Fraunhofer ISE

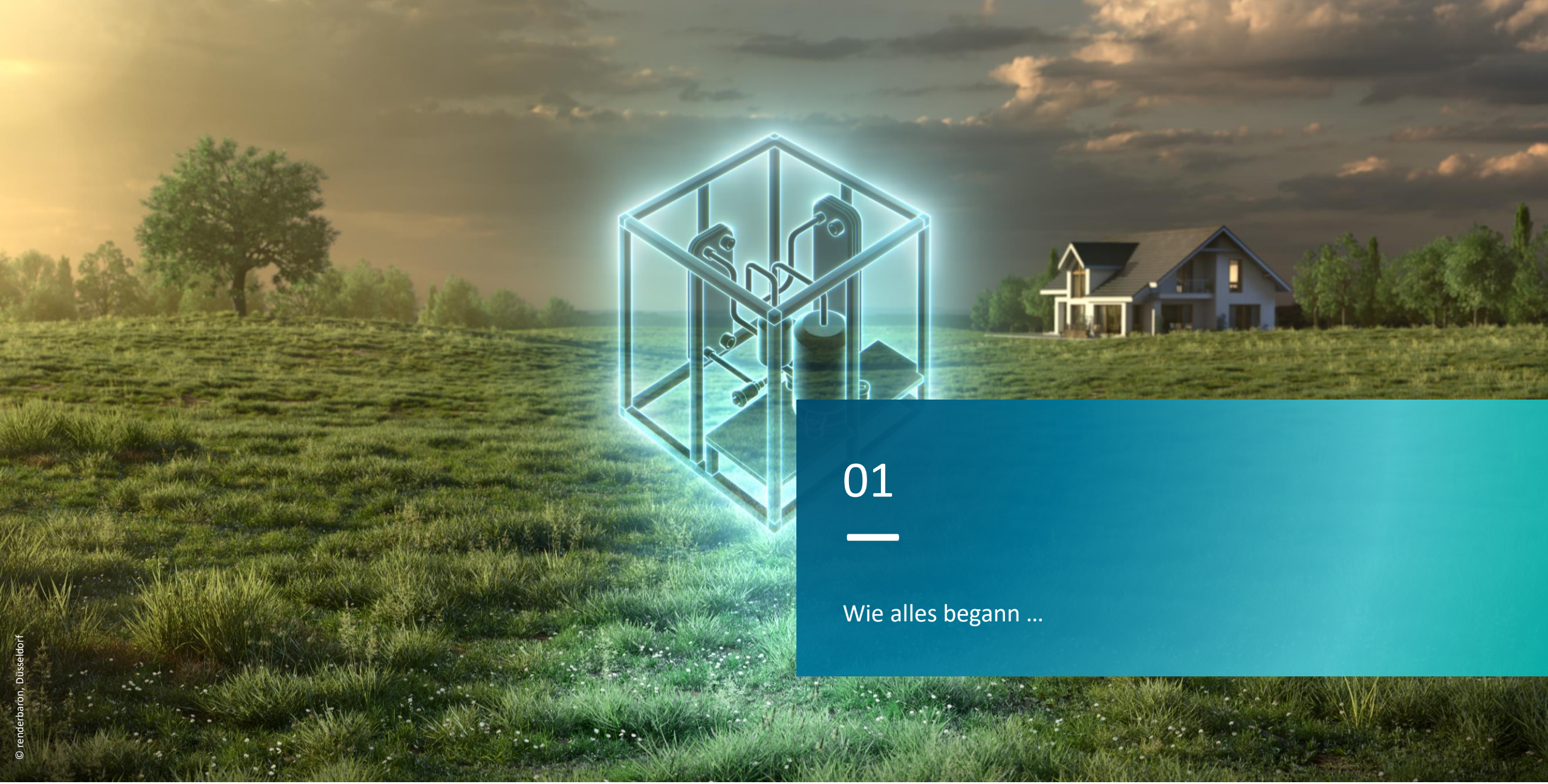
Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

-> LC150 - **L**ow **C**harge **150**g <-

Clemens Dankwerth, Timo Methler, Theresa Paul, Katharina Morawietz, Lena Schnabel

DKV Jahrestagung Magdeburg, IV.14
18. November 2022

© renderbaron, Düsseldorf



© renderbaron, Düsseldorf

01

Wie alles begann …

FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein

LC 150 LOW CHARGE HP

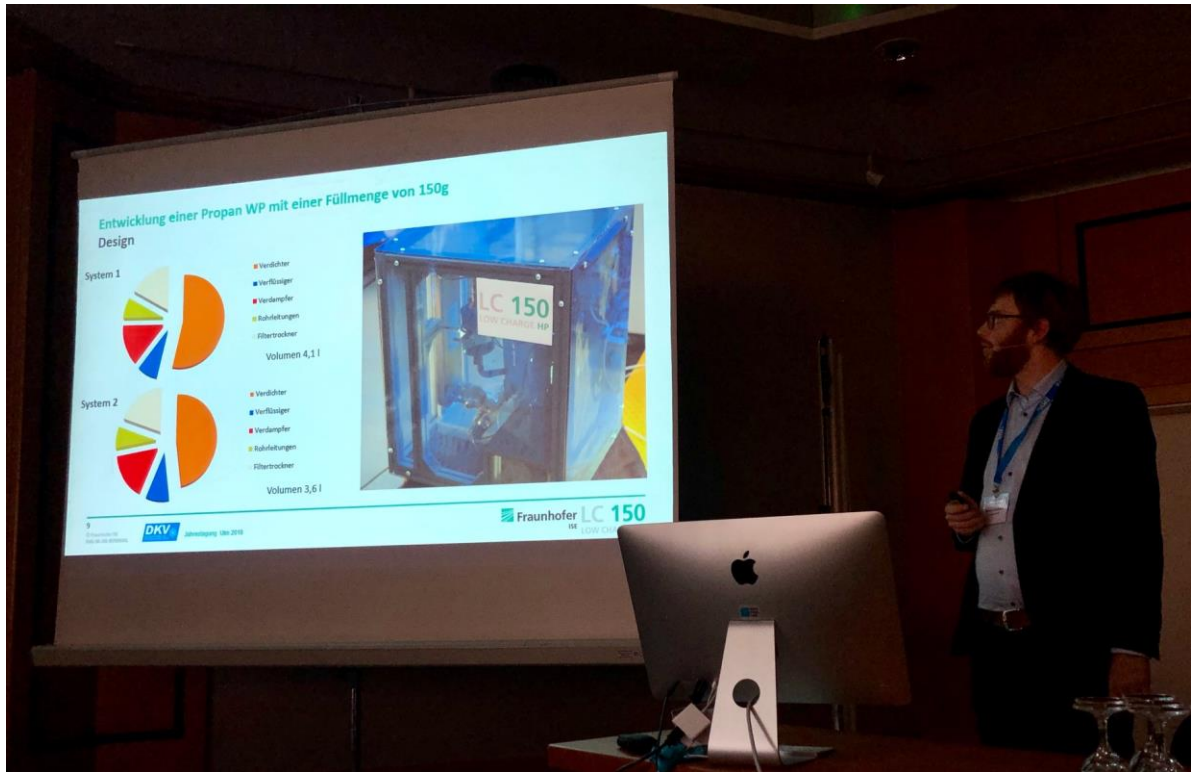
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A

Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Wie alles begann

- 2019
  - Entwicklung der ersten Idee für füllmengenreduzierten R290 Wärmepumpen
  - Aufbau der ersten beiden Prüflinge
  - Vortrag auf der DKV Jahrestagung in Ulm
- 2020
  - Beantragung des geförderten Projektes LC150
  - Start im Oktober mit 2 Wärmepumpen-Herstellern
- 2020-2023
  - Durchführung des Projektes LC150 mit 9 WP-Herstellern
- 2023
  - Start des Folge-Projektes LCR290
    - **L**ow **C**harge **R290**



