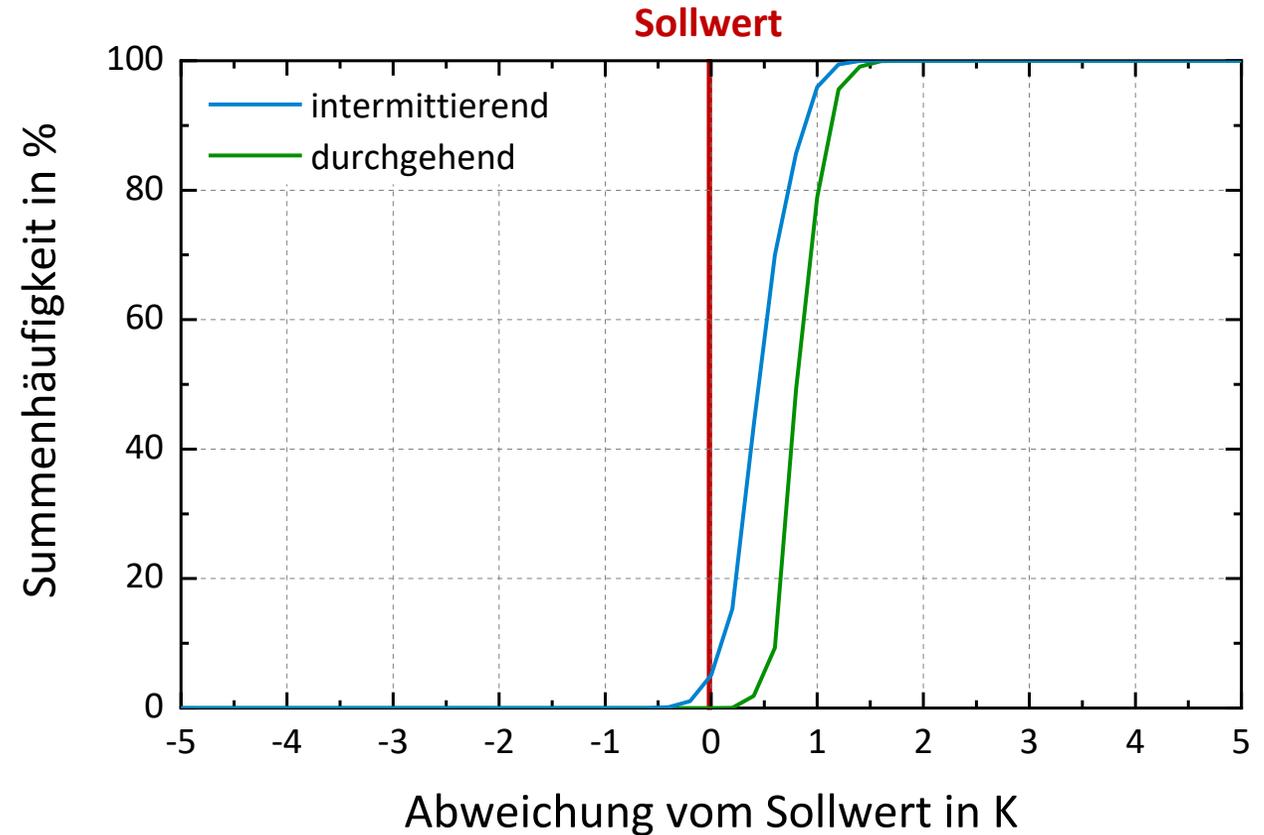
Temperaturen in der Zone 2 – NT-System (durchgehender Betrieb;
 $\vartheta_V/\vartheta_R=70/55^\circ\text{C}$)

- Qualitätskriterium – Summenhäufigkeit der operativen Raumtemperatur (Nutzungszeit)
- vergleichbare operative Raumtemperaturen in der Nutzungszeit
- keine Sollwertunterschreitungen



Idee:

