

Leistungsgeregelte Luft/Wasser- Wärmepumpen – effizient und stadtverträglich

Lukas Gasser, Prof. Dr. Beat Wellig

Hochschule Luzern – Technik & Architektur

CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik

Forum Energie Zürich

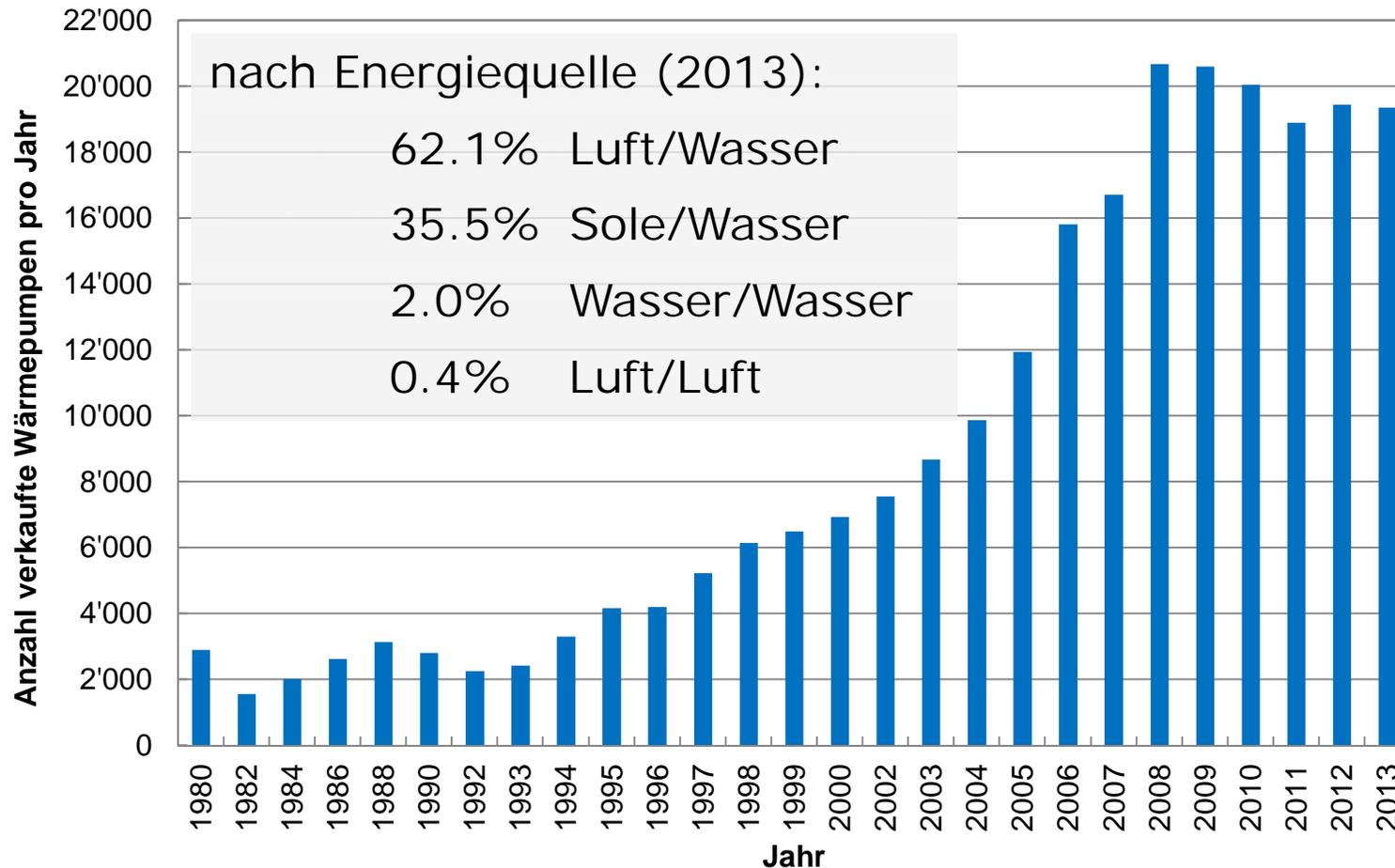
Zürich, 3. Februar 2015

Gliederung

1. Ausgangslage und Ziele
2. Leistungsregelung von L/W-WP
3. Schallemissionen wirksam reduzieren
4. Experimenteller Nachweis und Resultate
5. Schlussfolgerungen

Ausgangslage und Ziele

Verkaufszahlen Wärmepumpen in der Schweiz [1]:

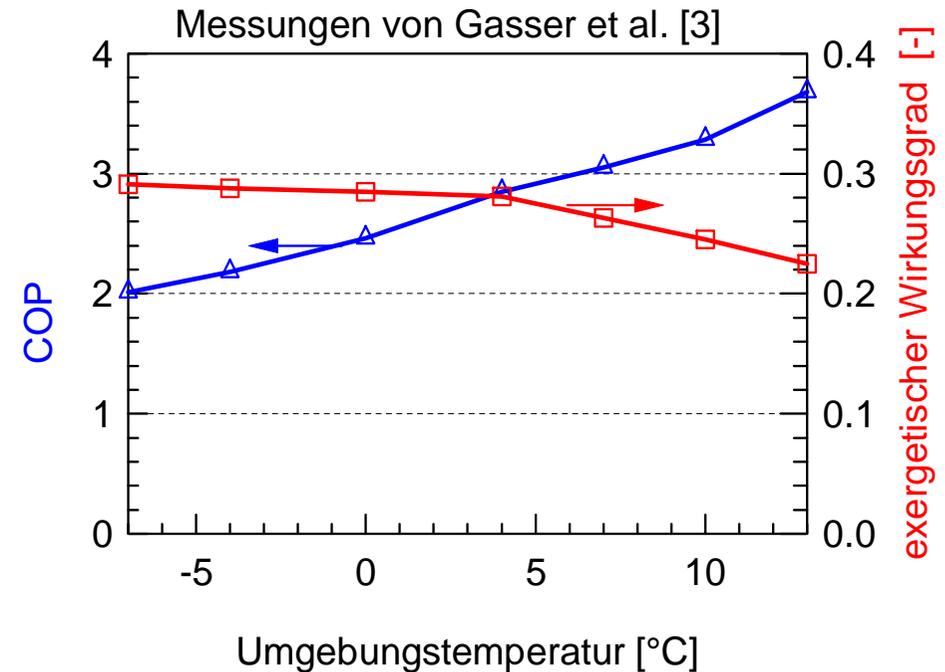
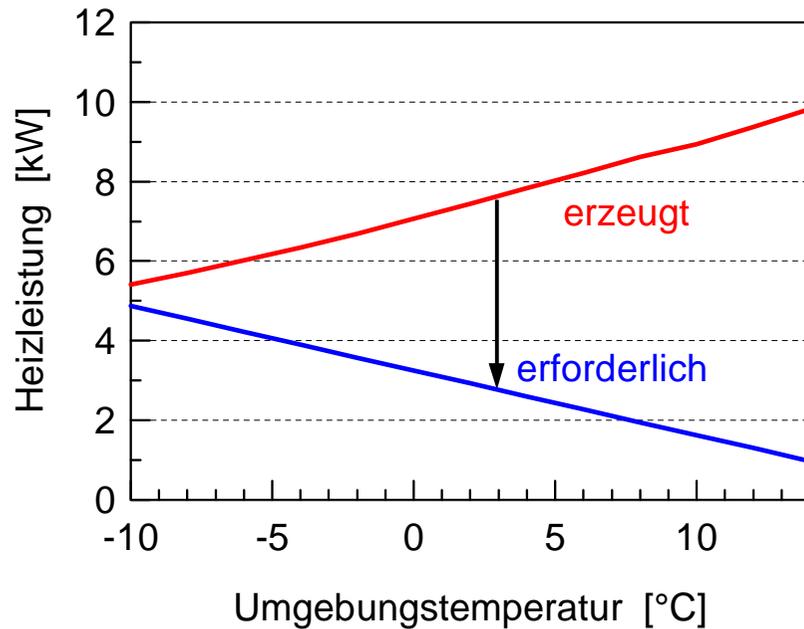