 © Fraunhofer ISE

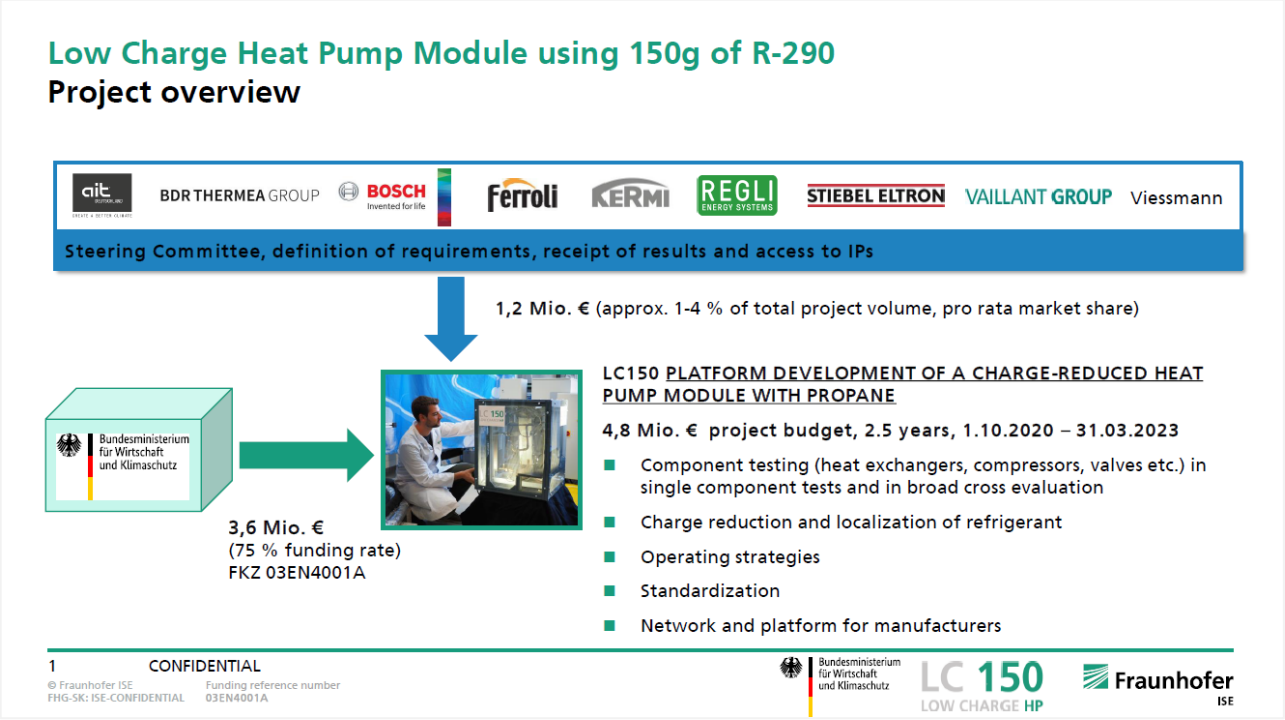
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Wie alles begann

- 2019
  - Entwicklung der ersten Idee für füllmengenreduzierten R290 Wärmepumpen
  - Aufbau der ersten beiden Prüflinge
  - Vortrag auf der DKV Jahrestagung in Ulm
- 2020
  - Beantragung des geförderten Projektes LC150
  - Start im Oktober mit 2 Wärmepumpen-Herstellern
- 2020-2023
  - Durchführung des Projektes **LC150** mit 9 WP-Herstellern
- 2023
  - Start des Folge-Projektes LCR290
    - **L**ow **C**harge **R290**



© renderbaron, Düsseldorf

02

Motivation, Ziele und Methodik

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein

LC 150 LOW CHARGE HP

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderkennzeichen 03EN4001A

Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ziele

- **R290 Kältekreismodul für Wärmepumpen mit 150 g Füllmenge**,
  - Leistungsbereich 6-12 kW,
  - Arbeitstemperaturen 0 °C bis 75 °C
  - SCOPs über den BAFA-Anforderungen
- **Klares Design** als Basis für große Stückzahlen
- Integriertes **Sicherheitskonzept**
- **Flexibel einsetzbar**, auch in der Kältetechnik/ industriellen Anwendungen

 © Fraunhofer ISE

FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Methodik

DESIGN kältemittelreduzierter Kältekreise

- Variation von Kompressoren und Wärmeübertragern

➢ über 20 Kältekreise identifiziert/ aufgebaut

EXPERIMENTELLE CHARAKTERISIERUNG

- Variation der Verdichterdrehzahl, Temperaturen Quelle/ Senke, Überhitzung, Kältemittelfüllmenge

➢ ~ 5d-13d/ Kennfeld

Datenbankbasierte AUSWERTUNG

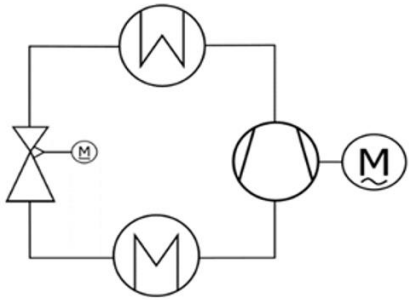
- Darstellung von COP und Heizleistung als Funktion der Füllmenge für Variationen

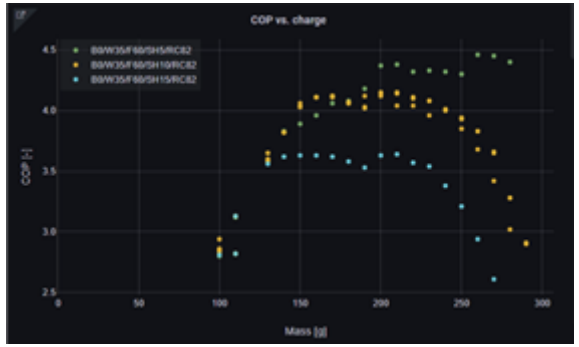
➢ minimal erforderliche Füllmenge, SCOP

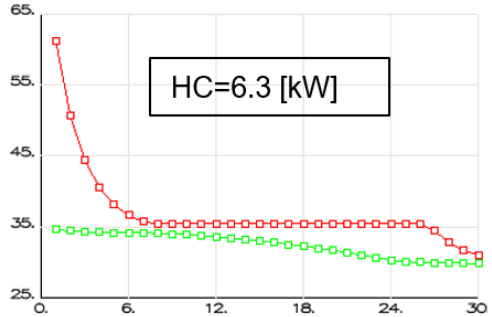
Vertiefte ANALYSE

- Vermessung Einzelkomponenten
- Thermographie
- Vergleich Simulation/ Messung

➢ Verbessertes Auslegungswissen







 © Fraunhofer ISE

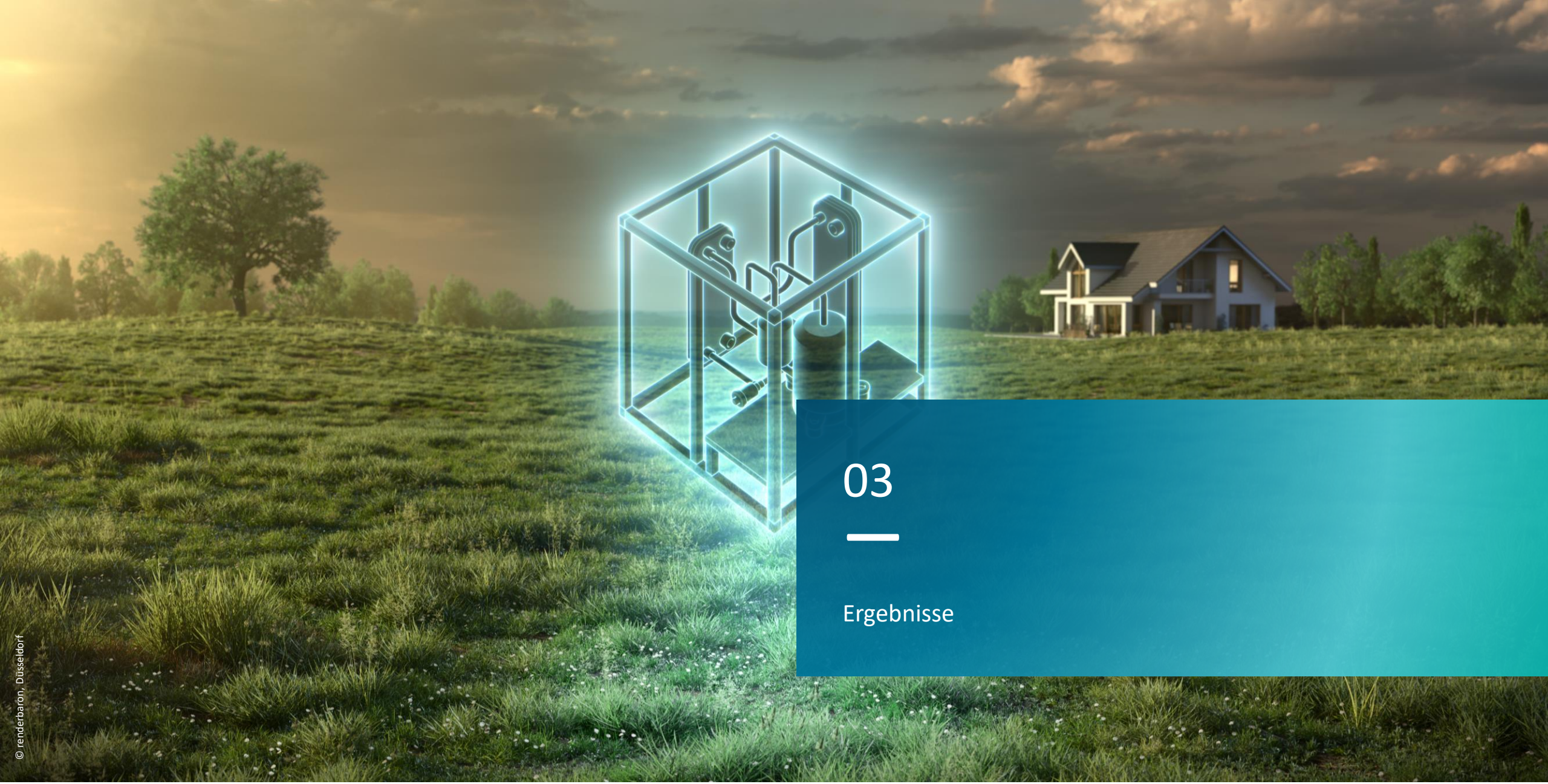
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein

LC 150 LOW CHARGE HP

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A

Fraunhofer ISE



© renderbaron, Düsseldorf

03

Ergebnisse

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein

LC 150 LOW CHARGE HP

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderkennzeichen 03EN4001A

Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

DESIGN kältemittelreduzierter Kältekreise

- **Reduktion der Ölmenge im Verdichter**
  - Je nach Öl-Typ lösen sich bis zu 30m% KM im Öl
  - Verdichtersumpf sinnvoller auf der Niederdruckseite
- **Volumenreduktion aller Komponenten**
  - Besonderer Fokus auf Bereiche mit hoher KM-Dichte
  - Vermeidung von ungenutzten Volumina in Wüs-Ports/ Sensorik/ …
- **Optimierung der Wärmeübertrager**
  - Fehlverteilung vermeiden
- **Hohe Drehzahl-Modulation des Verdichters**
  - Die gleiche Menge KM wird „öfter“ genutzt

	Hersteller, vermessen	Komponenten vermessen	Hersteller, in Gespräch
Verdichter	4	5	8
Kondensator	6	10	6
Verdampfer	5	11	5

Verdichter	
Hersteller, vermessen	4
Komponenten vermessen	5
Scroll vert.	2
Scroll hori.	1
D- Rollkolben	1

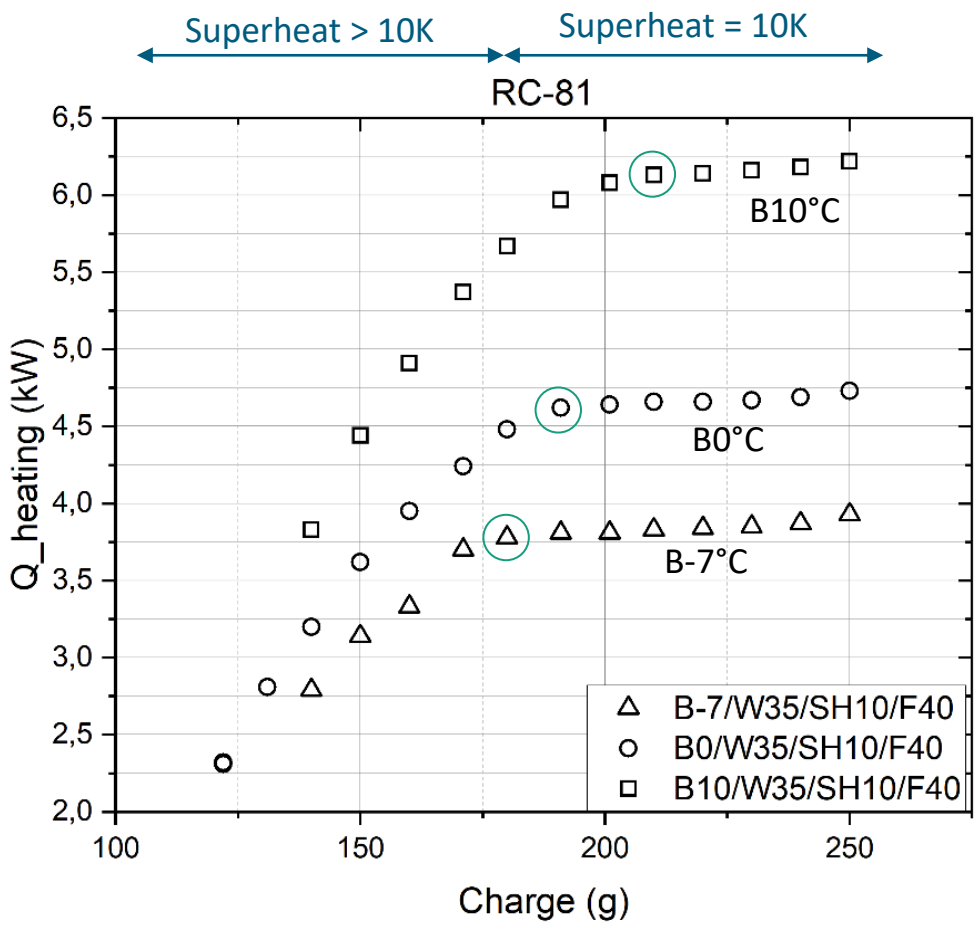
Kondensator	
Hersteller, vermessen	6
Komponenten vermessen	11
Dimple	1
Fischgräte, sym.	6
Fischgräte, asym.	2
sonder	1
multipass asym	1

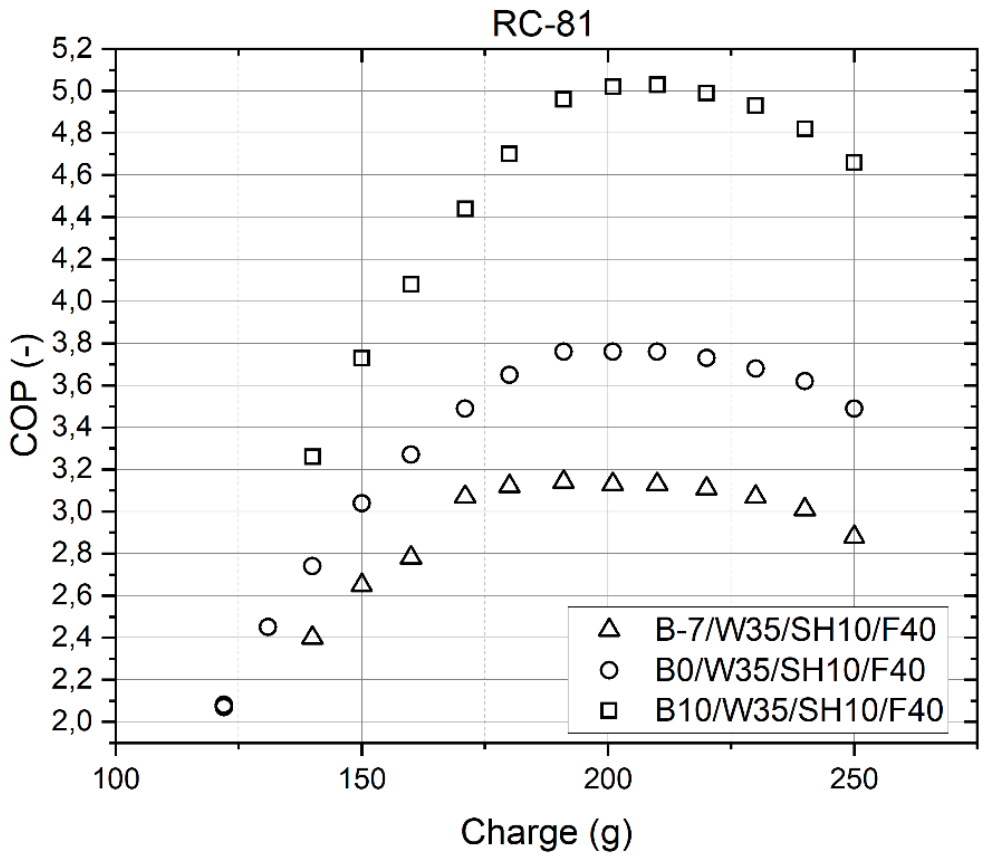
Verdampfer	
Hersteller, vermessen	5
Komponenten vermessen	10
Dimple	1
Fischgräte, sym.	5
Fischgräte, asym.	3
sonder	1

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ergebnisse – Füllmenge in Abhängigkeit der Quellentemperatur