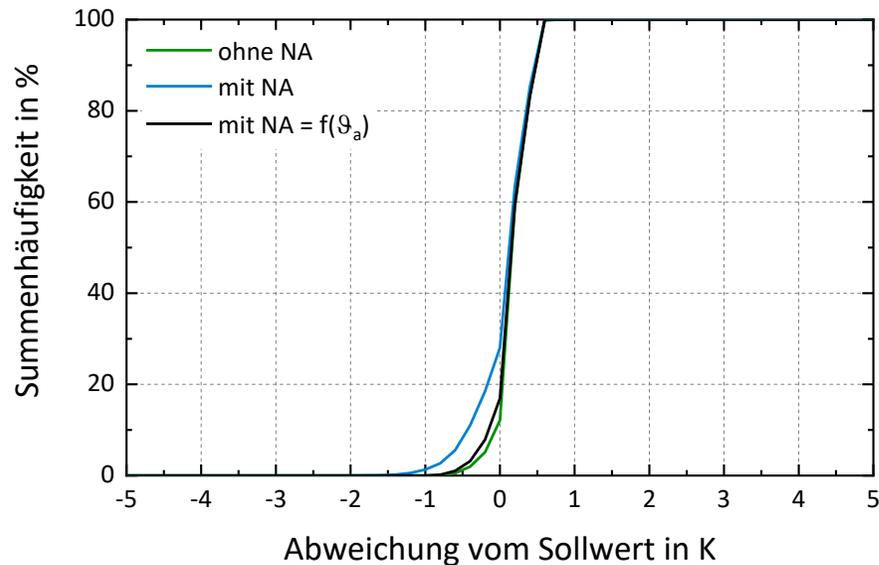
Grundheizung durch das hydraulische System + Spitzenlastabdeckung durch die IR Heizung



Summenhäufigkeit der operativen Raumtemperatur (Nutzungszeit) in der Zone 2 – NT-System
(intermittierender / durchgehender Betrieb; $\vartheta_v / \vartheta_r = 70/55^\circ\text{C}$; HG $\vartheta_a = 15^\circ\text{C}$)

Ergebnisse NT-System (+ IR Heizung / 15°C- Heizgrenze)

Wärme- erzeuger	Wärme- übergabe	Heizkurve (ϑ_V/ϑ_R)	Heizgrenz- temp.	Nachtab- schaltung	$Q_{\text{Nutz,FH}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,IRH}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,ges}}$ kWh	$Q_{\text{F,FH}}$ kWh	$Q_{\text{End (FH+IR)}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,IRH}} / Q_{\text{Nutz,ges}}$
NT-System	Freie Heizflächen + IR	40/30°C	15°C	ohne NA	10959	3892	14851	11351	15243	26,2 %
				mit	8840	5043	13883	9162	14205	26,3 %
				$f(\vartheta_a)$	10082	4416	14498	10442	14858	30,5 %



raumseitig
versorgungsseitig

- mit Nachtabsenkung leichte Sollwertunterschreitungen im Raum
- Nachtabsenkung als Funktion der Außentemperatur zu bevorzugen

ϑ_{op} der Zone 2 für verschiedene Betriebsweisen

Ergebnisse NT-System (+ IR Heizung / 10°C- Heizgrenze)

Wärme- erzeuger	Wärme- übergabe	Heizkurve (ϑ_V/ϑ_R)	Heizgrenz- temp.	Nachtab- schaltung	$Q_{\text{Nutz,FH}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,IRH}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,ges}}$ kWh	$Q_{\text{F,FH}}$ kWh	$Q_{\text{End (FH+IR)}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,IRH}} /$ $Q_{\text{Nutz,ges}}$
NT-System	Freie Heizflächen + IR	40/30°C	10°C	ohne NA	10649	4075	14724	11030	15105	27,7 %
				mit	8552	5219	13771	8868	14087	37,9 %
				f(ϑ_a)	9796	4591	14387	10150	14741	31,9 %



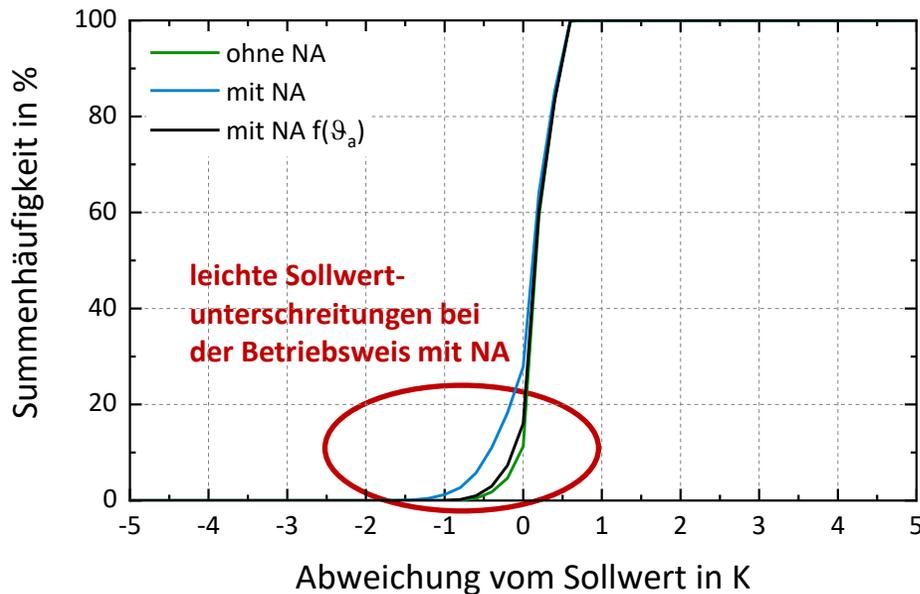
- durch Absenkung der Heizgrenztemperatur lässt sich der Anteil der IR-Heizung an der Gesamtversorgung steigern
- Ergebnisse zeigen, dass es für das Untersuchungsgebäude nur kleine Steigerungen bei gleicher thermischer Behaglichkeit gibt



