

# KLIMAFREUNDLICHE WÄRMEPUMPEN FÜR DEN SANIERTEN GEBÄUDEBESTAND

Ergebnisse des Projektes NK4HTWP



Thore Oltersdorf<sup>1</sup>, Clemens Dankwerth<sup>1</sup>, Torsten Will<sup>1</sup>,  
Urs Gumbel<sup>1</sup>, Christoph Thoma<sup>1</sup>, Ivan Malenkovic<sup>1</sup>,  
Nikolas Schröder<sup>2</sup>, Christian Penner<sup>2</sup>, Judith Möller<sup>2</sup>,  
Johannes Brugmann<sup>2</sup>

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

DKV-Tagung Dresden, 19.11.2021

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

<sup>1</sup> Fraunhofer ISE

<sup>2</sup> Stiebel Eltron

# Agenda

---

- Motivation zum Projekt *Neue Kältemittel für Hochtemperaturwärmepumpen* (NK4HTWP)
- LCCP-Analyse
- Wichtige Ergebnisse
  - Schallemissionen
  - Anlageneffizienz (nach DIN EN 14511 bzw. 16147)
  - Einordnung
- Ausblick auf Feldversuchsergebnisse

# Motivation: Nachhaltige/normgerechte Wärmever-sorgung auch in Mehrfamilienhäusern

## ■ Projektziele

- Schwerpunkt ist die Warmwasserbereitung (WW) für MFH mit minimaler WW-Temperatur von 60°C an Zapfstellen (Großanlage)
- Niedrige Schallemissionen für bessere Eignung in dichter Bebauung
- Hohe Effizienz
- Hohe Robustheit
- Kältemittel mit niedrigem GWP (R455A oder R454C)



In rot: im Vortrag berücksichtigte Themen

# LCCP-Analyse

## Modellbeschreibung

Modell:

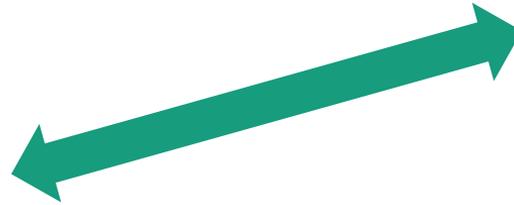

LCCP	=	Indirekte Emissionen			+	Direkte Emissionen
Indirekte Emissionen	=	Emission für Betrieb der Anlage	+	Emission durch Bau der Wärmepumpe	+	Emission für Materialrecycling
		$L \cdot AEC \cdot EM$		$\sum(MM \cdot m)$		$\sum(RM \cdot mr)$
		Emission zur Produktion des eingesetzten KM (inkl. Befüllung infolge KM-Verlust)			+	Emission zur Beseitigung des wiedergewonnenen KM
		$C \cdot (1 + L \cdot ALR) \cdot RFM$				$C \cdot (1 - EOL) \cdot RFD$
Direkte Emissionen	=	Emission des KM durch Leckage über die Lebensdauer und beim Rückbau			+	Emission des abgebauten KM in der Atmosphäre
		$C \cdot (L \cdot ALR + EOL) \cdot GWP$				$C \cdot (L \cdot ALR + EOL) \cdot ADP \cdot GWP$

Quelle: IIR-LCCP Guidelines

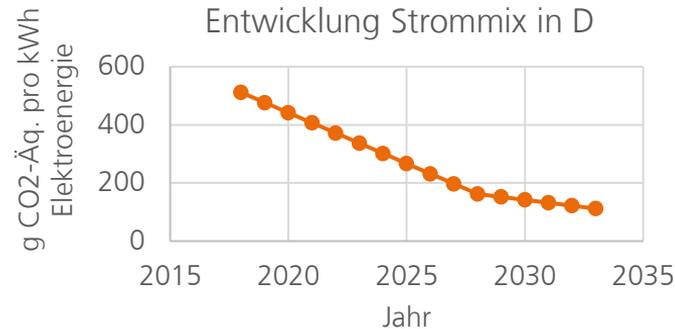
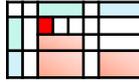
# LCCP-Analyse