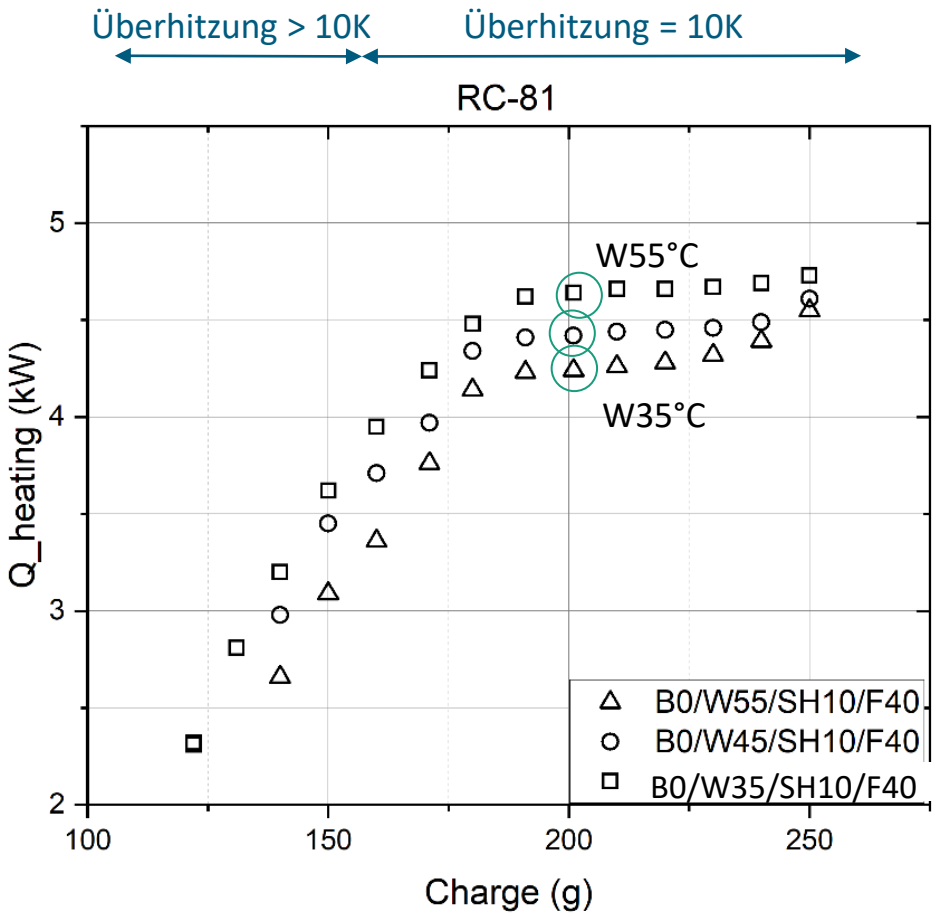


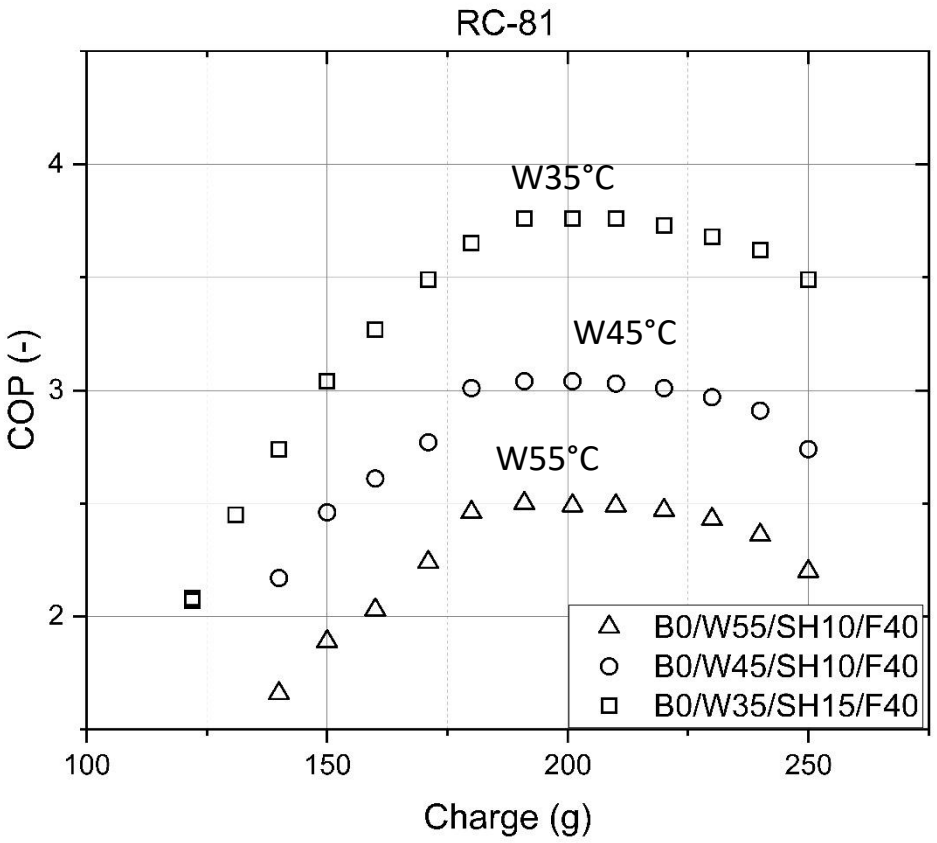


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ergebnisse – Füllmenge in Abhängigkeit der Senkentemperatur

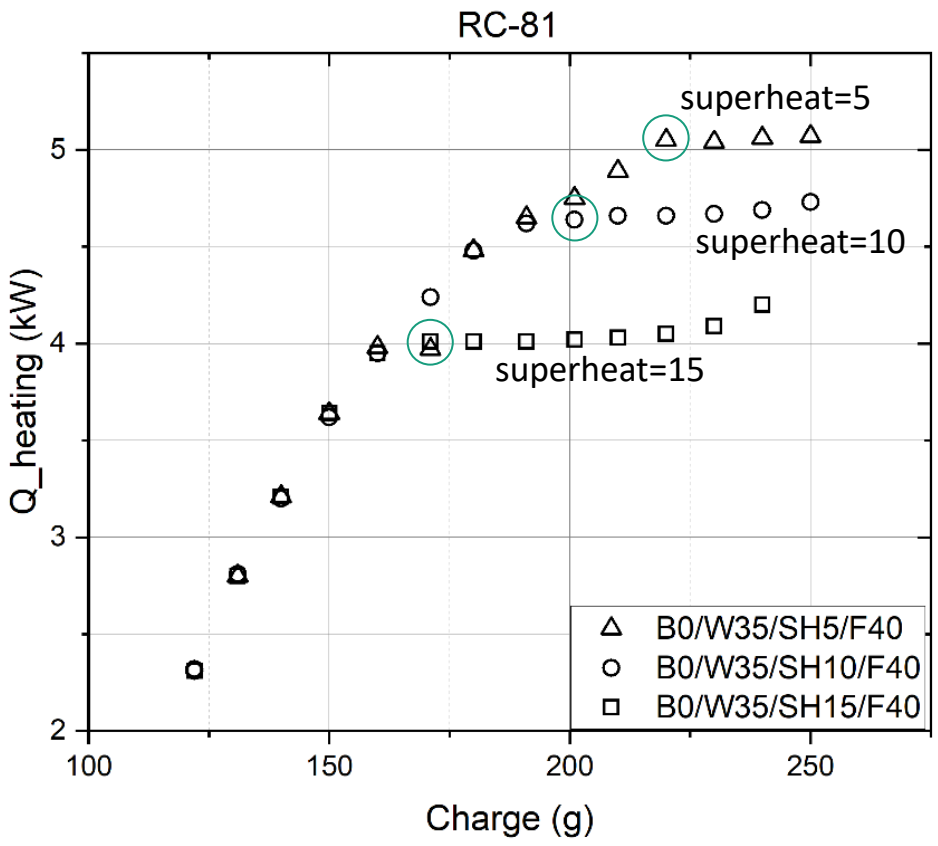


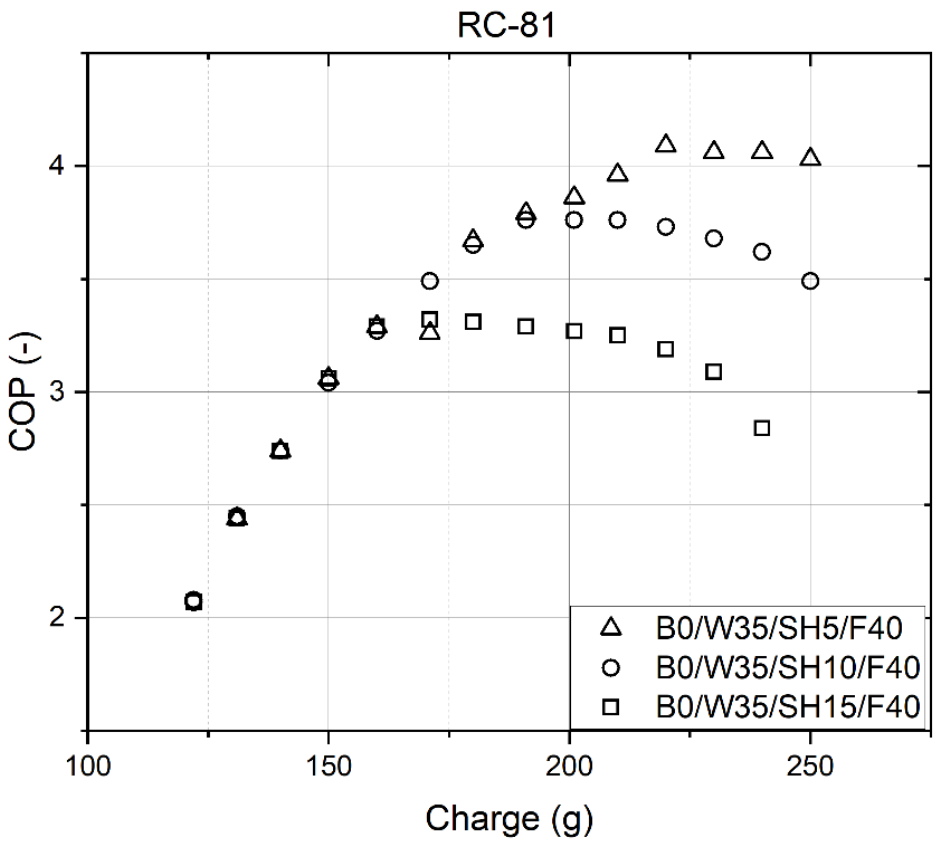


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ergebnisse – Füllmenge in Abhängigkeit der Überhitzung