Austausch des Wärmeerzeugers (NT-System durch Wärmepumpe - LWWP) bei unverändertem hydraulischen System

Ergebnisse WP-System (LWWP / 15°C- Heizgrenze)

Wärme- erzeuger	Wärme- übergabe	Heizkurve (ϑ_V/ϑ_R)	Heizgrenz- temp.	Nachab- schaltung	$Q_{\text{Nutz,FH}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,IRH}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,ges}}$ kWh	$Q_{\text{End (FH+IR)}}$ kWh	$Q_{\text{Nutz,IRH}} / Q_{\text{Nutz,ges}}$
WP-System	Freie Heizflächen + IR	40/30°C	15°C	ohne NA	11039	3812	14851	6733	25,7 %
				mit	8796	5045	13841	7335	36,4 %
				$f(\vartheta_a)$	10129	4358	14487	7084	30,1 %



- bei stärkerer intermittierender Betriebsweise steigt der Anteil der durch die IR-Heizung gedeckten Wärme an
- Sollwertunterschreitungen beachten, wenn keine Anheizzeit berücksichtigt wird

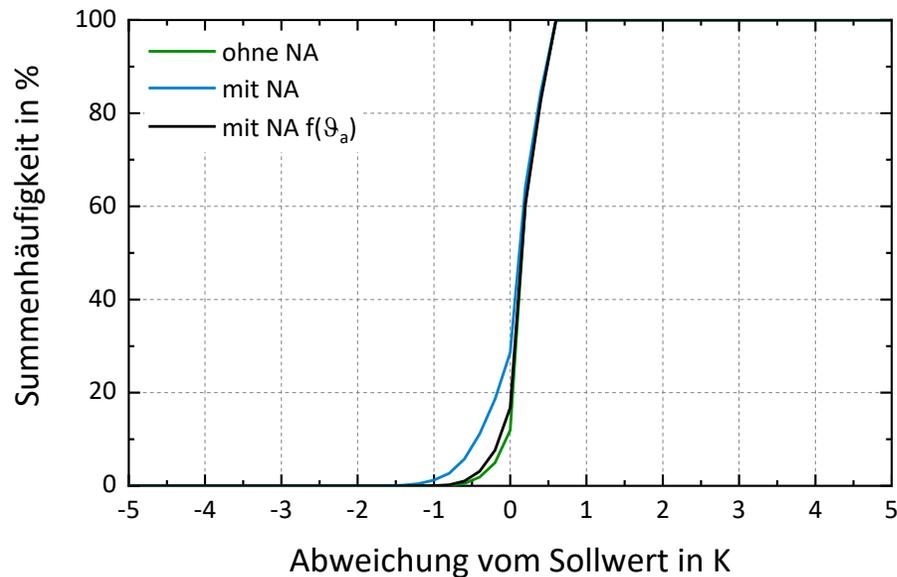
ϑ_{op} der Zone 2 für
verschiedene Betriebsweisen

Ergebnisse WP-System (LWWP / 10°C- Heizgrenze)

Wärme- erzeuger	Wärme- übergabe	Heizkurve (ϑ_V/ϑ_R)	Heizgrenz- temp.	Nachtab- schaltung	$Q_{\text{Nutz,FH}}$	$Q_{\text{Nutz,IRH}}$	$Q_{\text{Nutz,ges}}$	$Q_{\text{End (FH+IR)}}$	$Q_{\text{End (FH+IR)}}$
					kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
WP-System	Freie Heizflächen + IR	40/30°C	10°C	ohne NA	10727	3997	14724	6876	6733
				mit	8504	5223	13727	7474	7335
				$f(\vartheta_a)$	9839	4534	14373	7221	7084