Die Entwicklung effizienter und wirtschaftlicher Heizsysteme mit Wärmepumpen ist von hoher Relevanz!

[1] Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS / GebäudeKlima Schweiz

Ausgangslage und Ziele

L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung:



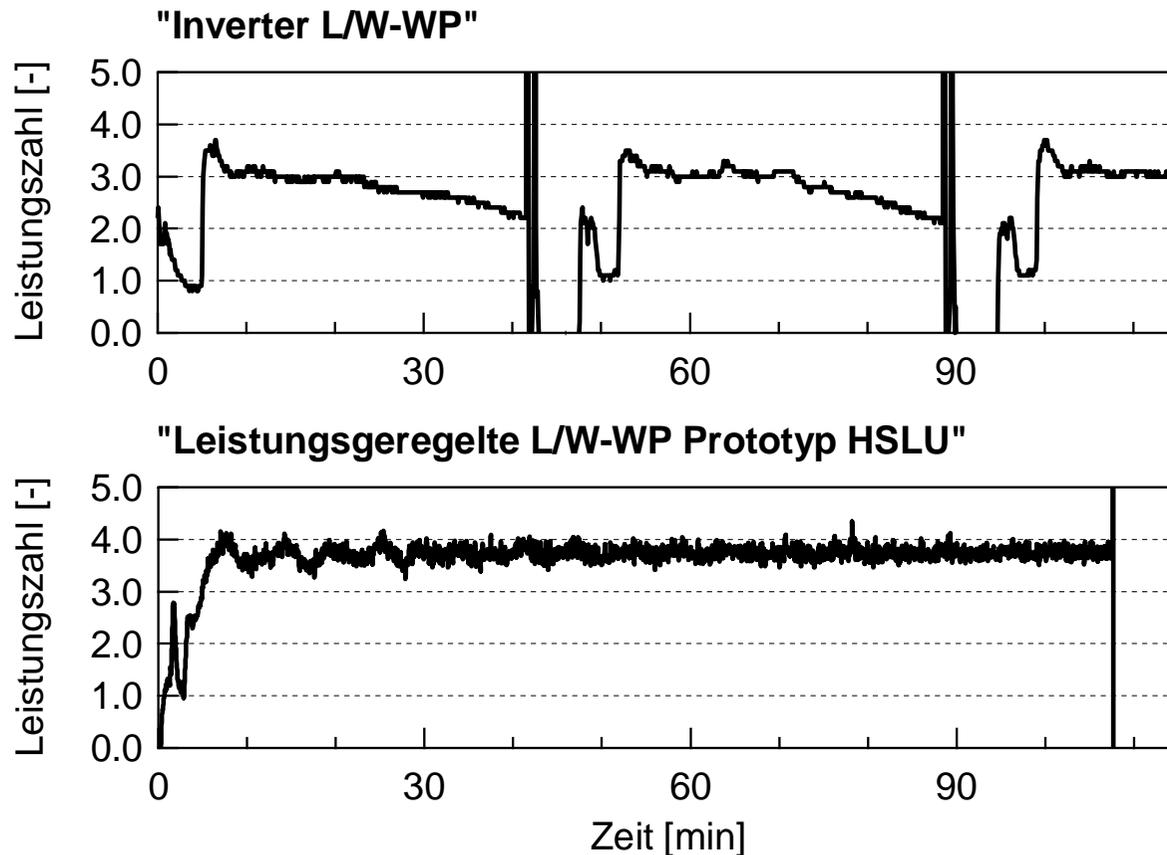
Ursache: Ungünstige Betriebscharakteristik des drehzahlkonstanten Kompressors

Ziel: Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung

→ Leistungsregelung des Kompressors *und* Ventilators

Leistungsregelung von L/W-WP

Leistungsregelung ist nicht gleich Leistungsregelung!



$$AZ_{H+A} = 2.5$$



+36% (!)