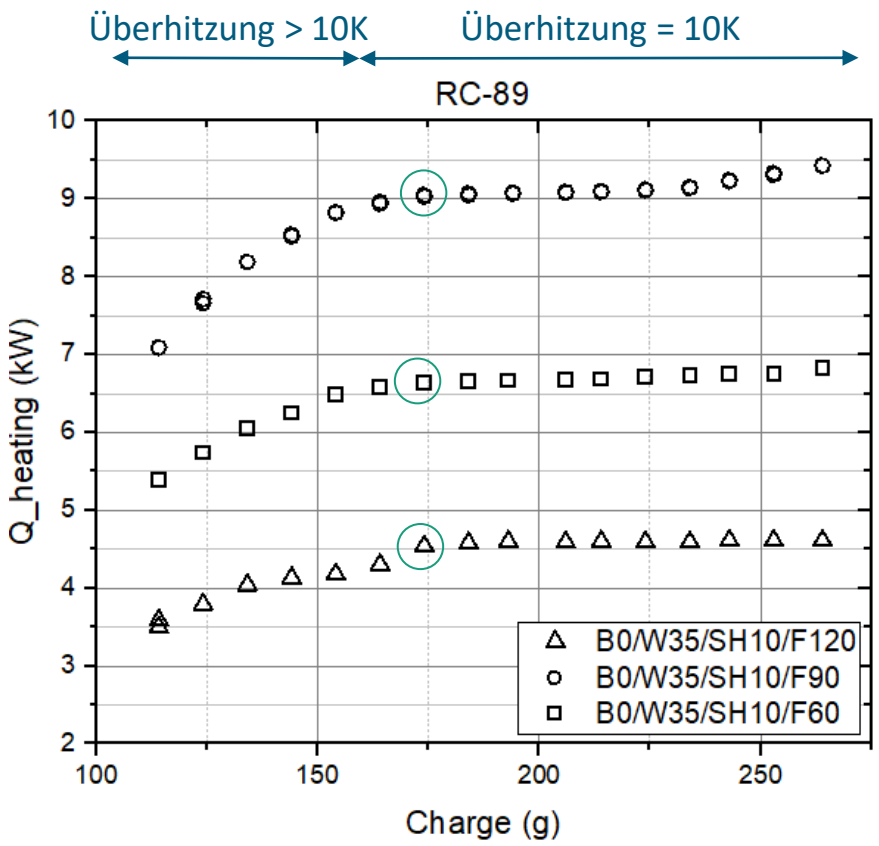


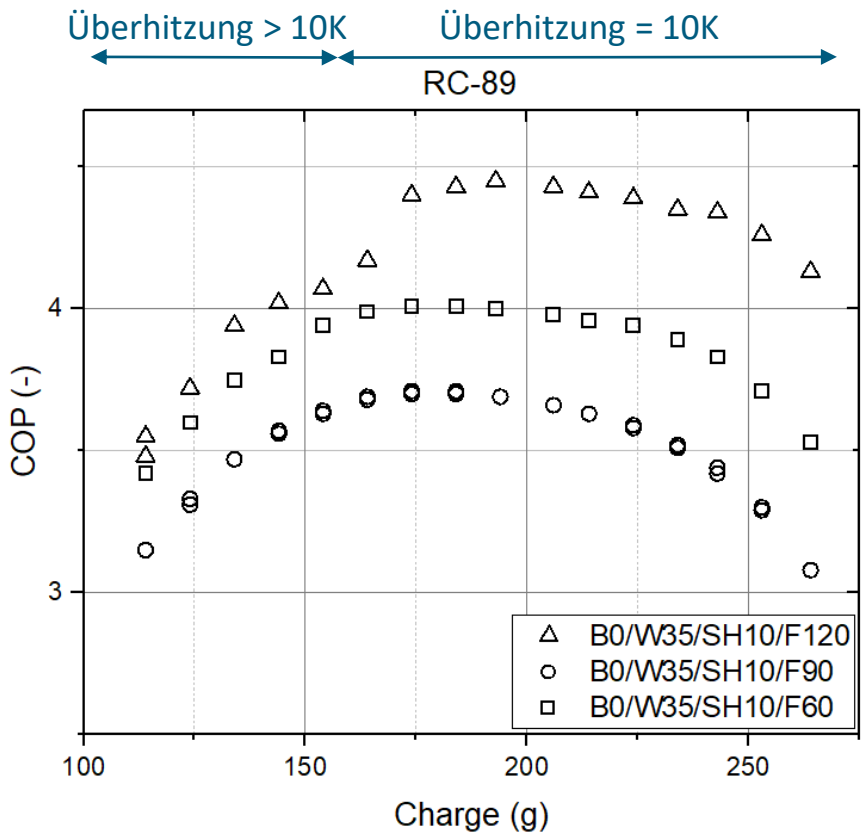
superheat: 5K to 15K

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ergebnisse – Füllmenge in Abhängigkeit der Verdichterdrehzahl





compressor speed: 60Hz to 120Hz

© Fraunhofer ISE

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ergebnisse – Einfluss einzelner Parameter auf die Kältemittel-Füllmenge

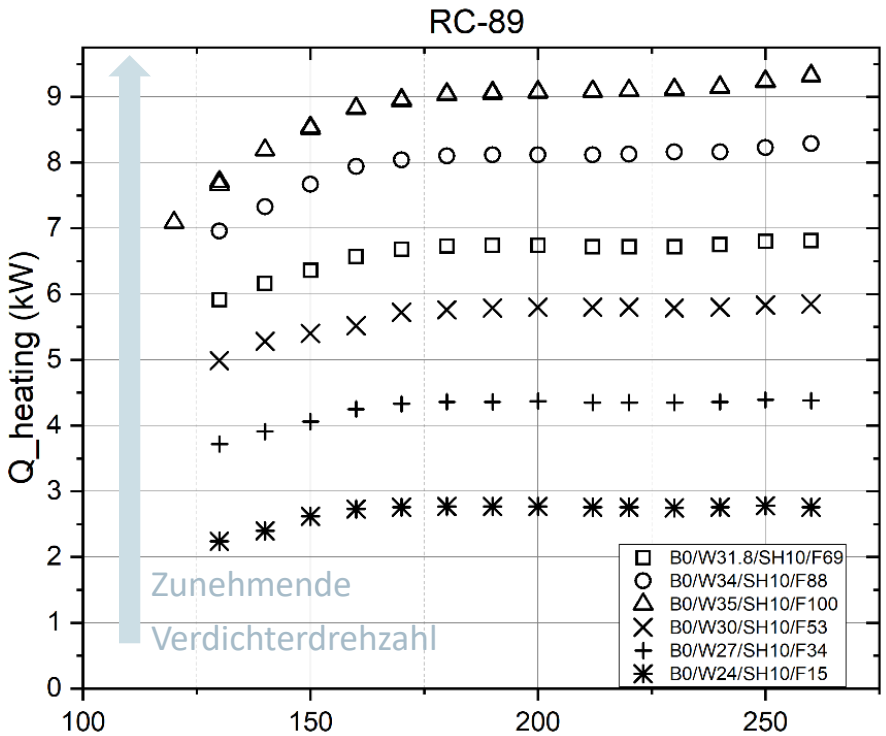
		Füllmenge	COP	Heizleistung
Quellentemperatur	↑	↑	↑	↑
Senkentemperatur	↑	**0**	↓	↓
Überhitzung	↑	↓↓	↓	↓
Verdichterdrehzahl	↑	↓	↓	↑↑

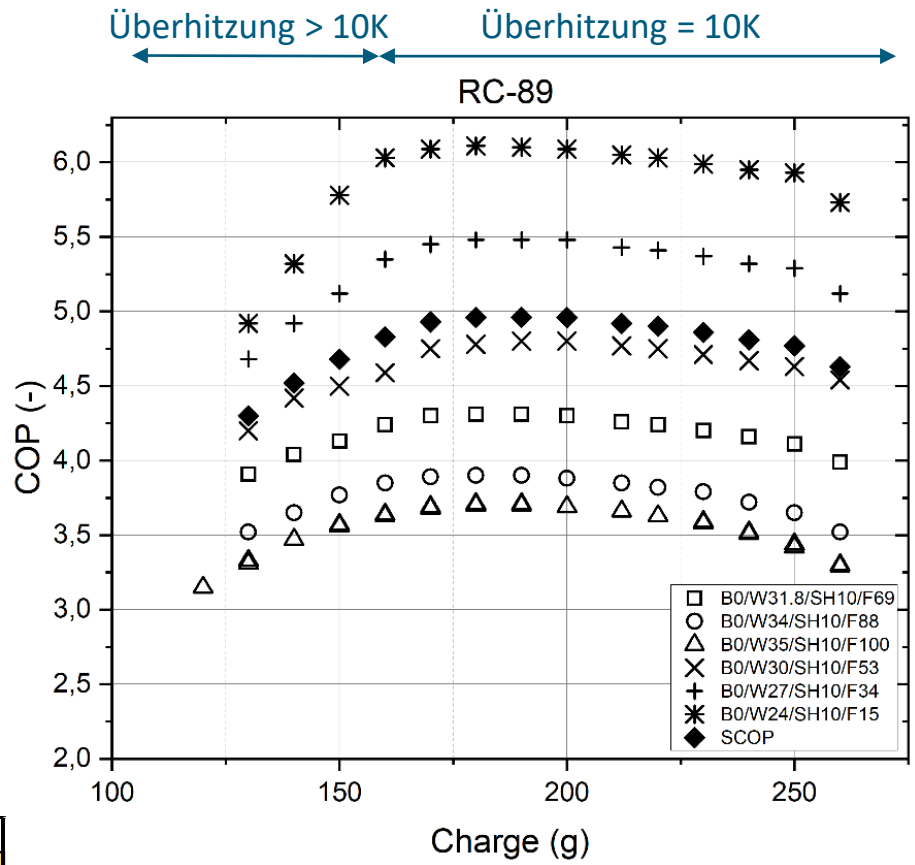
- Die niedrigste Füllmenge für einen Sole/ Wasser Kältekreis wird erreicht, wenn:
  - Soletemp. **niedrig** / Wassertemp. **-** / Verdichterdrehzahl **hoch** / Überhitzung **hoch**
- Der höchste COP für einen Sole/ Wasser Kältekreis wird erreicht, wenn:
  - Soletemp. **hoch** / Wassertemp. **niedrig** / Verdichterdrehzahl **mittel** / Überhitzung **niedrig**