## Gewählte Parameter

- L: Lebensdauer: 15 Jahre (G+W gleich)
- AEC: Jährlicher Energiebedarf: Ansatz aus BWP-Broschüre
  - Produkt aus jährlicher Betriebsdauer (1850h) und Anlagenleistung (30kW) zur Bestimmung einer Last
  - Anlageneffizienz: G: 92%, W: JAZ: 3
- EM: Emissionen durch Strommix, G: 204 g CO<sub>2</sub>-Äq. pro kWh<sub>th</sub>



Modell:

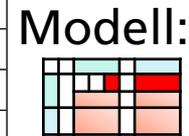


# LCCP-Analyse

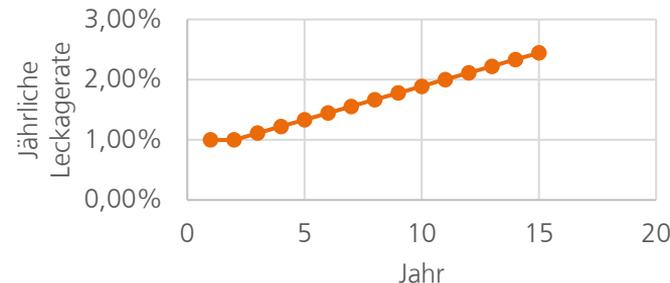
## Gewählte Parameter

- MM: Aufwand zur Materialherstellung/Fertigung
- m: Anlagenmasse: W: 600kg, G: 50kg
  - Stahl, Aluminium, Kupfer, Kunststoff in den Anteilen: 46%, 12%, 19% und 23%
- RM: Aufwand Recyclingmenge: 0,07 kg CO<sub>2</sub> pro kg
- mr: Menge recycle-fähigen Materials: ca. 95%
- C: Füllmenge W: 13 kg
- ALR: Leckagerate: W: 1% pro Jahr plus 0,1% ab 3. Jahr

GWP / CO <sub>2</sub> -Emission Produktion Kältemittel		
R410A	2088 / 173	kg CO <sub>2</sub> / kg
R32	675 / 190	kg CO <sub>2</sub> / kg
R454C	148 / 89,4	kg CO <sub>2</sub> / kg
R290	4 / 30	kg CO <sub>2</sub> / kg
CO <sub>2</sub> -Emission Produktion/Recycling		
Stahl	4,885 / 0,07	kg CO <sub>2</sub> / kg
Aluminium	17,678 / 0,07	kg CO <sub>2</sub> / kg
Kupfer	8,173 / 0,07	kg CO <sub>2</sub> / kg
Kunststoff	4,565 / 0,01	kg CO <sub>2</sub> / kg
Jahresarbeitszahl		
R410A	3,0	-
R32		-
R454C		-
R290		-



Entwicklung der Leckagerate



# LCCP-Analyse

## Gewählte Parameter

- RFM: Aufwand zur Kältemittelproduktion: Annahme R1234yf: 62 kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro kg Kältemittel
- EOL: Leckagen am Lebensende: VDKF-Daten geben 7% Verluste an bei der Verschrottung
- RFD: Emissionen durch die Kältemittelbeseitigung: 0, da Wiederverwertung (Aufwand zur Aufbereitung vernachlässigt)
- GWP: Treibhauspotenzial: GWP100 Werte (W)
- ADP GWP: Treibhauspotenzial von Abbauprodukten (W)
- JAZ bzw. G: Wirkungsgrad: 92%