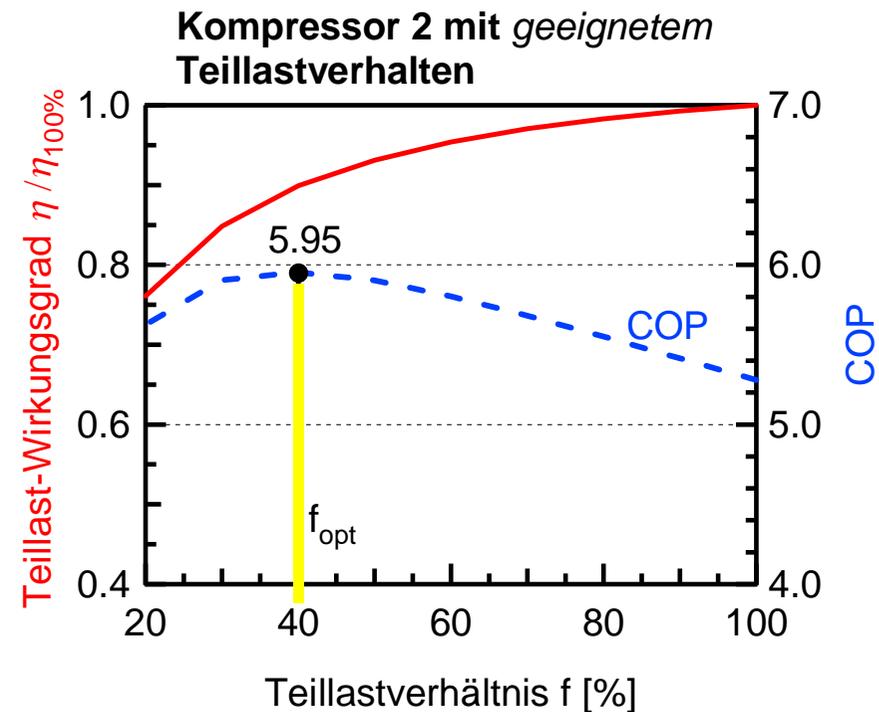
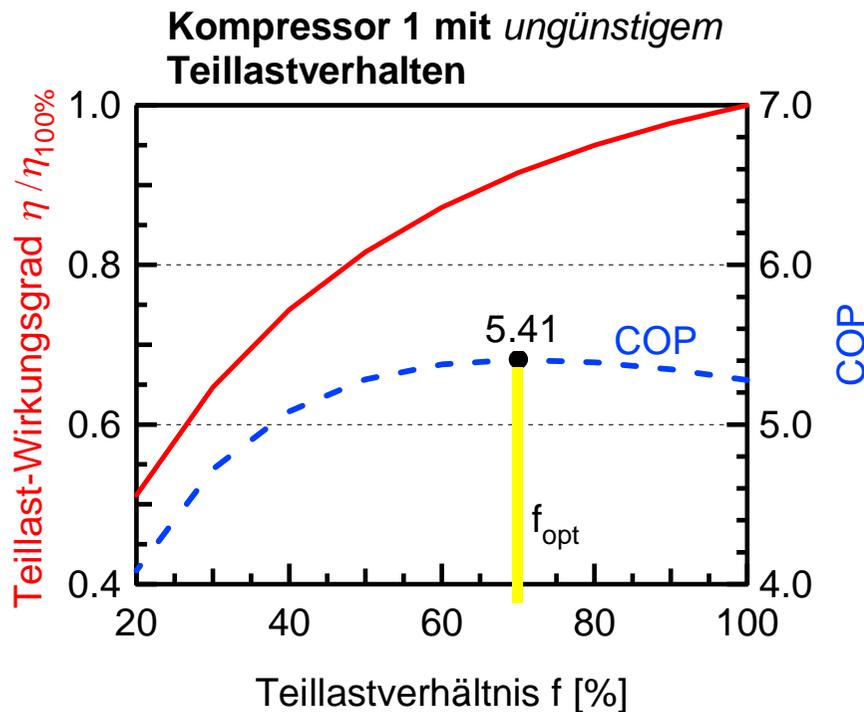
$$AZ_{H+A} = 3.4$$

Betriebsbedingungen: 0°C Umgebungstemperatur, 85% rel. Feuchtigkeit
und Heizkurve «hochwertig sanierter Altbau», VL/RL 42/35°C bei -10°C (Messungen)

Leistungszahl COP mit Berücksichtigung der Ventilatorleistung

Leistungsregelung von L/W-WP

Voraussetzungen an regelbare Kompressoren für L/W-WP:



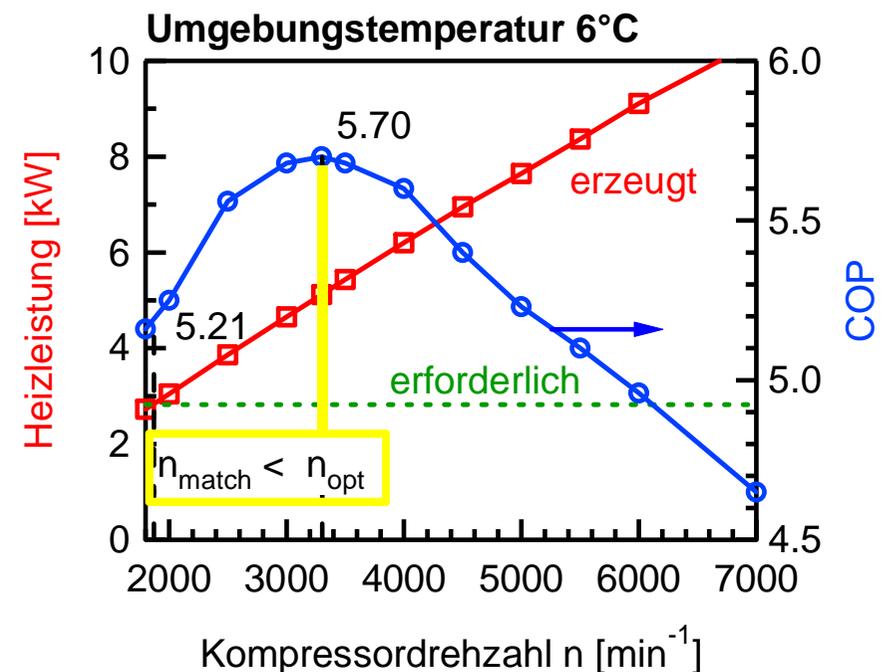
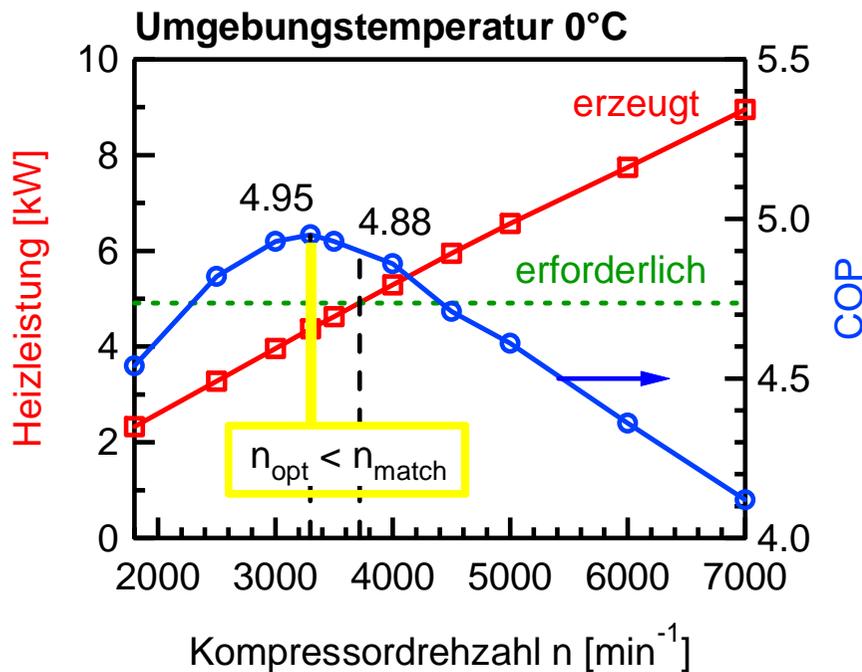
Das Teillastverhalten des Kompressors ist entscheidend!