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ergebnisse – SCOP Messungen





R290	114g	124g	134g	144g	154g	164g	174g	184g	194g	206g	214g	224g	234g	243g	253g	264g
B0/W35/F120/SH10	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4
B0/W34/F108.46/SH10	0	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	0
B0/W31.8/F89.23/SH10	0	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
B0/W30/F73.85/SH10	0	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
B0/W27/F54.62/SH10	0	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
B0/W24/F35.38/SH10	0	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0

© Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Ergebnisse – Übersicht aller Messungen in der Kreuzevaluation

ID	min opt. charge	SCOP @B0/W24-35	heating capacity @B0/W35/SH10
RC8-01	185g	4,08	6,59 kW
RC8-02	174g	-	8,50kW
RC8-06	174g	4,41	6,75 kW
RC8-09	**164g**	**4,79**	**8,12 kW**
RC8-10	164g	4,26	6,61 kW
RC8-14	164g	4,06	6,83kW
RC8-16	145g	4,06	8,20 kW
RC8-17	148g	4,21	6,95 kW
RC8-18	174g	4,6	4,39 kW
RC8-21	**124g**	**4,70**	**12,80 kW**
RC8-22	174g	4,69	9,40 kW
RC8-24	154g	4,78	13,31 kW
RC8-25	178g	4,33	6,70 kW
RC8-26	177g	4,27	6,51 kW
ecoGEO+	**150g**	**4,64**	**5,80 kW***
HP Keymark**	**kA**	**4,73**	**kA**

* SH unbekannt
Quelle: Datenblatt

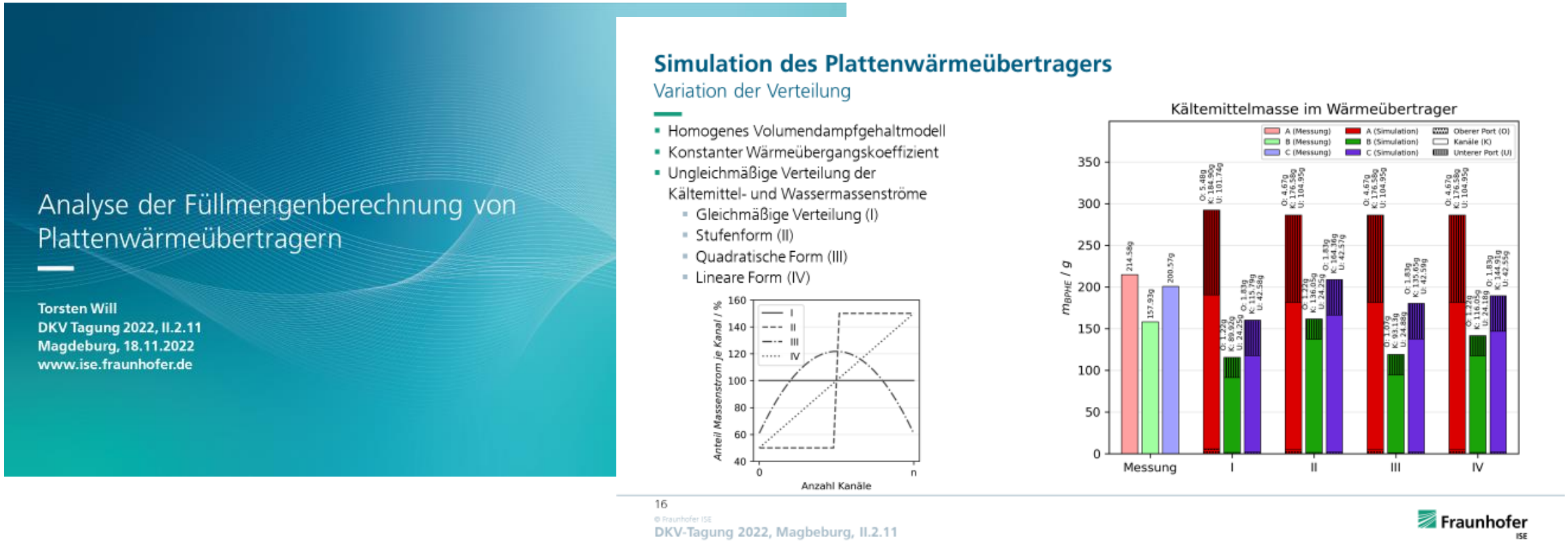
** verschiedene KM
unterschiedliche Füllmengen
innen aufgestellt (Mittelwert)

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Vertiefte ANALYSE - Plattenwärmeübertrager