GWP / CO <sub>2</sub> -Emission Produktion Kältemittel		
R410A	2088 / 173	kg CO <sub>2</sub> / kg
R32	675 / 190	kg CO <sub>2</sub> / kg
R454C	148 / 89,4	kg CO <sub>2</sub> / kg
R290	4 / 30	kg CO <sub>2</sub> / kg
CO <sub>2</sub> -Emission Produktion/Recycling		
Stahl	4,885 / 0,07	kg CO <sub>2</sub> / kg
Aluminium	17,678 / 0,07	kg CO <sub>2</sub> / kg
Kupfer	8,173 / 0,07	kg CO <sub>2</sub> / kg
Kunststoff	4,565 / 0,01	kg CO <sub>2</sub> / kg
Jahresarbeitszahl		
R410A	3,0	-
R32		-
R454C		-
R290		-

Modell:



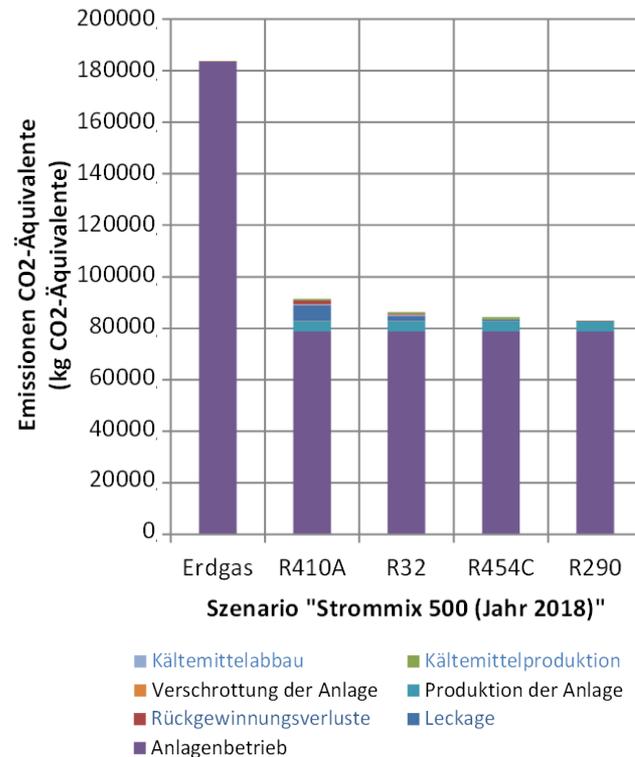
KM	R410A	R32	R454C	R290
GWP <sub>100</sub>	2088	675	148	4
ADP GWP	R32: COF2 ca. 200, R125: CF3 und COF2, höher als bei R32 <sup>1</sup>	COF2, ca. 200 bei R32	COF2 (R32), CF3COOH (R1234yf): >0	3,3

<sup>1</sup> Bedingt durch die Lebensdauer erreicht R125 höheren Anteil in Stratosphäre, wo COF2 als Treibhausgas wirken kann.

# LCCP-Analyse

## Ergebnisse

- Emissionen durch Wärmepumpen ca. 50% geringer als Emissionen eines Gasbrennwertkessels bei einer JAZ von 3 (vereinfachte Berechnung für alle Kältemittel gleich)
- Signifikante Unterschiede bei Kältemittelwahl feststellbar,
  - sobald Strommix emissionsärmer
  - bei differenzierterer Anwendung von Anlageneffizienzen (siehe z.B. Datenbasis zertifizierter HP-Keymark auf [Folie 14](#))