HG $\vartheta_a=15^\circ\text{C}$

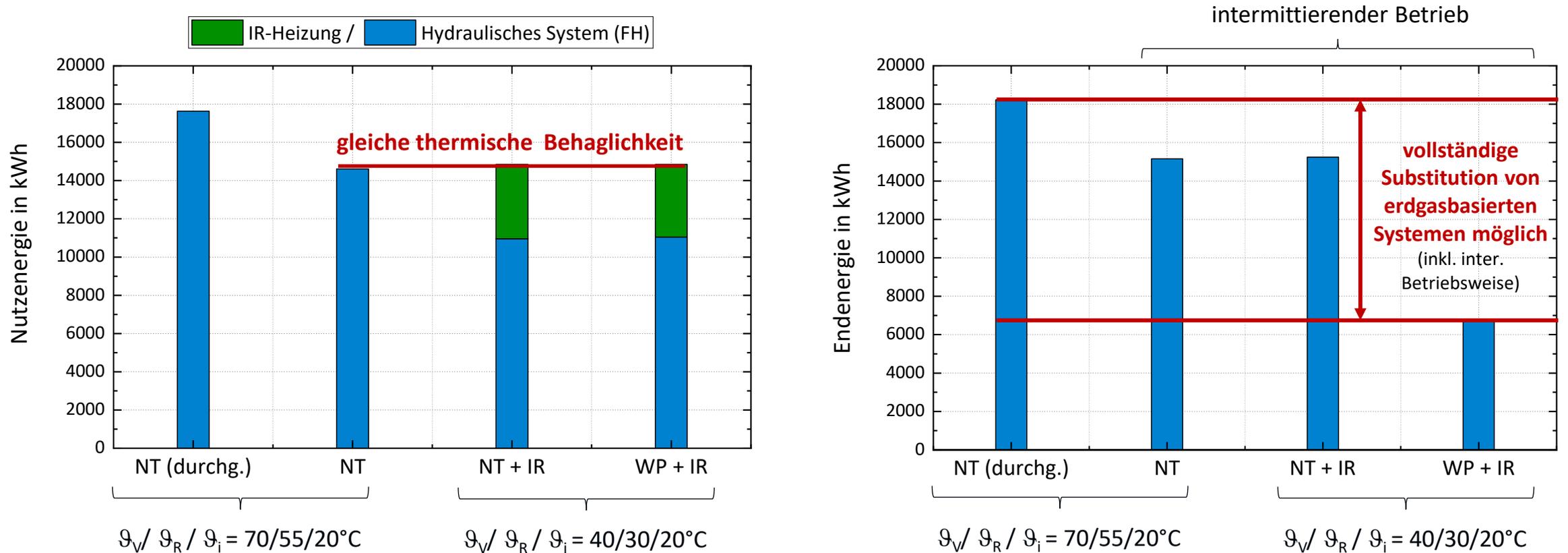
raumseitig
versorgungsseitig
(nur Elektroenergie)



- höhere energetische Aufwendungen bei Betriebsweisen ohne Nachtabsenkung für WP-Systeme
- Absenkung der Heizgrenztemperatur bei WP-Systemen **nicht zielführend**

ϑ_{op} der Zone 2 für
verschiedene Betriebsweisen

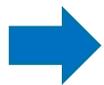
Gesamtvergleich (NT-System (Basis) zu WP-System + IR Heizung – $\vartheta_a=15^\circ\text{C}$ - Heizgrenze)



Nutzenergie und Endenergiebedarf für unterschiedliche Systemkombinationen HG - $\vartheta_a=15^\circ\text{C}$

Fazit der Studie

- grundlegende Nutzbarkeit der IR-Heizung nachgewiesen (Spitzenlastkompensation)
- IR-Heizung – Wärmepumpe ist technisch möglich (ohne Anpassung des Wärmeübergabesystems)
- Energieeinsparung hängt vom Grad der intermittierenden Betriebsweise ab
 - IR-Heizung zum starken intermittierenden Betrieb geeignet
 - nahezu keine Anheizzeiten notwendig
 - bei WP-Systemen möglichst lange Laufzeit der WP (**Optimierung Heizgrenztemperatur**)



Wirtschaftlichkeit (Betriebskosten) ist stark vom Verhältnis fossiler Energiepreis / Preis für die eingesetzte Elektroenergie abhängig

Potentialbewertung von Infrarotheizungen als Spitzenlastabdeckung – Ergebnisse einer Studie der TUD

Branchentreff „Die Infrarotheizung im Wohnungsbau“ – 11.05.2023

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Seifert / Dipl.-Ing. L. Schinke / Dipl.-Ing. A. Meinzenbach / Dr.-Ing. M. Knorr / Dr.-Ing. A. Perschk