Betriebsbedingungen: 6 °C Umgebungstemperatur, 85% rel. Feuchtigkeit und Heizkurve «Minergie», VL/RL 30/25 °C bei -10 °C (Simulationen)

Leistungszahl COP ohne Berücksichtigung der Ventilatorleistung

Leistungsregelung von L/W-WP

Einfluss des Teillast-Wirkungsgrads auf die optimale Regelung:



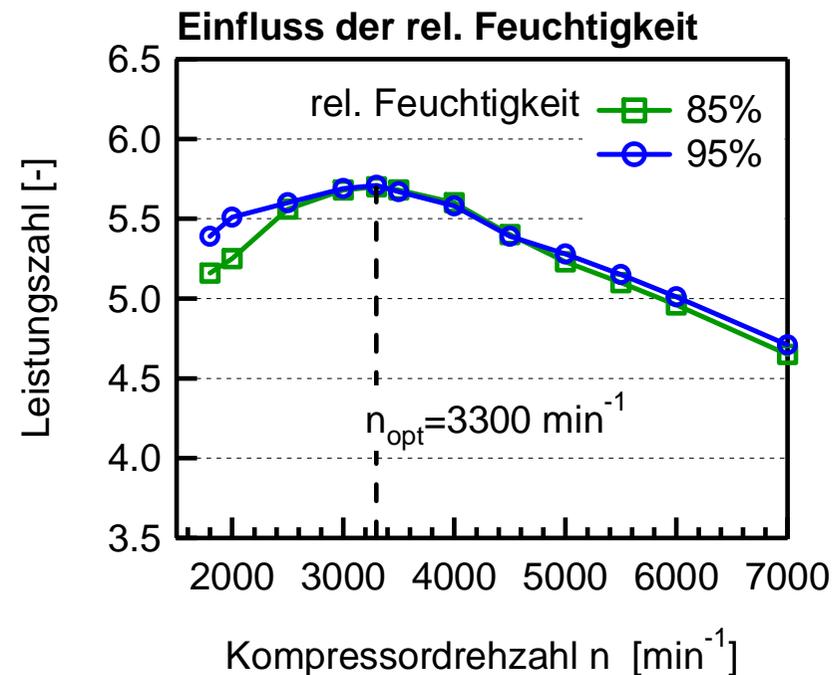
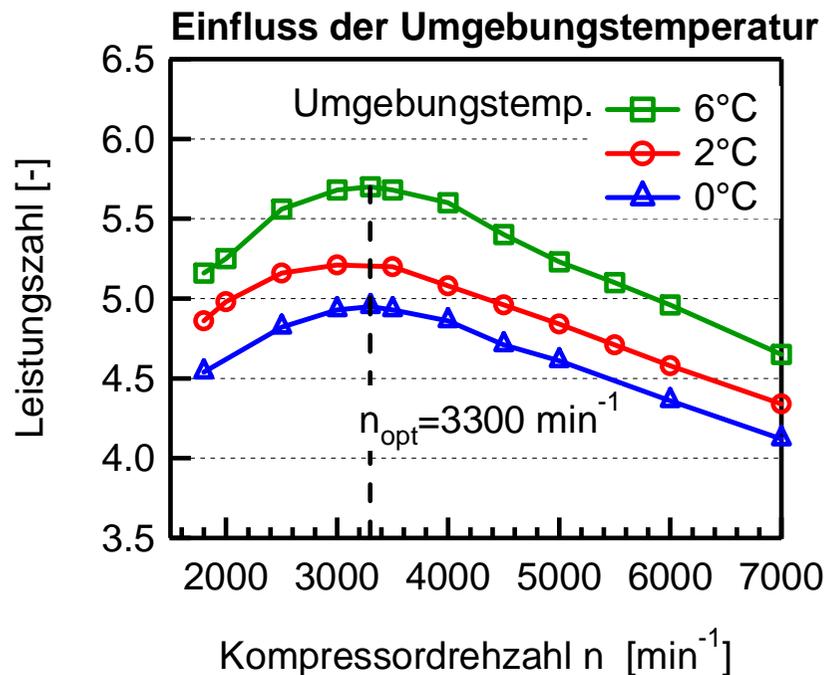
Die Anpassung der erzeugten Heizleistung an die erforderliche Heizleistung ist nicht generell empfehlenswert!

Betriebsbedingungen: 0°C, 6°C Umgebungstemp., 85% r.F. und Heizkurve «Minergie», VL/RL 30/25°C bei -10°C (Messungen L/W-WP-Prototyp mit Inverter-Scroll)

Leistungszahl COP ohne Berücksichtigung der Ventilatorleistung

Leistungsregelung von L/W-WP

Abhängigkeiten des optimalen Teillastverhältnisses des Kompressors:



Die optimalen Teillastverhältnisse sind nahezu unabhängig vom Zustand der Umgebungsluft und der Heizkurve!

Betriebsbedingungen: 0°C, 2°C, 6°C Umgebungstemp., 85%, 95% r.F. und Heizkurve «Minergie», VL/RL 30/25°C bei -10°C (Messungen L/W-WP-Prototyp mit Inverter-Scroll)

Leistungszahl COP ohne Berücksichtigung der Ventilatorleistung

Leistungsregelung von L/W-WP

Leistungsregelung von Kompressor *und* Ventilator:

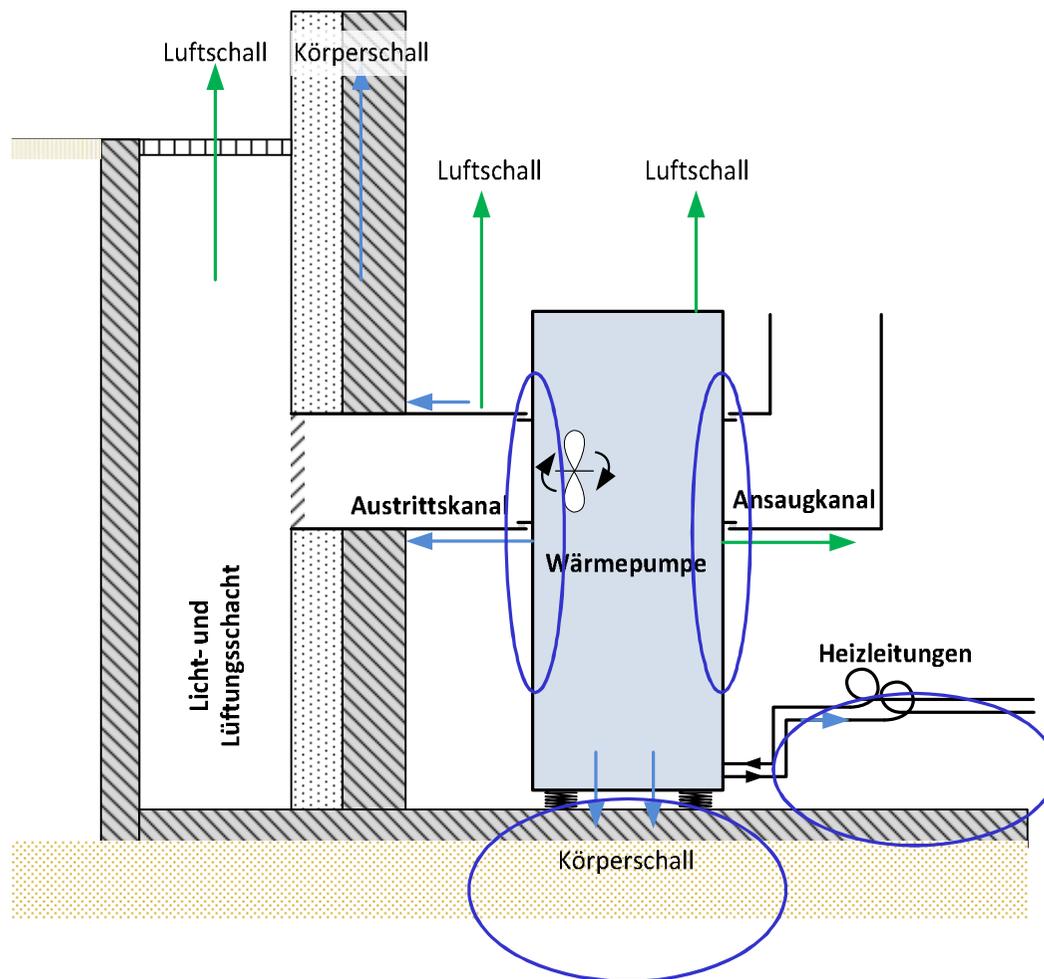
Zur Erreichung der bestmöglichen Effizienz bei L/W-WP müssen die maximalen Bereiche der effizient regelbaren Teillastverhältnisse von Kompressor *und* Ventilator ausgenutzt werden!

Wegleitung:

1. Ermittlung des optimalen Teillastverhältnisses des Kompressors (ist nahezu unabhängig vom Zustand der Umgebungsluft und der Heizkurve)
2. Ermittlung des optimalen Luftvolumenstromes im Betrieb beim optimalen Teillastverhältnis des Kompressors
3. Ermittlung des optimalen Luftvolumenstromes bei Volllast des Kompressors

Schallemissionen wirksam reduzieren

Massnahmen zur Vermeidung von Körperschall:



Körperschall:

- Wärmepumpe-Gebäude
- Luftkanal-Gebäude
- Wärmepumpe-Heizleitungen-Gebäude



Konsequente Entkopplung
von Gebäudesubstanz!

Schallemissionen wirksam reduzieren

Massnahmen zur Vermeidung von Luftschall:

- Auskleidung der Luftkanäle mit schallabsorbierenden Materialien (min. 50 mm Dicke)
- Grosszügige Dimensionierung der Luftkanäle sowie der Ein- und Austrittsöffnungen (Luftgeschwindigkeiten < 3 m/s)
- Konsequente Vermeidung ungünstiger Luftführungen (Umlenkungen, Ausblasrichtung gegen Gebäudestruktur usw.)
- Einsatz optimierter Verdampfer/ Ventilator-Paarungen mit hocheffizienten, langsam laufenden Ventilatoren («Langsamläufer»)¹



¹siehe BFE-Berichte «LOREF 1 & 2» und «Leistungsgeregelte L/W-WP»

Schallemissionen wirksam reduzieren

Optimierte Verdampfer/Ventilator-Paarung:

z.B. mit *Ziehl-Abegg FE2owlet*: Hohe Effizienz, geringe Schallemissionen

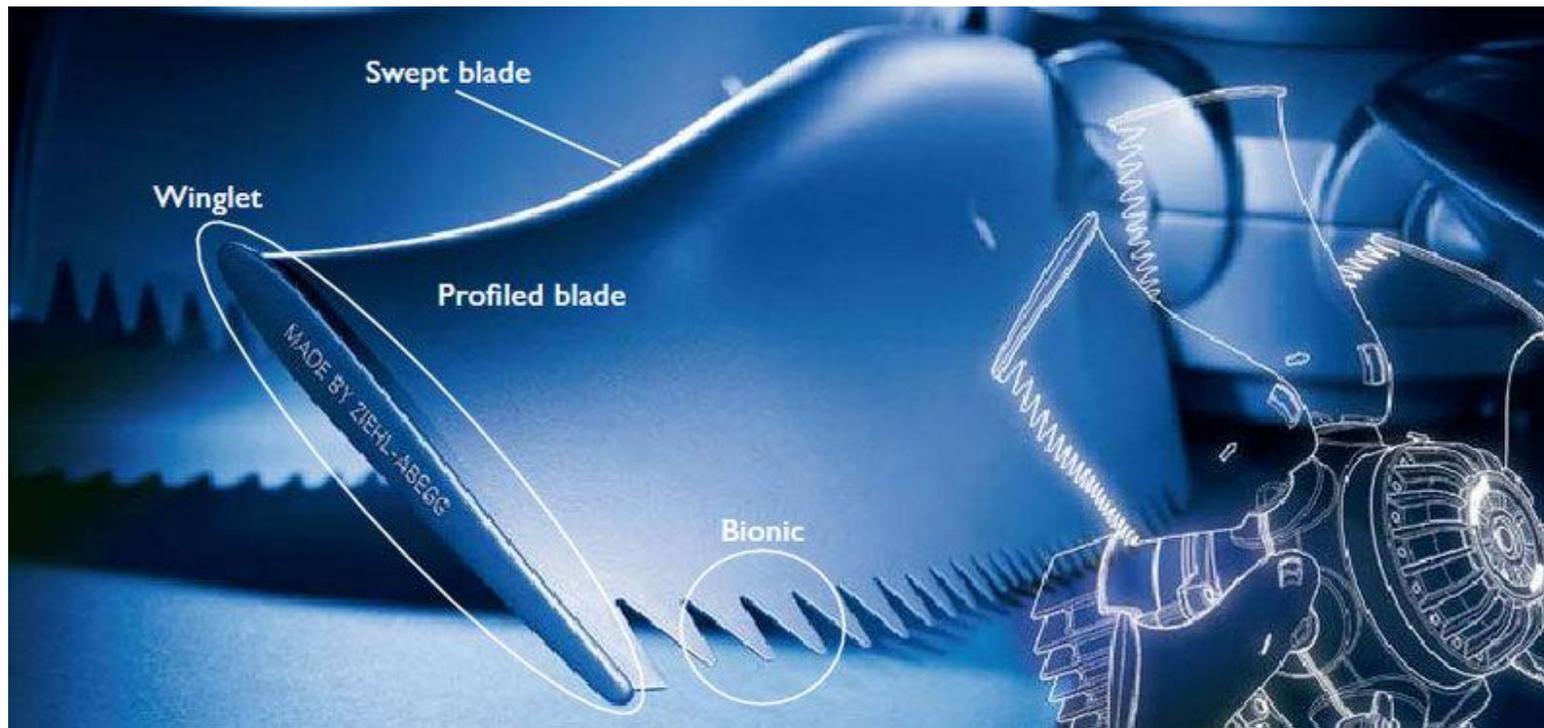
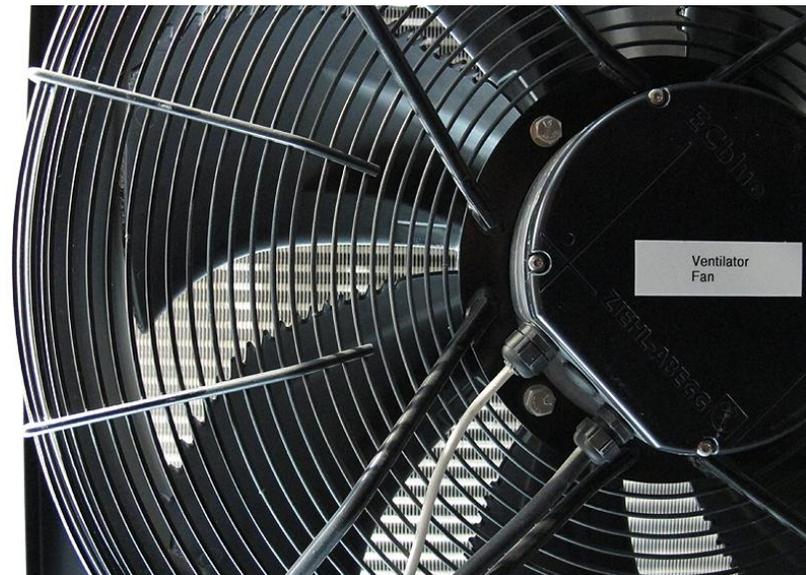


Bild: Ziehl-Abegg

- Grosszügig dimensionierte, langsam laufende Ventilatoren
- Unabhängig von der Drehzahl bei maximalem Wirkungsgrad betreiben
- Die Paarung Verdampfer/Ventilator ist entscheidend!

Experimenteller Nachweis und Resultate

L/W-WP Prototyp mit Inverter-Scroll mit Dampfeinspritzung

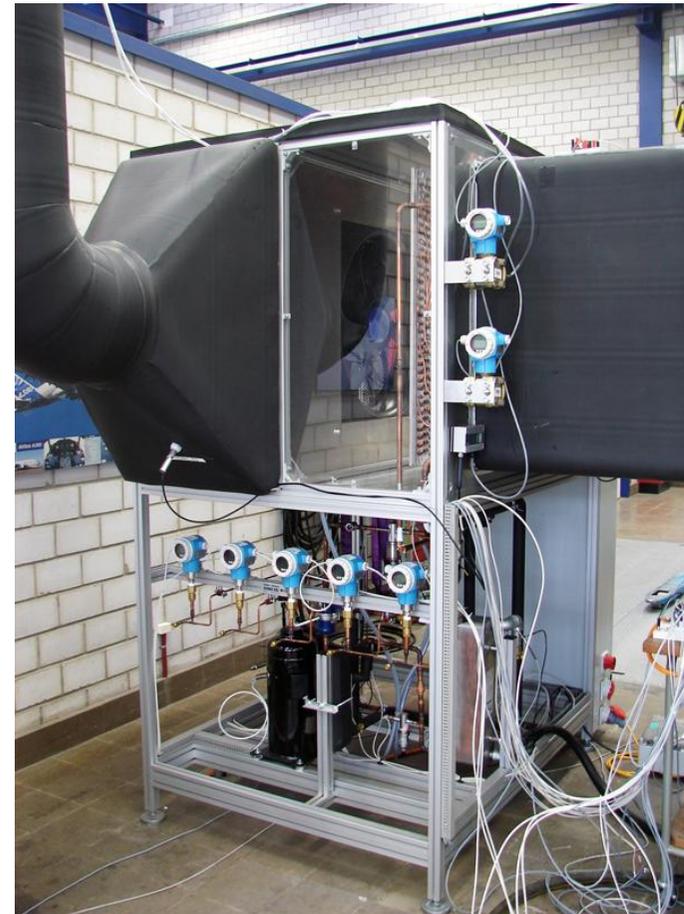


Kompressor: Scroll-Kompressor mit Dampfeinspritzung und Inverter von Emerson Climate Technologies

Ventilator: kontinuierlich regelbarer Axialventilator FE2owlet mit EC-Motor von Ziehl-Abegg

Experimenteller Nachweis und Resultate

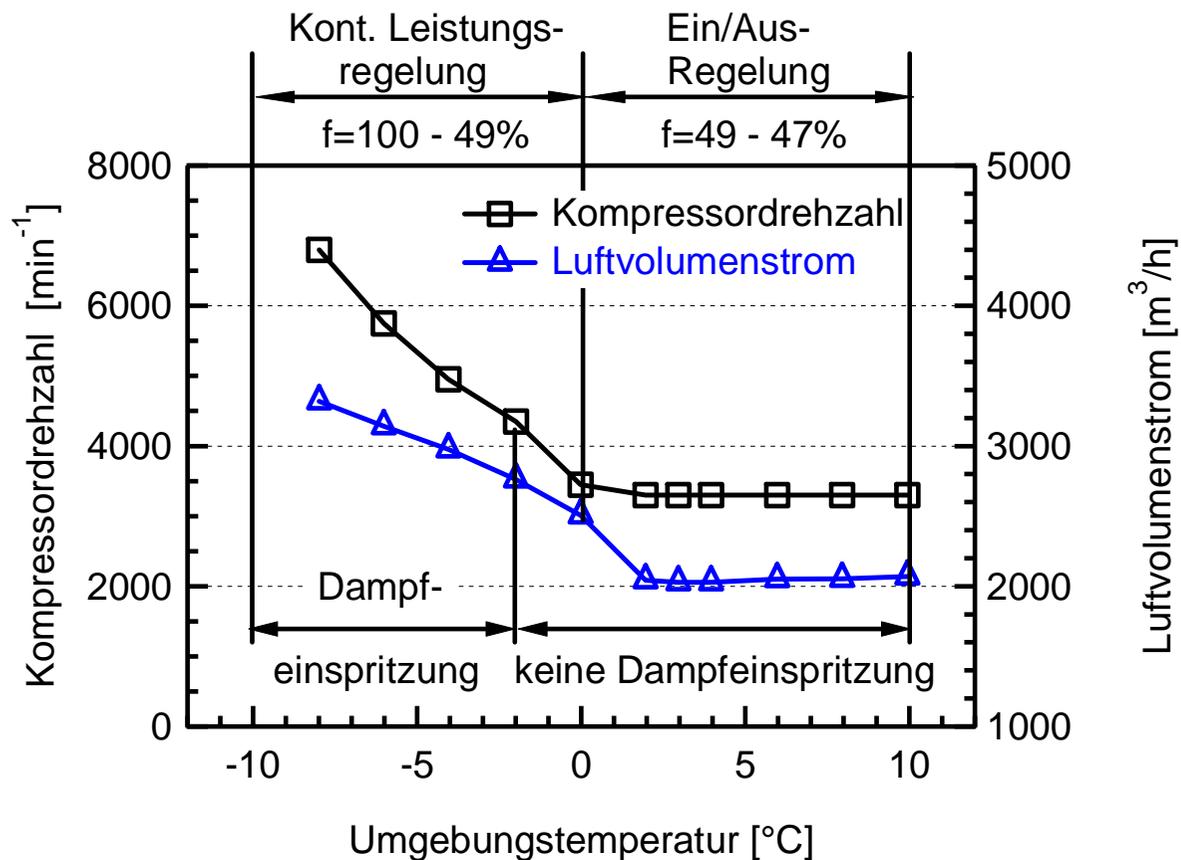
Prüfstand für Luft/Wasser-Wärmepumpen



Experimenteller Nachweis und Resultate

L/W-WP-Prototyp – Betriebscharakteristik und Effizienz:

Kompressordrehzahl & Luftvolumenstrom (Regelung auf max. Effizienz)

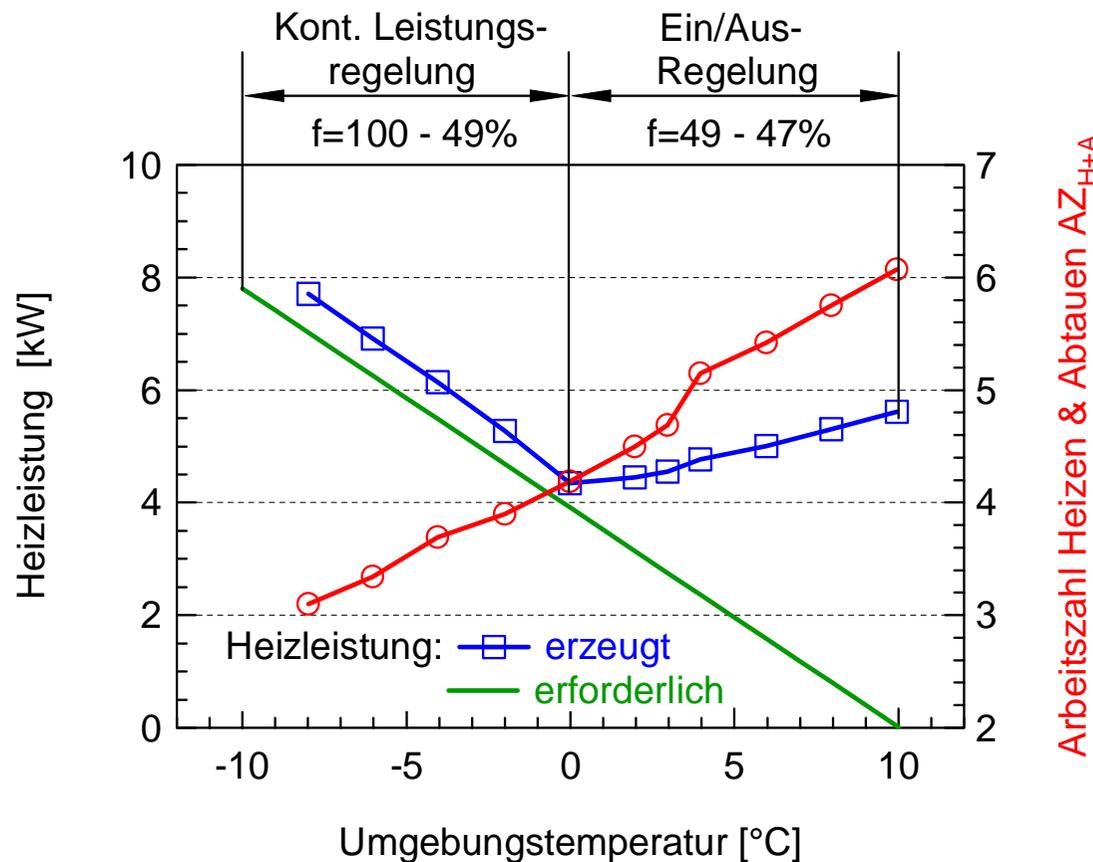


- Lineare Reduktion der Kompressor- und Ventilator Drehzahl im Bereich der Umgebungstemperaturen von -10°C bis 0°C.
- Konstante Einstellungen von Kompressor und Ventilator bei Umgebungstemperaturen über 0°C

Experimenteller Nachweis und Resultate

L/W-WP-Prototyp – Betriebscharakteristik und Effizienz:

Heizleistung & Arbeitszahl AZ_{H+A} inkl. Ventilator und Abtauung



JAZ_{H+A} nach Methode
von v. Böckh et al. [4]

$$JAZ_{H+A} = 4.41$$

[4] von Böckh *et al.*: Geregelte Wärmepumpe Pioneer – Geregelt Luft/Wasser-Wärmepumpe für Sanierungen von Öl- und Elektroheizung, BFE, 2005.

Heizkurve Minergie: VL/RL 30/25°C bei -10°C

Experimenteller Nachweis und Resultate

L/W-WP-Prototyp – Betriebscharakteristik und Effizienz

Jahresarbeitszahl JAZ

(inkl. Ventilator, ohne HW-Umwälzpumpe, ohne Warmwasser, Klimaregion Zürich):

Heizkurve	Minergie-Standard	Hochwertig sanierter Altbau	Sanierter Altbau
Vorlauf-/Rücklauf-temperatur bei -10°C Umgebungstemperatur	30°C/25°C	41°C/35°C	46°C/38°C
Jahresarbeitszahl mit Abtauung JAZ_{H+A}	4.41	4.40	3.79

Zum Vergleich JAZ aus Feldmessungen:

FAWA [5]: $JAZ = 2.6$ (nJAZ2, ohne Speicher)

Fraunhofer [6]: $JAZ = 2.95$ (AZ1, inkl. Warmwasser)

[5] Erb *et al.*: Feldanalysen von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003, BFE, 2004.

[6] Miara *et al.*: Wärmepumpen Effizienz, Fraunhofer ISE, 2011.

Experimenteller Nachweis und Resultate

Feldmessungen – Betriebscharakteristik und Effizienz:

- Installation in Einfamilienhaus von Beat Wellig, Suhr
- Feldmessung läuft seit Dezember 2011

Feldmessung: $JAZ_{H+A} = 4.1 - 4.3$ (Heizen¹ und Abtauen)

$JAZ_{H+A+BWW} = 3.7 - 3.8$ (inkl. Brauchwarmwasser²)



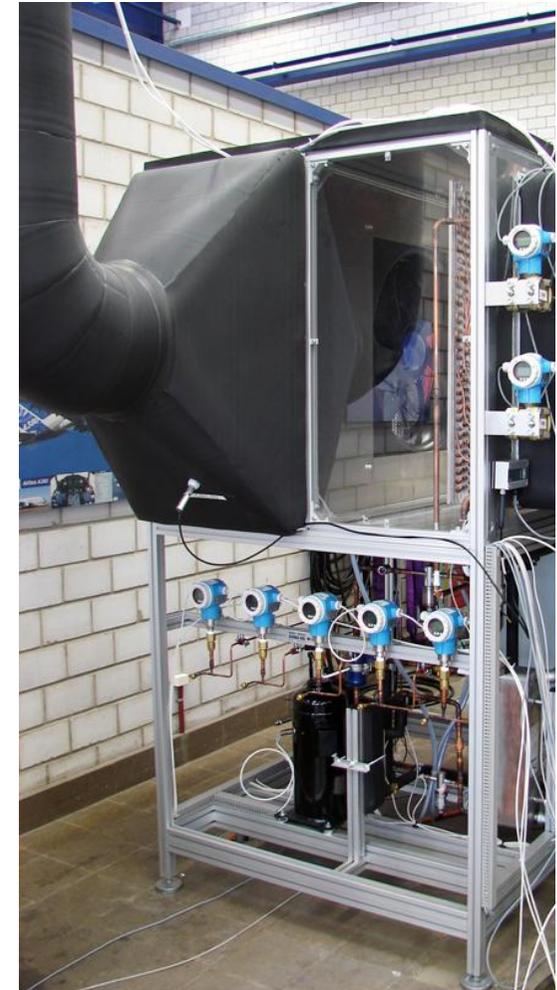
Bild: Beat Brechbühl

¹ Heizkurve: VL/RL 32/28°C bei -8°C (Auslegung gemäss SIA), real leicht höhere VL/RL-Temp.

² Frischwassersystem: maximale BWW-Temp. 46°C

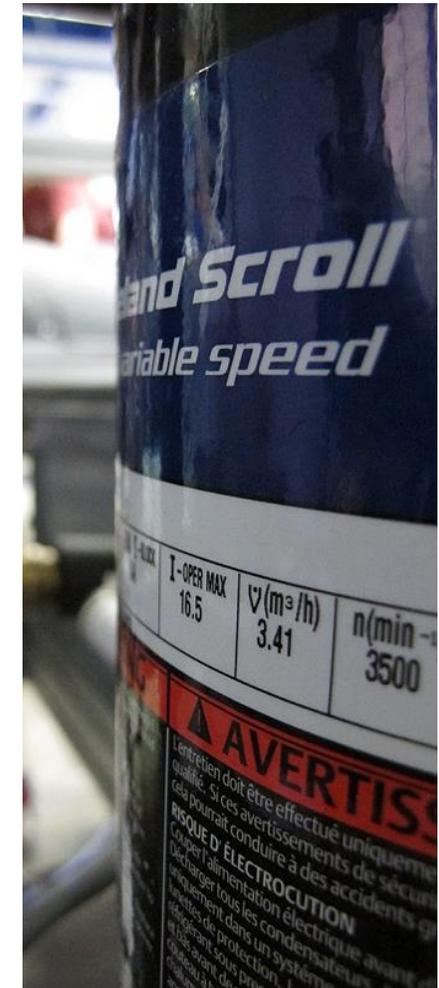
Schlussfolgerungen (1)

- Effiziente L/W-WP mit Leistungsregelung erfordern die simultane Regelung von Kompressor *und* Ventilator
- Das Teillastverhalten von Kompressor und Ventilator ist entscheidend
- Markante Effizienzsteigerung durch Leistungsregelung möglich: JAZ im Bereich von heutigen S/W-WP mit Ein/Aus-Regelung
- Potenzial insbesondere für hochwertig sanierte Altbauten hoch!



Schlussfolgerungen (2)

- Optimierte Verdampfer/Ventilator-Paarungen, gut dimensionierte Luftkanäle, geeignete Aufstellungen = Schlüssel zu geringen Schallemissionen
- Durch kontinuierliche Leistungsregelung kann Eis- und Frostbildung markant reduziert werden
- Allgemeingültige Auslegungs- und Planungsgrundlagen aus BFE-Projekten «LOREF» und «Leistungsregelung» beachten.
- Stadtverträgliche Realisierung effizienter und wirtschaftlicher L/W-WP ist möglich!



Hinweis auf UGZ-Projekt

Stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger

Autoren:

Ralf Dott, Prof. Dr. Thomas Afjei
Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Muttenz

Auftraggeber:

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz
Energie und Nachhaltigkeit

Dank

Projektförderung und Partner

- Bundesamt für Energie (BFE)
- Emerson Climate Technologies GmbH
- Ziehl-Abegg Schweiz AG
- Heliotherm Wärmepumpentechnik GmbH
- Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!