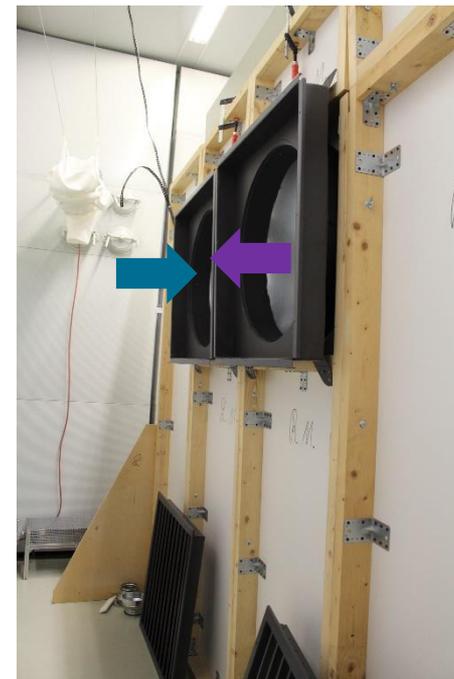
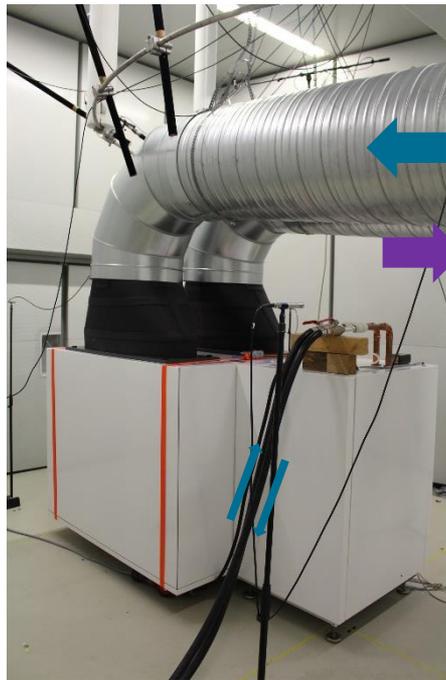
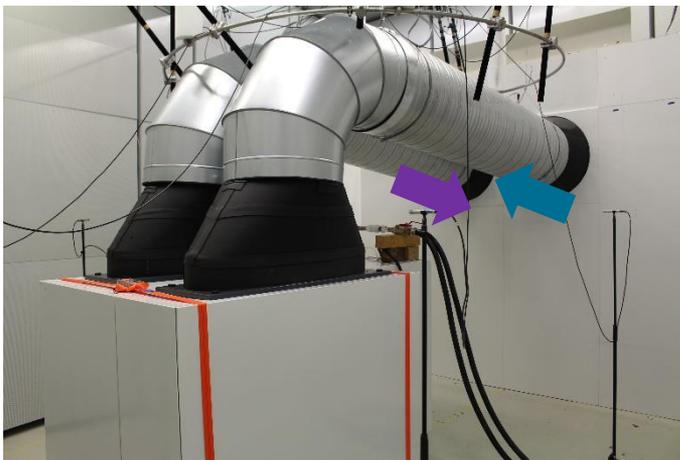


Blaue Textfarbe: direkte Emissionen / Schwarze Textfarbe: Indirekte Emissionen

# Wichtige Ergebnisse

## Schallbewertung nach EN 12102

- Messaufbau mit schallharten Kanälen nach EN 12102
  - Luftein- und austritt  
  - Heizkreisein- und austritt 



# Wichtige Ergebnisse

## Schallbewertung nach EN 12102

- Geräteschall
  - Max. Geräteschall beträgt 65,7 dB(A)
  - FlowGrid erzeugt je nach Betriebspunkt eine Schallreduktion von 1-2 dB(A)
  - Nachteil: zusätzlicher Zuschlag in der Tonalität im Max. Betriebspunkt

Betriebspunkt	Verdichter [Hz]	Lüfter [%]	Flow Grid	Tonalität [dB]	Schallleistungspegel [dB(A)]
Ablüfter (Gehäuse)	0	0	Nein	0	41,5
<b>EN 12102</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>Nein</b>	<b>3</b>	<b>52,3</b>
EN 12102	30	40	Ja	3	51,6
<b>Max.</b>	<b>120</b>	<b>75</b>	<b>Nein</b>	<b>3</b>	<b>65,7</b>
Max.	120	75	Ja	6	63,9

# Wichtige Ergebnisse

## Schallbewertung nach EN 12102

- Luftschall (Ein- und Austritt)
  - Schallemissionen des Luftschalls werden im Feld gegenüber dem Normaufbau durch den verwendeten Luftschlauch gedämpft
  - **10 dB(A) Reduzierung sind je nach Aufstellung realistisch**
  - FlowGrid erzeugt eine Schallreduktion von ca. 2 dB(A)

Betriebspunkt	Verdichter [Hz]	Lüfter [%]	Flow Grid	Tonalität [dB]	Schallleistungspegel [dB(A)]
Ablüfter (Gehäuse)	0	0	Nein	0	47,9
EN 12102	30	40	Nein	0	58,2
EN 12102	30	40	Ja	0	56,2
Max.	120	75	Nein	0	72,1
Max.	120	75	Ja	0	71,2

# Wichtige Ergebnisse

## Anlageneffizienz nach EN 14511

Art der Nennbedingung	Außenwärmeübertrager		Innenwärmeübertrager		Prüfergebnisse	
	Trockenkugeltemperatur am Eintritt [°C]	Feuchtkugeltemperatur am Eintritt [°C]	Wassertemperatur am Eintritt [°C]	Wassertemperatur am Austritt [°C]	Heizleistung [kW]	COP [-]
N (A7/W55)	7,01	5,96	47,01	54,99	11,04	3,28
B <sup>i</sup> (A2/W55)	1,99	1,04	42,94	53,92	14,65	2,83
B <sup>i</sup> (A-7/W55)	-7,04	-7,91	33,58	52,93	26,17	2,13

N: Nennbedingung  
 B: Betriebsbedingung  
 i: instationäre Betriebsbedingungen

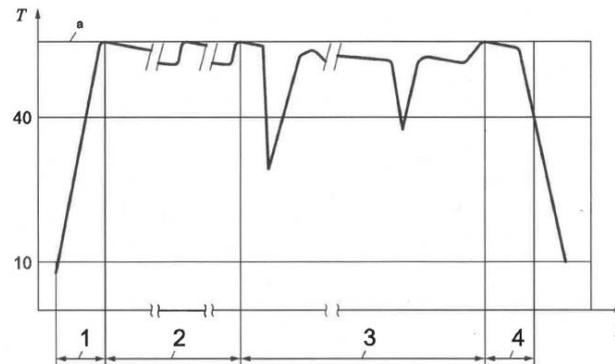
Parameter	A7/W55	A-7/W55	A2/W55
Drehzahl Verdichter	28	120	48
Luftvolumenstrom [m³/h]	Unbek.	5250	3810
Massenstrom Heizkreis	1190	1320	1345

# Wichtige Ergebnisse

## Anlageneffizienz nach EN 16147

- Anforderung für Großanlagen: ...Warmwasseraustritt am Trinkwassererwärmer stets  $>60^{\circ}\text{C}$ ...

Ergebnis	Einheit	Wert
Lastprofil	-	3XL
Reglereinstellung	$^{\circ}\text{C}$	60
Aufheizzeit	hh:mm	04:24
Energieverbrauch für Aufheizung	kWh	19,36
Stand-by Leistungsaufnahme	kW	0,19
Gesamtnutzenergie während Zapfung	kWh	45,79
Gesamtleistungsaufnahme während Zapfung	kWh	17,12
Tasgesstromverbrauch	kWh	17,48
Leistungskennzahl	-	2,68
Effizienz der Wasseraufwärmung	%	1,07
Jahresstromverbrauch	kWh/a	3838



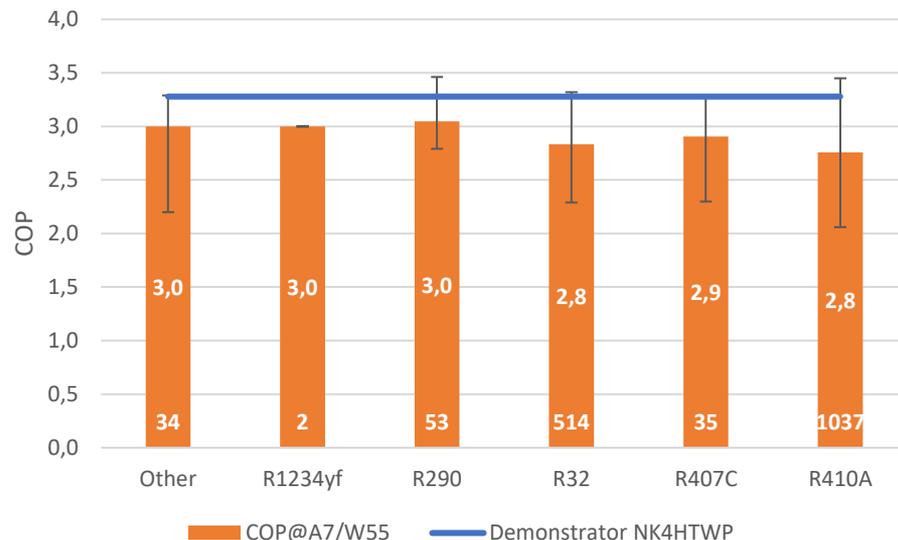
Key

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1 [Stage C] Filling and heating up period (see 7.7)  | $T$ temperature           |
| 2 [Stage D] Standby power input (see 7.8)  | $t$ time                  |
| 3 [Stage E] Water draw-offs (see 7.9)  | $a$ set point temperature |
| 4 [Stage F] Mixed water at $40^{\circ}\text{C}$ and reference hot water temperature (see 7.10) |                           |

# Voraussichtlicher Nutzen

## Vergleich HP-Keymark Datenbank mit Demonstrator

- Auswertung der EN 14511 Daten aller in der HP-Keymark-Datenbank gelisteten Wärmepumpen (Stand 28.06.2021)
- Nur für COP@MT möglich (MT: medium temperature oder A7/W55)
- Ausgewertet wurden Anlagen des Typs *Outdoor Air/Water*
- Angaben in Zahlenwerten: kältemittelspezifische **COP-Mittelwerte** (Balkenmitte) und **Anzahl der Anlagen** in HP-Keymark Datenbank (Balkenende)
- Variation: Streubreite von Einzelanlagen pro KM
- Bezogen auf derzeit angebotenen Bestand an Anlagen, liegt ist Demonstrator überdurchschnittlich



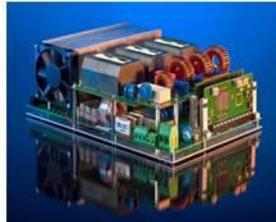
# Zusammenfassung und Ausblick

## Ergebnisse sowie Feldversuch

- Vollständige WP-Demonstratorentwicklung inkl. aller Entwicklungsschritte
- Schallemissionen akzeptabel, Anlage nach Norm lauter als real
- Gute Effizienz im Vergleich zu marktverfügbaren WPs (HP-Keymark)
- DVGW W 551 Kriterium für Großanlagen erfüllt
- LCCP-Analyse: hohe Emission durch den Strommix dominieren
- Feldversuch
  - Start vermutlich ab Januar 2022
  - Energetisches Monitoring im Feld in Hamburg (wie bisherige ISE-Monitoring Projekte)
  - Akustik-Monitoring (siehe auch Vortrag B. Nienborg)
  - Dauerhafte Ölfüllstandsüberwachung mit Bildauswertung



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Bei inhaltlichen Fragen zu diesem nicht-interaktiven Vortragsvideo gerne jederzeit Kontakt aufnehmen!**



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Thore Oltersdorf

[thore.oldersdorf@ise.fraunhofer.de](mailto:thore.oldersdorf@ise.fraunhofer.de)



Supported by:



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy

on the basis of a decision  
by the German Bundestag