- **Füllmengenbestimmung und Fehlverteilung in Plattenwärmeübertragern**

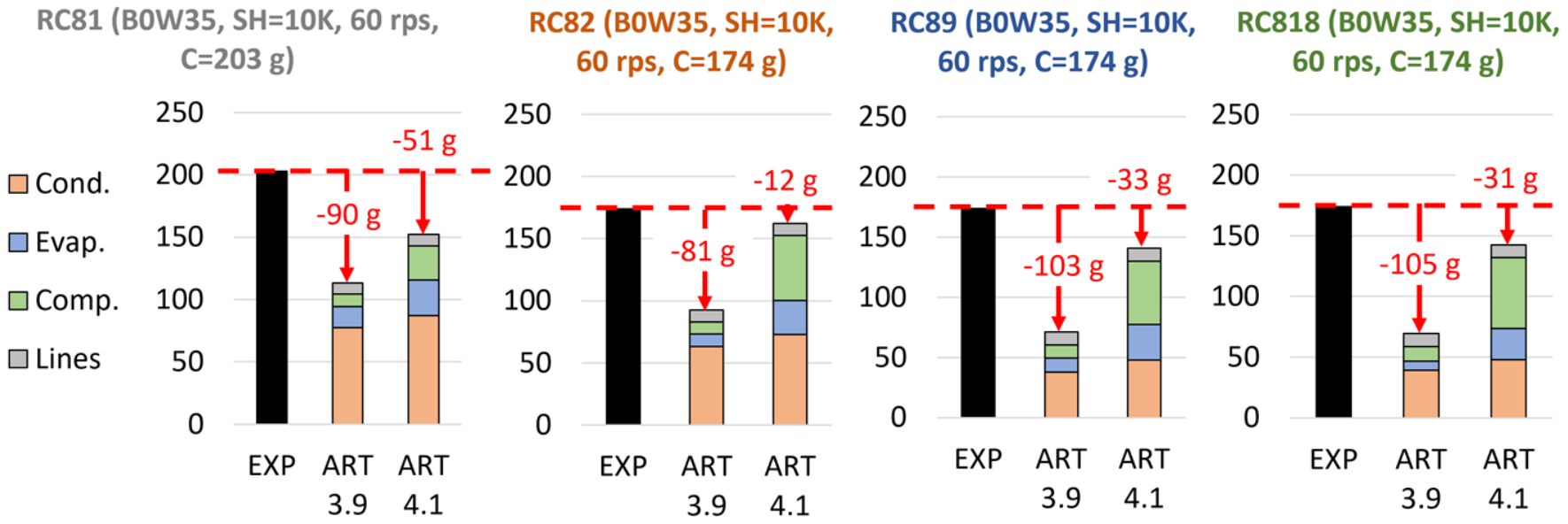


FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

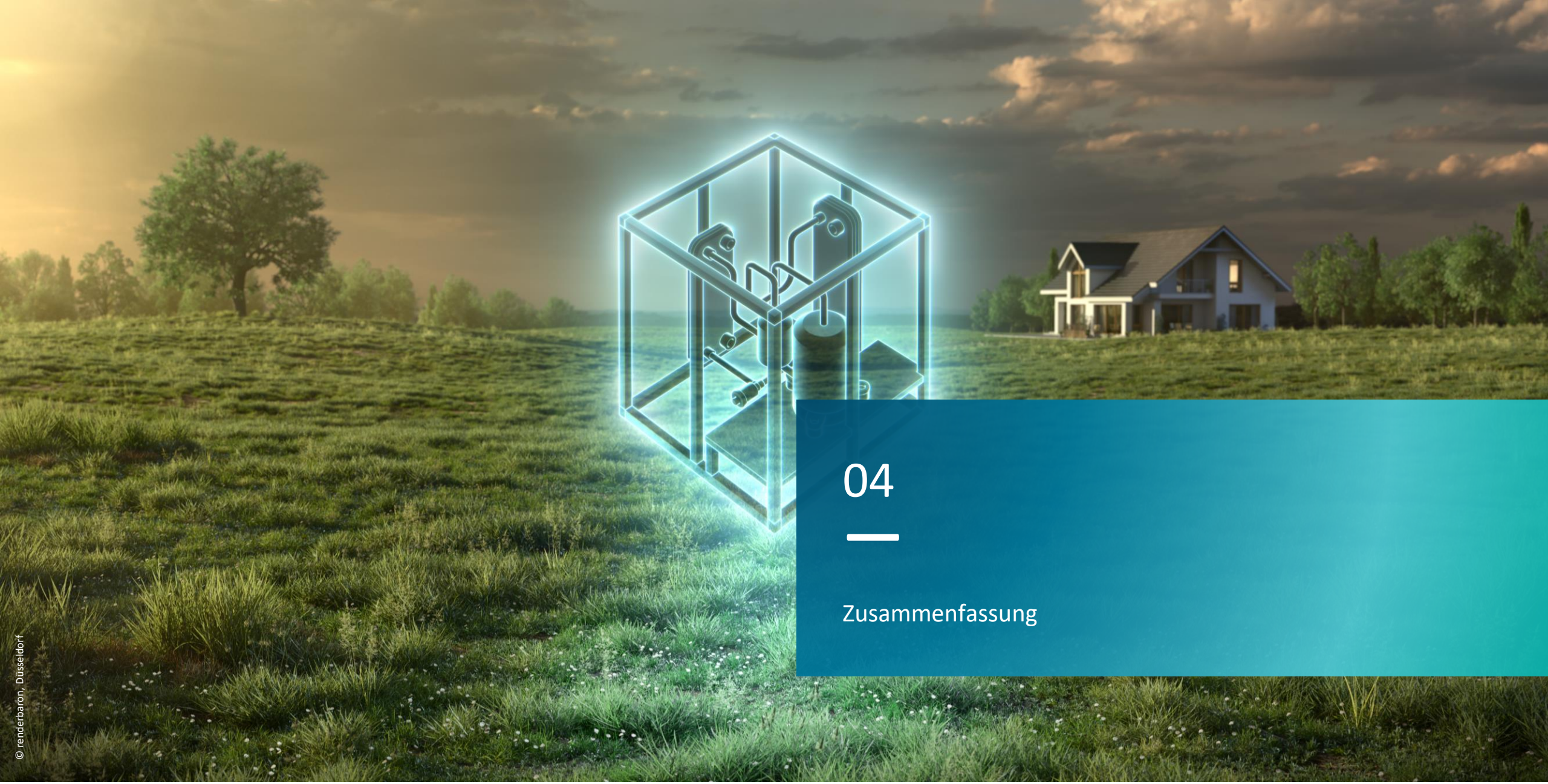
Vertiefte ANALYSE – Abbildung der Kältekreise in IMST ART

- Nutzung von IMST-Art als Simulationsumgebung
- Parallele Simulation aller Kältekreise
- Sehr gute Abschätzung der Performance Werte
- Füllmengenabschätzung verbessert, **„v.3.9“** (-81- -105g) -> **„v. 4.1“** (-12 - -51g)
  - Größte Änderungen, Öl Absorptionsmodel, Portmodelle



B0W35, SH=10 K, 60 rps				
COP [-]				
	RC81	**RC82**	**RC89**	**RC818**
EXP	3.76	4.16	4.40	4.20
ART	3.74	4.19	4.31	4.00
DEV [%]	-0.58	0.80	-1.96	-4.85
Heat capacity [kW]				
EXP	4.66	4.31	4.54	4.36
ART	4.65	4.32	4.42	4.06
DEV [%]	-0.20	0.20	-2.55	-6.83
T_evap [°C]				
EXP	-8.56	-8.56	-7.23	-9.10
ART	-8.54	-8.39	-7.24	-9.09
DEV [K]	0.02	0.17	0.00	0.01
T_cond [°C]				
EXP	35.07	34.73	34.38	34.38
ART	35.91	35.53	35.05	35.00
DEV [K]	0.84	0.80	0.67	0.61

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A



© renderbaron, Düsseldorf

04

Zusammenfassung

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein

LC 150 LOW CHARGE HP

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

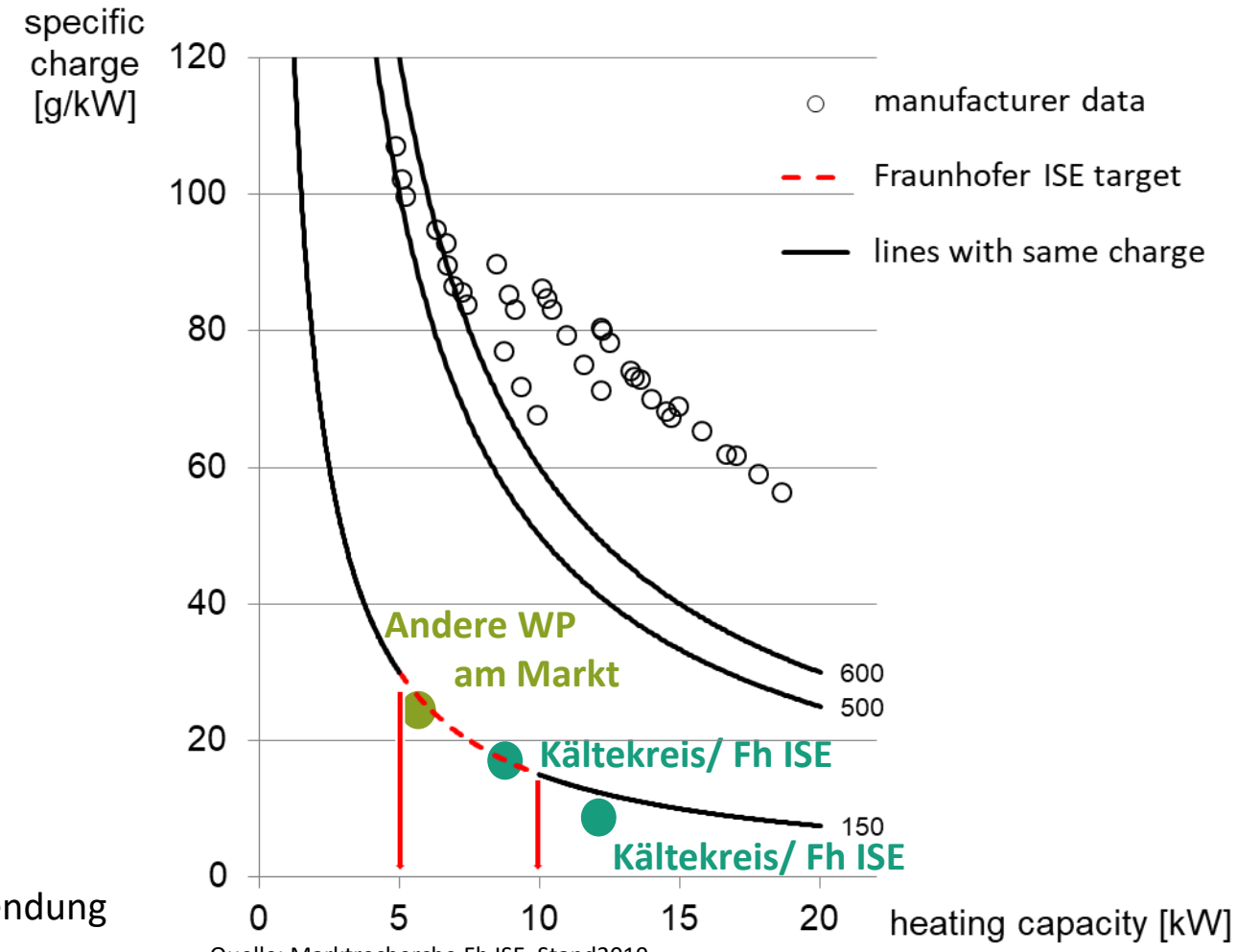
Förderkennzeichen 03EN4001A

Fraunhofer ISE

Erstellung eines Benchmarks für Propan Wärmepumpen

Zusammenfassung

- **Reduktion Kältemittelfüllmenge bis zu 75%:**
  - Kältekreise mit 150g R290 und einer Heizleistung von 8-12kW und guten Effizienzen (SCOP > 4,3)
- **Umfassende Datenbasis für Komponenten**
  - Charakterisierung und Auswertung vieler Kältekreise
- **Automatisierter Betrieb von Testständen mit automatischer Füllmengenvariation**
  - Automatisierte Auswertung und Darstellung aller aufgenommen Daten
- **Ausblick bis zum Ende des Projektes:**
  - Langzeitmessungen von den besten Komponenten
  - Weitere Verbesserung der Simulationsumgebung
  - Demonstrationsobjekt in einer Wärmerückgewinnungsanwendung für Industrieprozesse

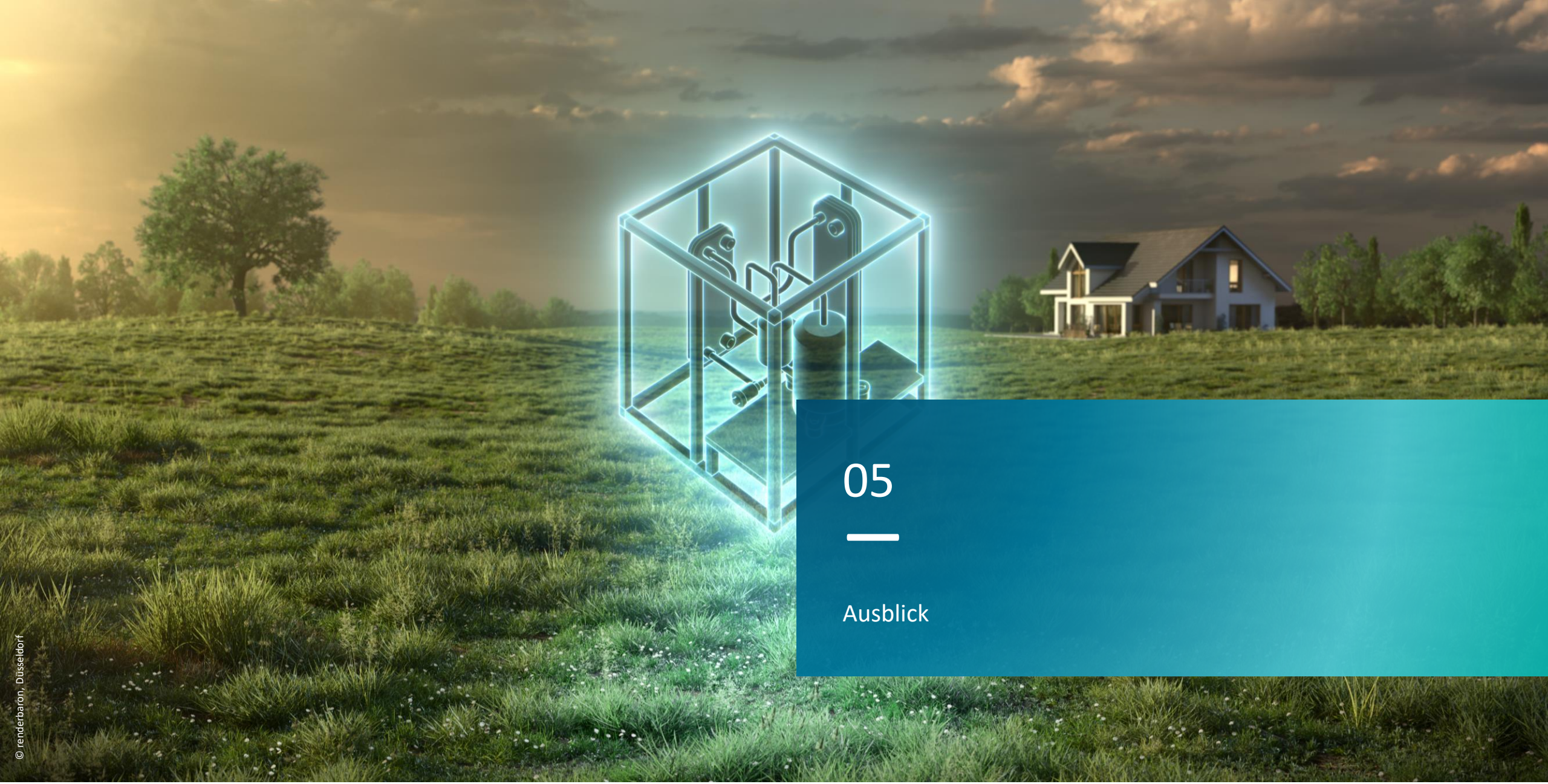


Quelle: Marktrecherche Fh ISE. Stand2019

 © Fraunhofer ISE

FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE



© renderbaron, Düsseldorf

05

Ausblick

Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein

LC 150 LOW CHARGE HP

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderkennzeichen 03EN4001A

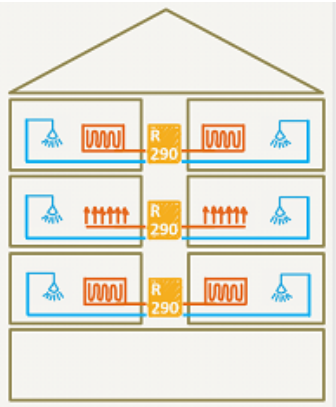
Fraunhofer ISE

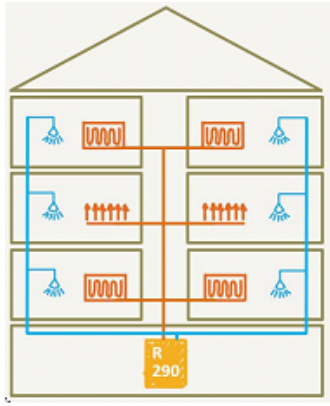
Folgeprojekt LCR290

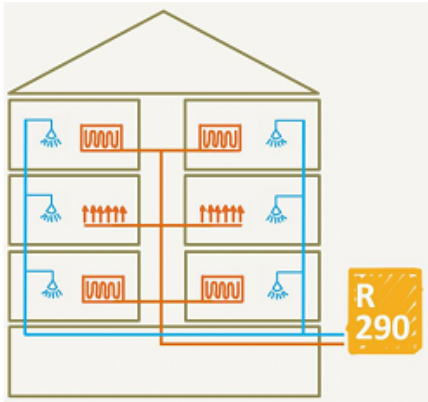
Wärmepumpenlösungen für die Substitution von Gas- und Ölbrennern (in MFH) unter Verwendung der LC150 Ergebnisse

LCR290

LOW CHARGE SOLUTIONS







NAME:	Innen/ Etage (MFH)	Innen/ Keller	Außen
GEBÄUDETYP:	MFH/ Etagenlösung, Bestand	EFH und MFH, Bestand	EFH und MFH, Neubau und Bestand
WÄRMEQUELLE	Luft (indirekt), Erdreich, NT-Netz	Luft (indirekt), Erdreich, NT-Netz	Luft (direkt)
THERMISCHE LEISTUNG	bis 10 kW	10-80 kW	10-80 kW

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL
Deutsche Kälte- und Klimatagung DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
LC 150 LOW CHARGE HP
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen 03EN4001A
Fraunhofer ISE

Projektskizze LCR290

Neben Wärmepumpenherstellern auch Wohnungsbaugesellschaften Teil des „Steering Commitee“

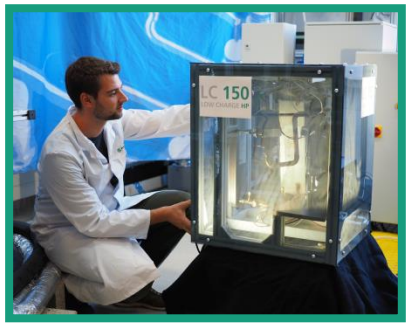
Europäische Wärme-pumpenhersteller	Europäische Wärme-pumpenhersteller	Europäische Wärme-pumpenhersteller	Europäische Wärme-pumpenhersteller	Wohnungsbau-gesellschaften

Steering Committee, Definition der Anforderungen, Zugang zu den Ergebnissen und IPs

1,4 Mio. € (~1-4% des Gesamtvolumens bezogen (bezogen auf Marktumsatz))

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

5,6 Mio. €
(80 % Förderrate)



LC R290 <u>PLATFORM ENTWICKLUNG VON FÜLLMENGEN REDUZIERTEN WÄRMEPUMPENSYSTEM FÜR GEBÄUDE MIT R290</u>

7 Mio. € Projektbudget; 2,5 years; 01.01.2023 – 30.06.2025

- Entwicklung und Auswertung von technischen Lösungen für innen und außen aufgestellte R290 Wärmepumpen (Etagenwärmepumpen, zentrale Wärmepumpen innen/ außen)
- Konzeptfindung für Quellenintegration, Installation und effizienten Betrieb
- Standardisierung von Sicherheitskonzepten und Auswertungsmethoden
- Netzwerk für Wärmepumpenhersteller

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

Contact

Clemens Dankwerth

Tel. +49 761 4588-5449
clemens.dankwerth@ise.fraunhofer.de

www.lc150.eu
www.ise.fraunhofer.de

Wir bedanken uns für die Projektförderung des Projekts LC150 unter dem Förderkennzeichen 03EN4001A durch das BMWK und die Unterstützung des PTJ sowie die beteiligten Industriefirmen.

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages