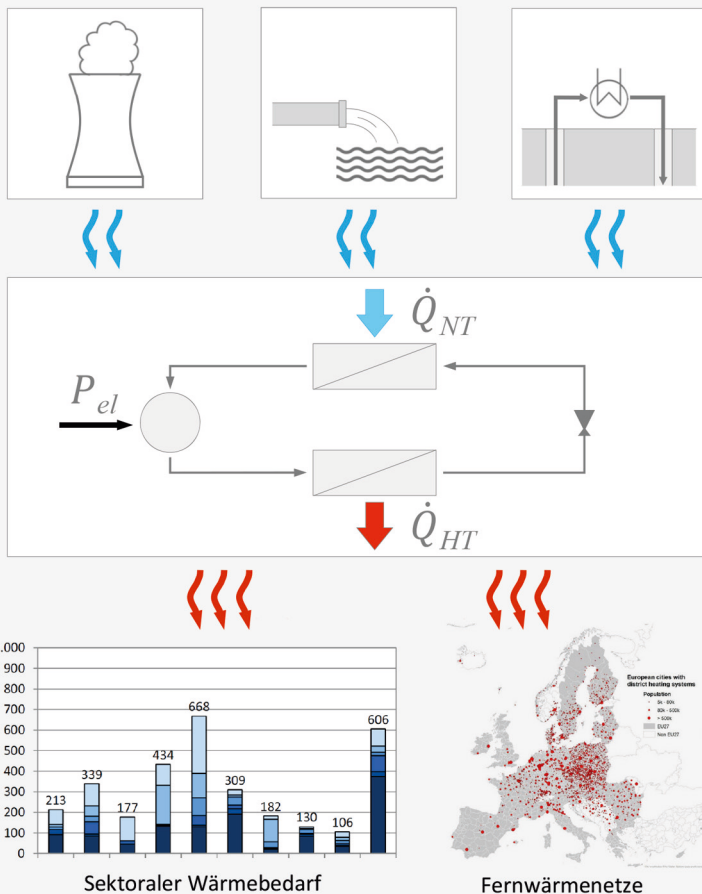




ETV Online Tagung 2020

Industrielle Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen im Energiesystem

Detlef Stolten, Georg Markowz (Hrsg.)

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 525

ISBN 978-3-95806-519-2

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3)

ETV Online Tagung 2020

Industrielle Groß- und Hochtemperatur- wärmepumpen im Energiesystem

Detlef Stolten, Georg Markowz (Hrsg.)

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 525

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-519-2

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek.
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.



ProcessNet, eine Initiative von DecHEMA und VDI-GVC
ist die deutsche Plattform für Verfahrenstechnik,
Chemieingenieurwesen und Technische Chemie. Hierunter wird die Fachgruppe
Energieverfahrenstechnik unter der Fachgemeinschaft Sustainable Production,
Energy and Resources (SuPER) geführt.

Herausgeber
und Vertrieb: Forschungszentrum Jülich GmbH
Zentralbibliothek, Verlag
52425 Jülich
Tel.: +49 2461 61-5368
Fax: +49 2461 61-6103
zb-publikation@fz-juelich.de
www.fz-juelich.de/zb

Umschlaggestaltung: Grafische Medien, Forschungszentrum Jülich GmbH

Titelbild: University Stuttgart, Institute for Energy Economics and
Rational Use of Energy, Heat pumps for industrial applications,
Chillventa, 2014 (Grafik unten links)
Heat Roadmap Europe 2050, First Pre-Study for the EU 27, 2012
(Grafik unten rechts)

Druck: Grafische Medien, Forschungszentrum Jülich GmbH

Copyright: Forschungszentrum Jülich 2020

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment, Band / Volume 525

ISSN 1866-1793
ISBN 978-3-95806-519-2

Vollständig frei verfügbar über das Publikationsportal des Forschungszentrums Jülich (JuSER)
unter www.fz-juelich.de/zb/openaccess.



This is an Open Access publication distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/),
which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Inhalt

Vorwort

Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Industrie: Potentiale für Prozesswärme,
Marktübersicht, aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbeispiele
Dr. Cordin Arpagaus

Rahmenbedingungen und Märkte für Industriewärmepumpen
Dr. Stefan Wolf

Großwärmepumpen für industrielle Prozessdampferzeugung und Fernwärmenetze
Christian Bergins, Torsten Buddenberg, Simon Waldburg

Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen als Schlüsselement der Wärmewende
N. Wenn, T. Neuenhahn, J. Schäfer, C. Hüttl

Vorwort

Die Transformation des Energiesystems zu einer erneuerbaren Energiewirtschaft wird mit steigendem Umsetzungsgrad immer konkreter gedacht. Nachdem zunächst nennenswerte Kapazitäten der erneuerbaren Erzeugung über Windenergie und Photovoltaik aufgebaut worden waren, wurden die Speicherung allgemein und dann folgerichtig die Sektorkopplung in den Vordergrund gestellt. Dabei ist die Kopplung des Stromsektors zum Verkehr offensichtlich, und die des Heizwärmesektors über elektrische Wärmepumpen längerfristig ebenfalls.

Deutschland als bedeutende Industrie- und Exportnation benötigt darüber hinaus tragfähige - also großskalige, versorgungssichere und kostengünstige - Lösungen zur Energieversorgung in der Industrie. Davon sind erhebliche Teile der Wasserstoffstrategie geprägt. Für die Wärmeversorgung in der Industrie sind Wärmepumpen attraktiv, sofern sie große Leistungen abdecken und höhere Temperaturniveaus für die Prozesswärme zur Verfügung stellen. Diese Anforderungen gehen erheblich über die der Wärmepumpen für Haushalte hinaus.

Daher hat sich die Fachgruppe Energieverfahrenstechnik im Rahmen der deutschen Plattform für Verfahrenstechnik, Chemieingenieurwesen und Technische Chemie ProcessNet der Fragestellung im Rahmen eines Onlineseminars angenommen, welchen Status Wärmepumpen und Hochtemperaturwärmepumpen heute haben und welches Potenzial sie zukünftig darstellen.

Es ist gelungen, dafür vier ausgewiesene Experten aus Industrie und Akademie trotz kurzer Vorlaufzeit für das Online-Seminar als Vortragende zu gewinnen. Die Entscheidung für eine Online-Präsentation war stark von dem Willen getragen, auch während der Corona-Pandemie im Jahr 2020 so effizient und normal weiter zu arbeiten wie möglich. Wir hoffen, dass dieses Seminar dazu beigetragen hat, sowohl das fachlich-inhaltliche Thema der Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen tiefer zu beleuchten und auf größerer Breite bekanntzumachen als auch aufzuzeigen, wie auch in schwierigen Zeiten sehr effizient Wissen online vermittelt und sogar effektiv diskutiert werden kann.



Detlef Stolten
Vorsitzender



Georg Markowz
Stellv. Vorsitzender

ProcessNet Fachgruppe Energieverfahrenstechnik

Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Industrie: Potentiale für Prozesswärme, Marktübersicht, aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbeispiele

Dr. Cordin Arpagaus

NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs,
Institut für Energiesysteme IES,
Werdenbergstrasse 4,
CH-9471 Buchs

cordin.arpagaus@ost.ch, Tel. +41 81 755 34 94

Das Thema Hochtemperatur-Wärmepumpen (HTWP) ist in der Industrie sehr aktuell, insbesondere für Anwendungen der Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung. Mit dem Umstieg weg von fossilen Energieträgern und der Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz kann der CO₂-Footprint drastisch reduziert werden. Hier spielen elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpen als effiziente Wärmetransformatoren für Heiz- und Kühlaufgaben eine Schlüsselrolle. Dieser Beitrag gibt eine aktuelle Marktübersicht zu verschiedenen industriellen Wärmepumpen, die bereits heute auf dem Markt erhältlich sind. Zudem werden aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbeispiele dargestellt. Die Marktübersicht zeigt ein grosses Anwendungspotential für industrielle HTWP, insbesondere für die Bereitstellung von Heißwasser, Heißluft und Prozeßdampf. Bereits praktisch umgesetzte industrielle Anwendungen finden sich in verschiedenen Prozessen, wie Trocknung (z.B. Ziegel, Holz, Stärke, Tierfutter, Milchpulver, Papier), Verdampfung (z.B. Brauereien), Pasteurisierung (z.B. Milchprodukte, Fruchtsäfte), und Dampferzeugung (z.B. Destillation). Zahlreiche Kompressionswärmepumpen von verschiedenen Herstellern sind verfügbar mit Vorlauftemperaturen von 90 bis 165 °C. In den kommenden Jahren ist eine zunehmende Kommerzialisierung der Wärmepumpentechnologie in industrielle Prozesse zu erwarten. Die Effizienz bzw. die Leistungszahl (COP) liegt durchschnittlich bei etwa 4.0 mit einem Temperaturhub von 50 K von Wärmequelle- zu Senke. Die Wärmepumpenkreisläufe sind meist einstufig aufgebaut und verwenden je nach Leistungsklasse Schrauben-, Turbo-, oder Hubkolbenkompressoren. Kreislaufoptimierungen werden internen Wärmeübertragern, Economizer-Schaltungen und Kaskaden-Anordnungen erreicht. Die Wärmepumpen Integration ist von Fall zu Fall stark unterschiedlich. Meist wird die Wärmepumpe mit Speicher auf der Wärmesenke gekoppelt oder bivalent mit einem Gaskessel für Spitzenlastabdeckung betrieben. Im Bereich der Technologieentwicklung gibt es eine hohe Forschungsaktivität auf internationaler Ebene. Die Hauptforschungsziele sind die Erweiterung der Quellen- und Senkentemperaturen auf höhere Niveaus, die Verbesserung der Wärmepumpeneffizienz, die Erprobung neuer umweltfreundlicher Kältemittel, und insbesondere der Scale-up vom Labor- in den Industriemasstab. Ein Generationenwechsel bei den Kältemitteln zeichnet sich ab. Bewährte fluorierte Kältemittel mit hohem Treibhauspotenzial werden durch alternative Kältemittel abgelöst. Natürliche Kältemittel, wie Kohlenwasserstoffe (z.B. Butan, Pentan), Kohlendioxid, Wasser oder auch verschiedene synthetische Hydrofluorolefin-Kältemittel (HFO) haben hohe Zukunftsperspektiven und werden vermehrt eingesetzt. Regulatorische Massnahmen werden einen entscheidenden Einfluss auf die Umrüstung von bestehenden Wärmepumpen haben. Für eine breitere Anwendung der heutigen HTHP-Technologie in den Industriesektoren sind folgende Stossrichtungen entscheidend:

- Stärkere Verbreitung der Kenntnisse über die Integration von HTWP in industrielle Prozesse
- Erhöhung der Verfügbarkeit von Kältemitteln mit niedrigem Treibhauspotenzial, sowie
- Reduktion des Preisverhältnisses von Strom zu fossilen Brennstoffen.



Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Industrie:

Potentiale für Prozesswärme,
Marktübersicht,
Aktuelle Entwicklungen,
Anwendungsbeispiele

Dr. Cordin Arpagaus

NTB Interstaatliche Hochschule für
Technik Buchs
Institut für Energiesysteme IES



NTB
Interstaatliche Hochschule
für Technik Buchs
FHO Fachhochschule Ostschweiz

1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im
Energiesystem», 22. Juni 2020

IES INSTITUT FÜR
ENERGIESYSTEME

Publikationen

Buch «Hochtemperatur-Wärmepumpen»

Link: <https://www.vde-verlag.de/buecher/494550/hochtemperatur-waermepumpen.html>

NTB
Interstaatliche Hochschule
für Technik Buchs
FHO Fachhochschule Ostschweiz



VDE
 VERLAG Technik. Wissen. Weiterwissen.

Alle Kategorien ▾ Produktsuche

NORMEN ▾ BÜCHER ▾ SEMINARE ▾ ZEITSCHRIFTEN ▾ SERVICE ▾

HOME / BÜCHER / Hochtemperatur-Wärmepumpen

Rubriken: Kältetechnik / Das Gebäude - Gebäudetechnik, TGA und Facility Management

Arpagaus, Cordin

Hochtemperatur-Wärmepumpen

Marktübersicht, Stand der Technik und Anwendungspotenziale

2019, 138 Seiten, 170 x 240 mm, Broschur
ISBN 978-3-8007-4550-0, E-Book: ISBN 978-3-8007-4551-7

Persönliche VDE-Mitglieder erhalten auf diesen Titel 10% Rabatt

► Inhaltsverzeichnis
 ► Vorwort
 ► Leseprobe

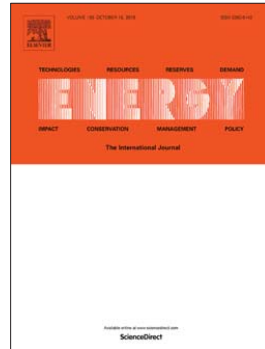
Zum Einstieg unsere Übersichtsarbeiten

Arpagaus C., Bless F., Schiffmann J., Bertsch S.S.: [Multi-temperature heat pumps: A literature review](#), International Journal of Refrigeration, 2016, 69, 437–465.



1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
 22. Juni 2020

Arpagaus C., Bless F., Uhlmann M., Schiffmann J., Bertsch S.S.: [Review - High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials](#), Energy, 2018, 152, 985-1010



cordin.arpagaus@ost.ch

Übersicht

- **Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen**
- **Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen**
- **Aktuelle Entwicklungen im Bereich Hochtemperatur-Wärmepumpen**
- **Anwendungsbeispiele von Industrie-Wärmepumpen**



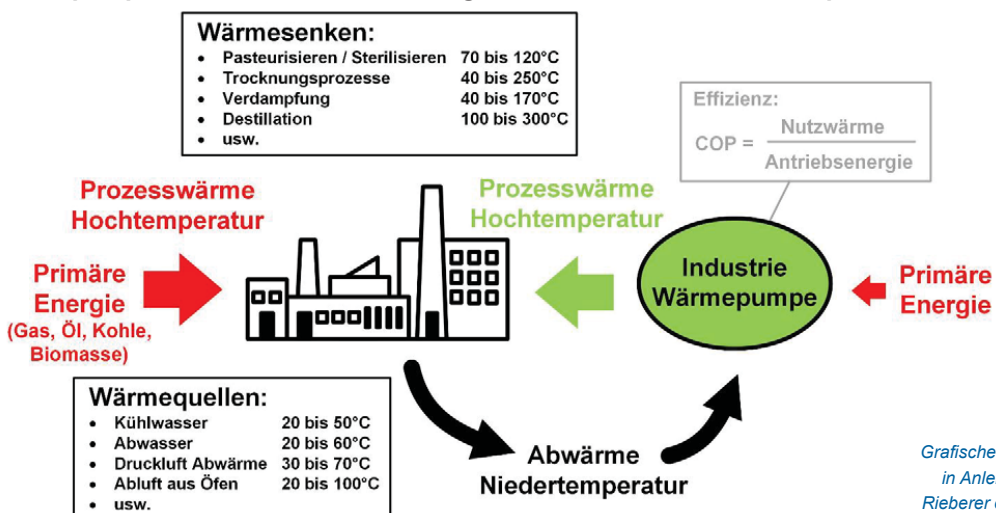
1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
 22. Juni 2020

cordin.arpagaus@ost.ch

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

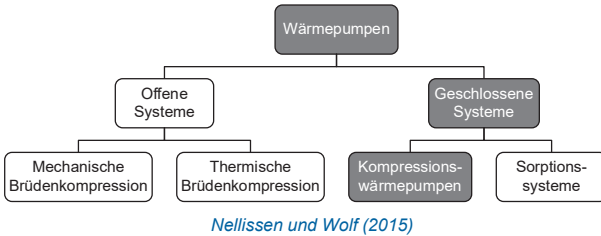
Prinzip der innerbetrieblichen Abwärmenutzung mittels industrieller Wärmepumpen – Effiziente Umwandlung von Abwärme in höhere Temperaturen



Grafische Darstellung
in Anlehnung an
Rieberer et al. (2014)

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Klassifizierung der Wärmepumpentechnologien



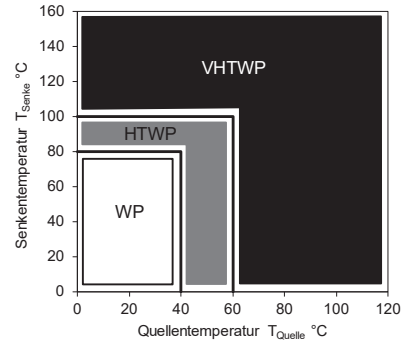
Definition: Industrierärmepumpe

Wärmepumpen im **mittleren und hohen Leistungsbereich** und Temperaturen bis 200 °C, die zur **Wärmerückgewinnung** und **Wärmeaufwertung** in industriellen Prozessen, aber auch zum **Heizen, Kühlen und Klimatisieren** in **Gewerbe- und Industriegebäuden** eingesetzt werden können.

Jakobs (2020): IEA HPT Annex 48 Industrial Heat Pumps

1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
22. Juni 2020

Entwicklung der Temperaturniveaus für Kompressionswärmepumpen



VHTWP: Höchsttemperatur Wärmepumpe (> 100 °C)
HTWP: Hochtemperatur-Wärmepumpe (80 bis 100 °C)
WP: Konventionelle Wärmepumpe (bis etwa 80 °C)

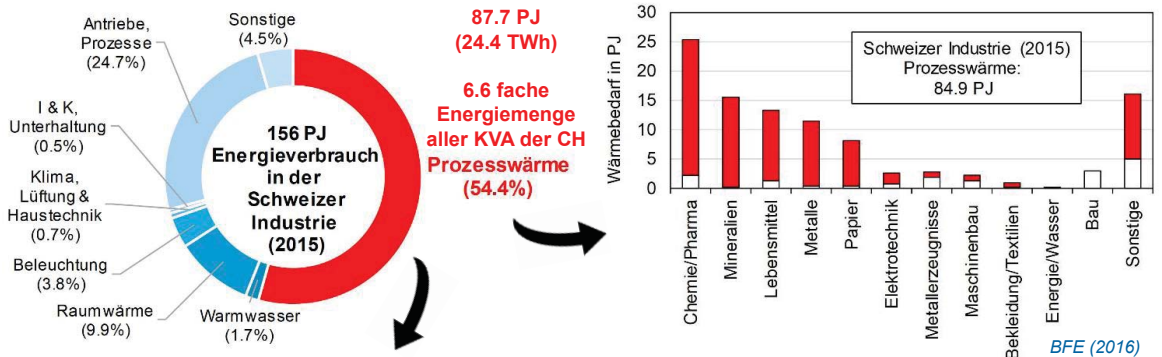
Bobelin et al. (2012), IEA (2014),
Jakobs und Laue (2015), Peureux et al. (2012, 2014)

cordin.arpagaus@ost.ch

7

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Industrieller Energieverbrauch in der Schweiz – Wärmebedarf nach Industriezweigen und Temperaturbereichen



Zum Vergleich Deutschland 2015:

40% der Energie für die Wärmeerzeugung war Prozesswärme
BMW (2016)

Steigende Bedeutung für Wärmepumpen in der Schweizer Industrie (Expertenumfrage, Wolf et al. 2017)

- Prio 1: Nahrung
- Prio 2: Chemie/Pharma, Papier, Maschinenbau & Textil
- Prio 3: Metallserzeugnisse, Metalle, Mineralien

1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
22. Juni 2020

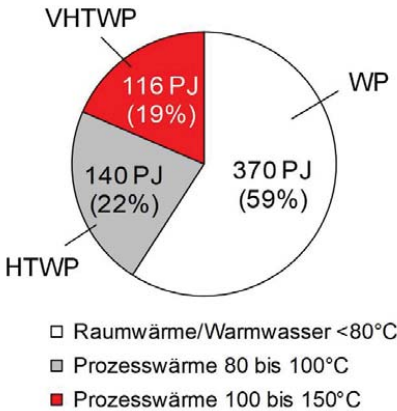
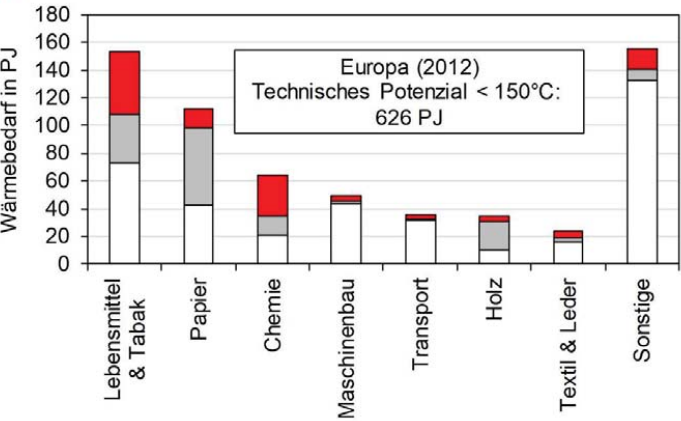
cordin.arpagaus@ost.ch

8

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Potential für Hochtemperatur-Wärmepumpen in Europa

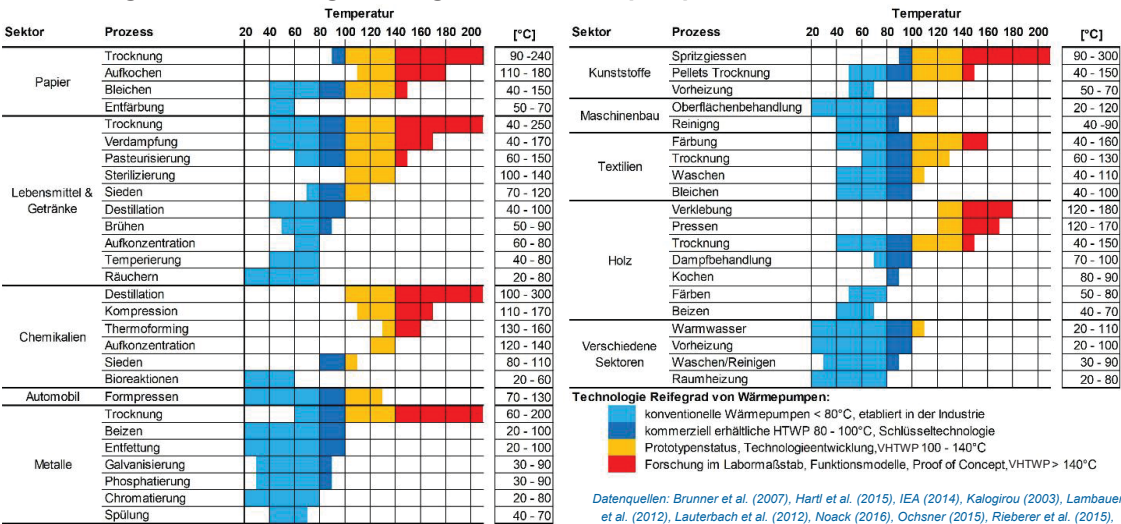
100 bis 150°C 80 bis 100°C Raumwärme/Warmwasser <80°C



Basierend auf Eurostat-Daten von 33 EU-Mitgliedsländern aus dem Jahre 2012, Nellissen und Wolf (2015)

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

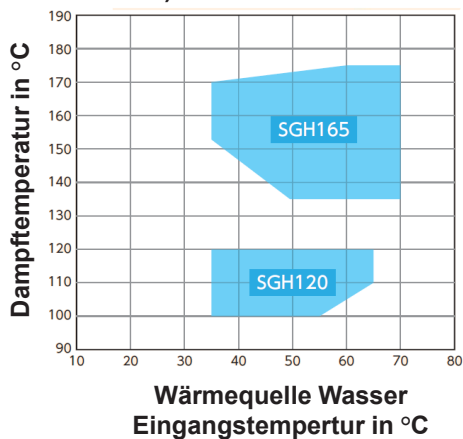
Übersicht über Temperaturniveaus industrieller Prozesse mit überlagertem Technologie Reifegrad von Wärmepumpen



Datenquellen: Brunner et al. (2007), Hartl et al. (2015), IEA (2014), Kalogirou (2003), Lambauer et al. (2012), Lauferbach et al. (2012), Noack (2016), Ochsner (2015), Rieberer et al. (2015), Watanabe (2013), Weiss (2007, 2005), Wolf et al. (2014)

Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Dampferzeugende Wärmepumpe von Kobelco (Japan) Steam Grow Heat Pump (SGH120 und SGH165)

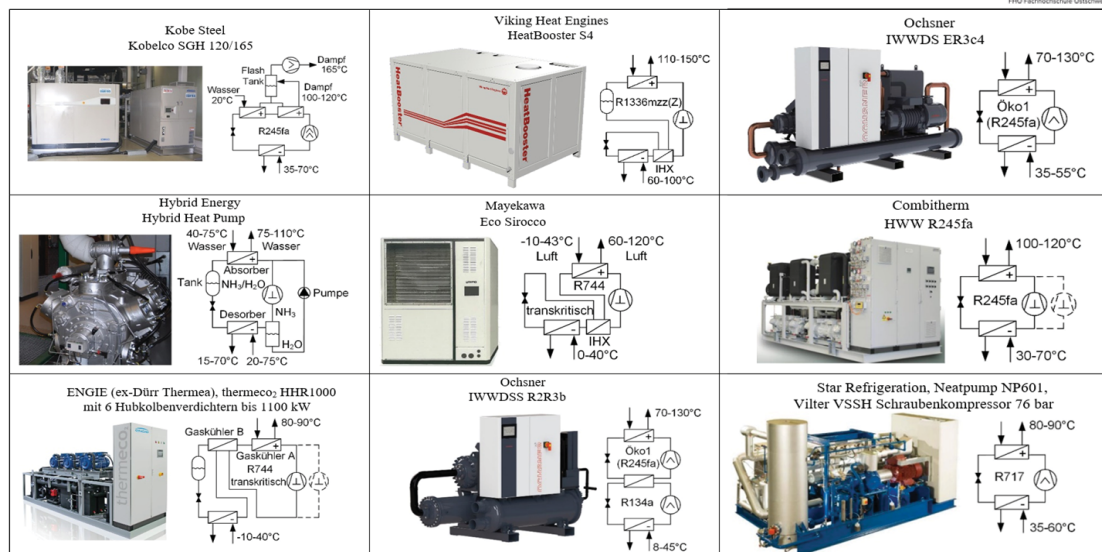


SGH120TF	SGH165FM
0.1MPaG	0.6MPaG
120°C	165°C
65°C	70°C
370kW	624kW
0.51t/hr	0.84t/hr
3.5	2.5
35~65°C	35~70°C
0.0~0.1MPaG	0.2~0.8MPaG

Link: https://www.kobelco.co.jp/products/download/machinery/files/kobelco_heatpump_sgh.pdf

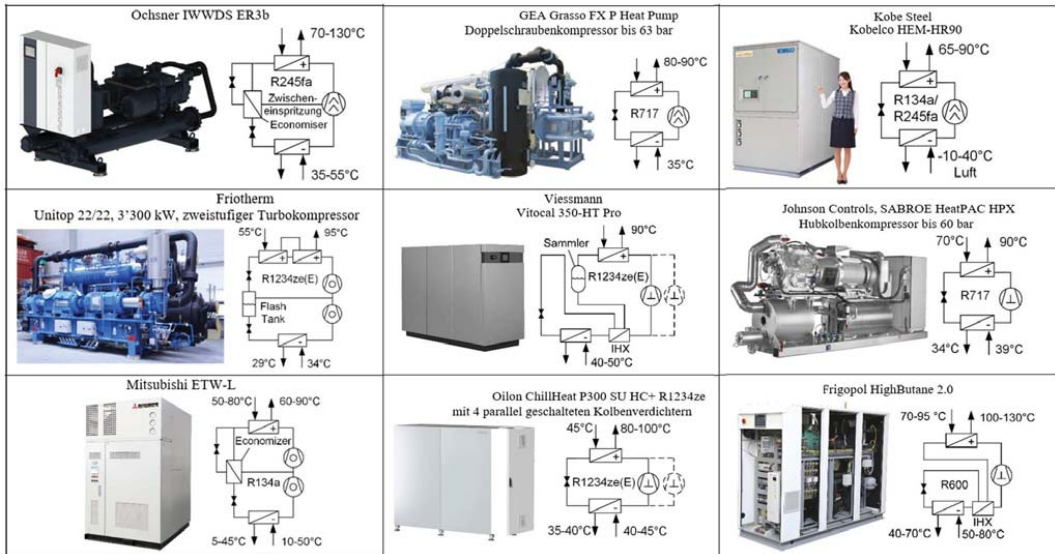
Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Auswahl an industriellen HTWP mit typischen Wärmepumpenkreisläufen



Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Auswahl an industriellen HTWP mit typischen Wärmepumpenkreisläufen



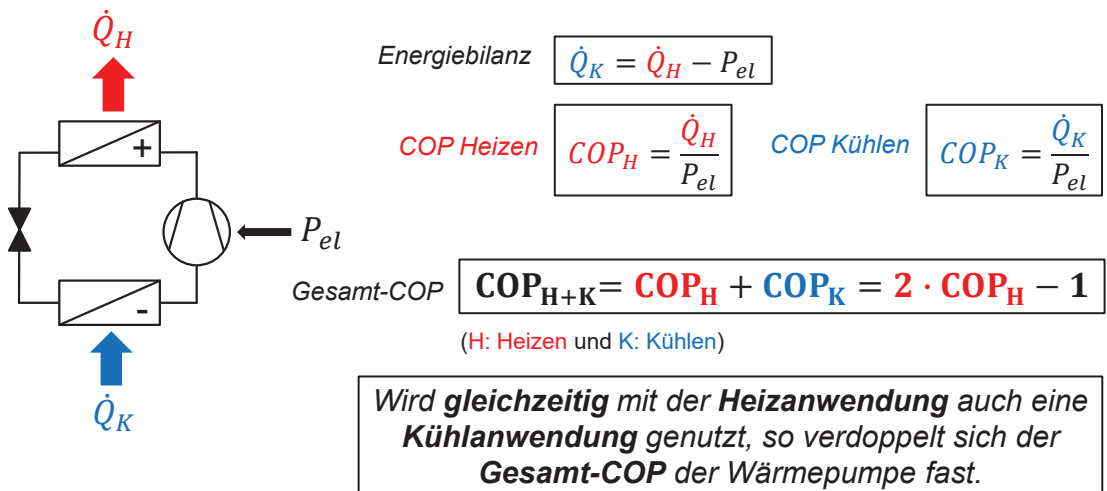
1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
22. Juni 2020

cordin.arpagaus@ost.ch

15

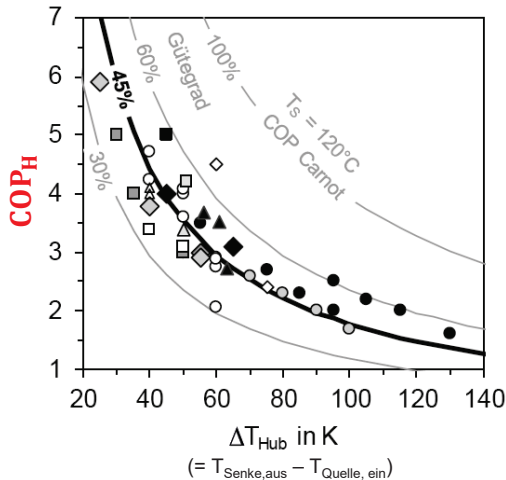
Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Wirkungsgrad (Effizienz, COP) einer Wärmepumpe mit kombinierter Kühlanwendung



Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Leistungszahl (COP) und Gütegrad verschiedener industrieller HTWP in Funktion vom Temperaturhub



COP_H: Leistungszahl im Heizungsfall

ΔT_{Hub} : Temperaturhub von Quelle zu Senke in K

- Kobelco SGH 120/165
- Kobelco HEM-HR90
- Viking HeatBooster S4 R1336mzz(Z)
- ◆ Ochsner IWWDS R2R3b
- ◆ Ochsner IWWDS ER3b
- ◆ Ochsner IWWDS ER3c4
- ◇ Hybrid Heat Pump
- ▲ Frioform Unitop 22/22
- △ Combitherm
- GEA Grasso FX P
- Star Refrigeration Neatpump
- SABROE HeatPAC HPX
- Viessmann Vitocal 350-HT Pro
- △ Mitsubishi ETW-L

COP-Bereich liegt zwischen 1,6 und 5,8 je nach Temperaturhub und Wärmepumpentyp

COP von etwa 4.0 bei 50 K Temperaturhub

Fit-Kurve (45% Gütegrad):

$$COP_H = 68.455 \cdot \Delta T_{Hub}^{-0.76}, R^2=0.78$$

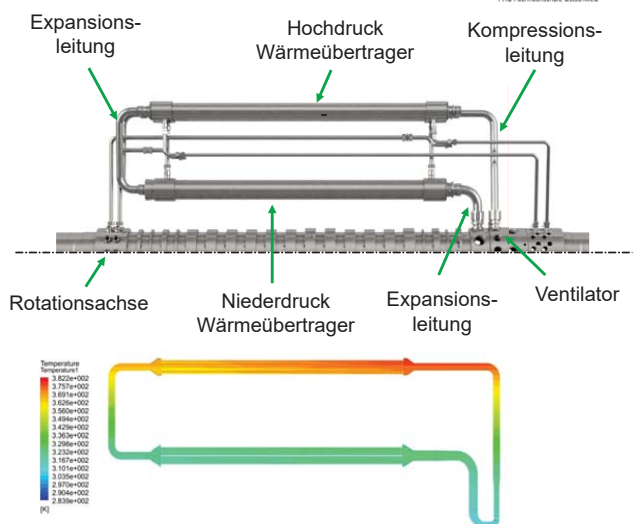
$$\text{Gütegrad} = COP_H / COP_{Carnot}$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_S}{T_S - T_Q}$$

Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Rotationswärmepumpe von ecop Technologies GmbH (Österreich)

- bis 150 °C, flexible Temperaturbereiche
- (-20 °C bis +150 °C), 700 kW Heizleistung
- Hoher COP, hohe Spreizungen
- Edelgas als Kältemittel, Joule-Prozess



Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Rotationswärmepumpe von ecop Technologies GmbH (Österreich)

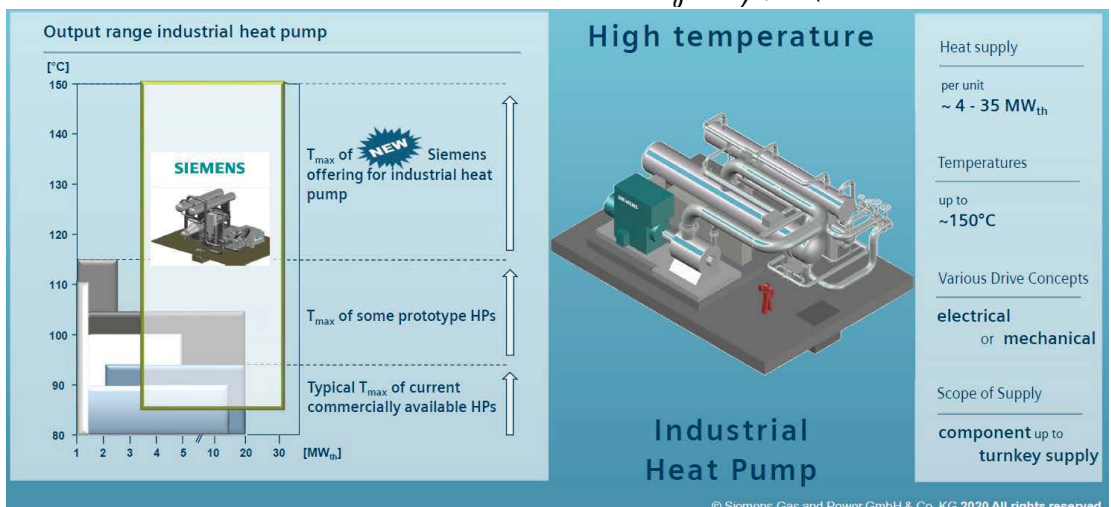


Video präsentiert von
Längauer et al. (2019) an der
DKV-Tagung 2019 in Ulm

Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Großskalige Hochtemperatur-Wärmepumpen von für Fernwärme und industrielle Anwendungen

SIEMENS
Ingenuity for life

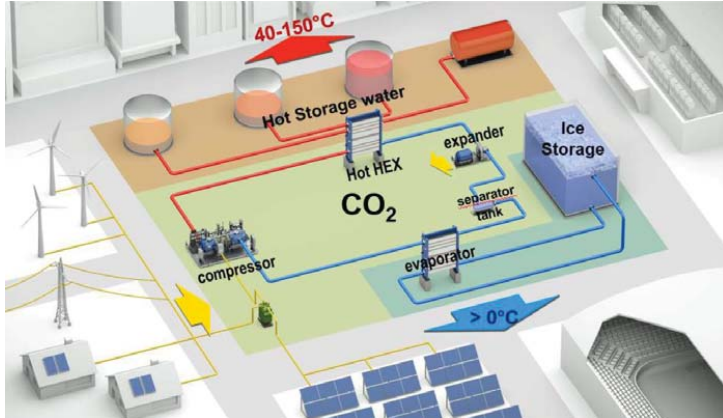


Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Electro-thermal energy storage (ETES) von MAN Energy Solutions Schweiz AG

Modulare Hochtemperatur-Wärmepumpe im Großmaßstab

- Trigeneration (Wärme, Kälte, Strom), mit Speichermöglichkeiten
- 0 °C bis 150 °C, modular 5 bis 100 MW_{th}
- CO₂ (R744) als Kältemittel



Decorvet & Jacquemoud: 2nd Conference on High Temperature Heat Pumps, Copenhagen, 2019

1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
22. Juni 2020

cordin.arpagaus@ost.ch



HOFIM™ Kompressor

(High speed Oil Free Integrated Motor compressor)



21

Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

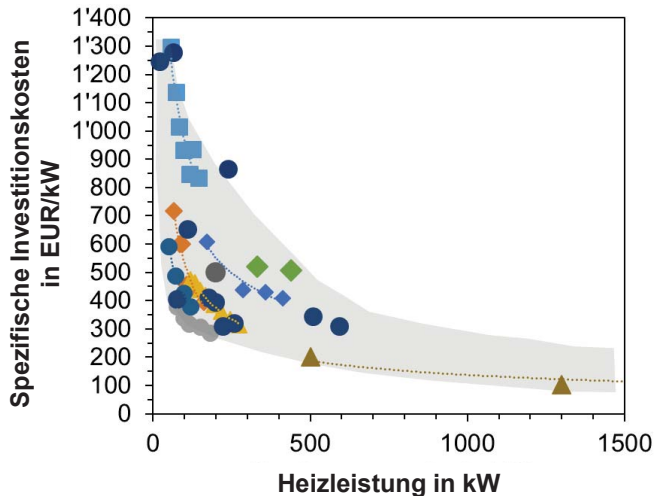
Herausforderungen für eine raschere Umsetzung von Wärmepumpen in der Industrie

- **Geringer Bekanntheitsgrad** der technischen Möglichkeiten und der wirtschaftlich realisierbaren Anwendungspotenziale von industriellen Wärmepumpen bei Anwendern, Beratern, Investoren, Anlagenplanern, Herstellern und Installateuren
- **Mangelndes Wissen über die Integration** von Wärmepumpen in bestehende industrielle Prozesse
- **Massgeschneiderte Designs**, d.h. kleine Losgrößen (geringer Skaleneffekt)
- **Zu lange Amortisation Zeiten**, die grösser sind als bei gas- oder ölbefeuerten Kesseln (gefordert sind oft ≤ 3 Jahre). Mit sinkenden Strom- und steigenden Gaspreisen werden geringere Amortisationszeiten erreicht.
- **Konkurrierende Heizungstechnologien** (z.B. mit fossilen Brennstoffen zu niedrigen Energiepreisen, oder Biomasse, Solarthermie, usw.)
- **Anforderungen im Bereich Wärmespeicherung**, um den **zeitlichen Versatz** zwischen Bedarf und Angebot auszugleichen (z.B. WP für Bandlast, Gaskessel für Leistungsspitzen)
- **Mangel an verfügbaren Verdichtern und Kältemitteln** mit niedrigem Treibhauspotenzial (GWP) und Ozonabbaupotenzial (ODP) von Null

22

Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Spezifische Investitionskosten (inkl. Installation) für Industriewärmepumpen in Funktion der Heizleistung



Eigene Darstellung
Abschätzung basierend auf
Preisinformationen von
Wärmepumpen-Herstellern
in Europa

Marktübersicht über Hochtemperatur-Wärmepumpen

Strom- und Gaspreise für Industrieabnehmer im Vergleich

2016	Strompreis in EUR/kWh	Gaspreis in EUR/kWh	Preisverhältnis Strom/Gas	Indikator
EU-28	0,114	0,0301	3,8	↗
Schweden	0,0656	0,0384	1,7	↗
Frankreich	0,0893	0,0378	2,4	→
Österreich	0,1004	0,0341	2,9	↗
Deutschland	0,1492	0,0332	4,5	↗
Italien	0,1556	0,0273	5,7	↗
Schweiz	0,164*	0,0660**	2,5	↗

Arpagaus (2019)

Tabelle 5-5 Strom- und Gaspreise für Industrieabnehmer im Jahr 2016 im Vergleich (Datenquellen: Eurostat, www.ec.europa.eu/eurostat, Online-Datencodes: nrg_pc_203 und nrg_pc_205, Gasverbrauch: Band I3, Stromverbrauch: Band IC, *Schweizer Strompreis [245]: Verbraucherprofil C5, Jahresverbrauch 500 MWh, Leistung 150 kW, eigene Trafostation, in CHF/kWh, **Schweizer Gaspreis [246]: Verbraucherprofil Typ VI, Jahresverbrauch 500 MWh, Kesselleistung 350 kW, ca. 1'500 Benutzungsstunden, abschaltbar)



Mögliches Erscheinungsdatum
2021-01

Autor
VDI-Fachbereich Energietechnik

Herausgeber
VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt

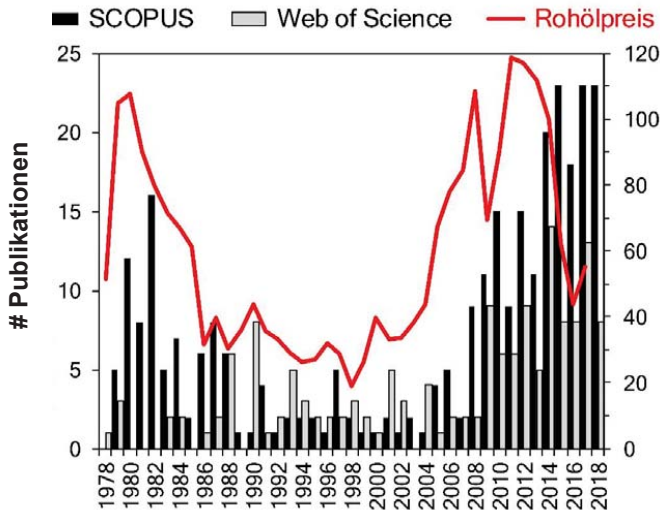
Zugehörige Handbücher
VDI-Handbuch Energietechnik

Link: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4646-anwendung-von-grosswaermepumpen>

- **Anwendungen von Großwärmepumpen (Leistung > 100 kW)** in den Bereichen Produktionsprozessen/ Industrie, kommunale Versorgung (Schwimmbäder), Versorgung von Quartieren/Wohnsiedlungen, Fernwärme usw.
- Die Richtlinie wird einen **Planungsprozess** für die Integration von Wärmepumpen in Produktionsanlagen/Versorgungsobjekten definieren.
- **Methodik** mit Analyse der örtlichen Gegebenheiten, Rahmenbedingungen, geeigneter Integrationspunkt, Auswahl von Wärmepumpentyp und Systemauslegung, Dimensionierung der Systemkomponenten (Wärmeübertrager, Speicher, Wärmepumpe), usw.

Aktuelle Entwicklungen im Bereich Hochtemperatur-Wärmepumpen

Anzahl Publikationen mit Suchbegriff "high temperature heat pump"



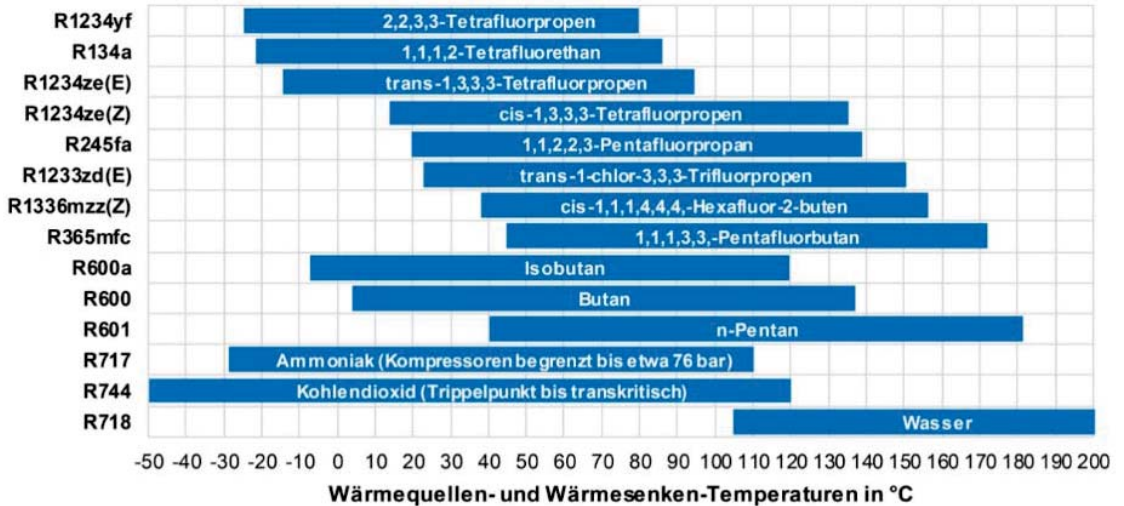
Rohölpreis in US-Dollar
pro Fass

(Quelle: BP Statistical Review of
World Energy, June 2018)

Wo gibt es Forschungsbedarf?

- (1) **Erweiterung** der Grenzen der **Quellen- und Vorlauftemperaturen** auf **höhere Werte**
- (2) Entwicklung und Erprobung neuer **synthetischer HFO Kältemittel** mit niedrigem GWP
- (3) Einsatz **natürlicher Kältemittel** wie Kohlenwasserstoffe (Butan, Pentan), CO₂ oder H₂O
- (4) **Steigerung der Effizienz (COP)** von Wärmepumpen (z. B. durch mehrstufige Kreisläufe, mit ölfreien Kompressoren)
- (5) Entwicklung **temperaturbeständiger Komponenten** (z.B. Ventile, Kompressoren)
- (6) Optimierung und Entwicklung von Wärmepumpen-Systemen mit neuen **Regelungsstrategien für höhere Temperaturen**
- (7) **Scale-up** von Funktionsmodellen in den industriellen Maßstab (Demonstrationsprojekte)

Einsatzbereiche von verschiedenen Kältemitteln für HTWP-Anwendungen

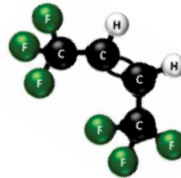


Prototyp HTWP mit 80 °C bis 150 °C Vorlauftemperatur im Labor NTB Buchs

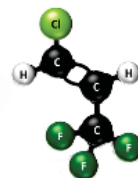


(Arpagaus et al., 2018, 2019)

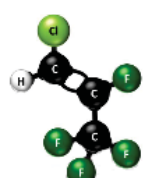
Untersuchung verschiedener synthetischer HFO/HCFO Kältemittel



R1336mzz(Z)



R1233zd(E)



R1224yd(Z)

HFO: Hydrofluorolefine, HCFO: Hydrochlorfluorolefine

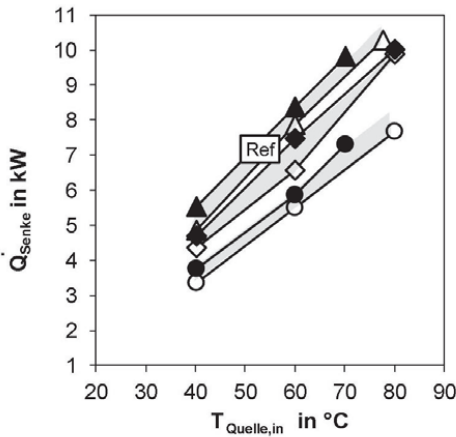
Eigenschaften:

- niedriges GWP (Treibhauspotential)
- null/niedrig ODP (Ozonabbaupotential)
- kurze atm. Lebensdauer
- Nicht brennbar
- Nicht toxisch

Kältemittel	ODP	GWP ₁₀₀	SG
R1336mzz(Z)	0	2	A1
R1233zd(E)	0.00034	1	A1
R1224yd(Z)	0.00023	0.88	A1

Aktuelle Entwicklungen im Bereich Hochtemperatur-Wärmepumpen

Parameterstudien mit HCFO R1224yd(Z) und R1233zd(E) Effizienz (COP) und Heizleistung



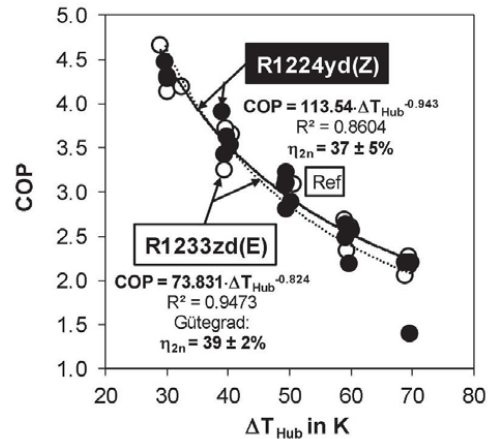
R1224yd(Z)
R1233zd(E)

ΔT_{Hub}

▲ 30 K
◊ 50 K
● 70 K

$T_{\text{Senke,aus}}$
70 bis 150°C
 $T_{\text{Quelle,ein}}$
40 bis 80°C

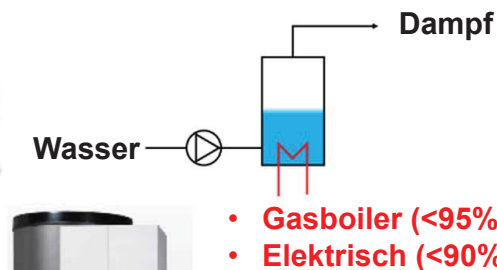
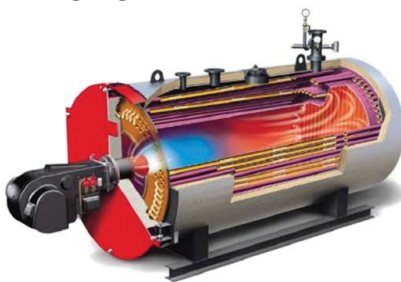
NTB
Interstaatliche Hochschule
für Technik Buchs
FHG Fachhochschule Ostschweiz



Arpagaus et al. (2019)
DKV Tagung 2019, Ulm

Aktuelle Entwicklungen im Bereich Hochtemperatur-Wärmepumpen

Dampferzeugung – Stand heute



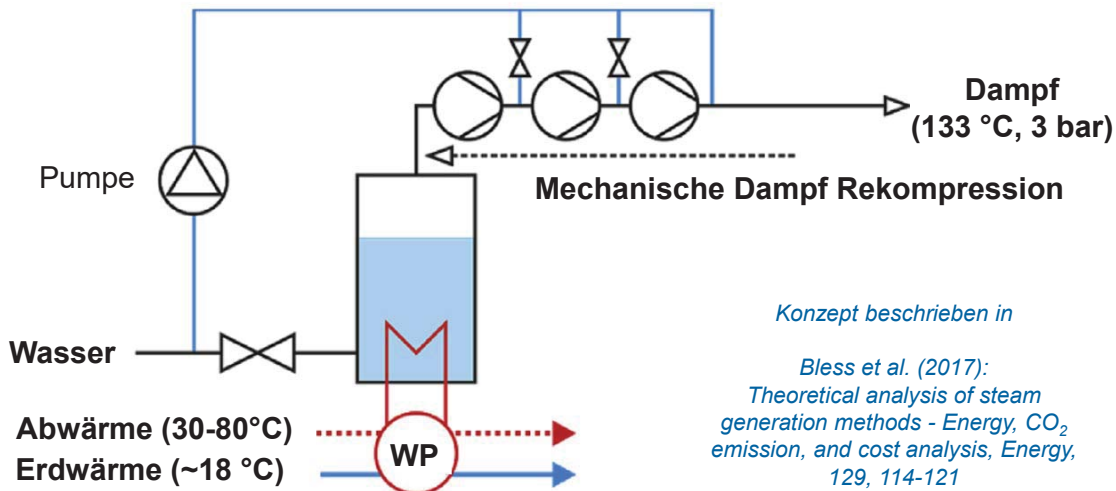
- Gasboiler (<95%)
- Elektrisch (<90%)

Stand heute

700 – 1'800 kg/h
(bis zu 1.3 MW el.)

Aktuelle Entwicklungen im Bereich Hochtemperatur-Wärmepumpen

Neue Lösungsansätze zur Dampferzeugung aus Abwärme und HTWP



Aktuelle Entwicklungen im Bereich Hochtemperatur-Wärmepumpen

Vergleich mit herkömmlicher Dampferzeugung

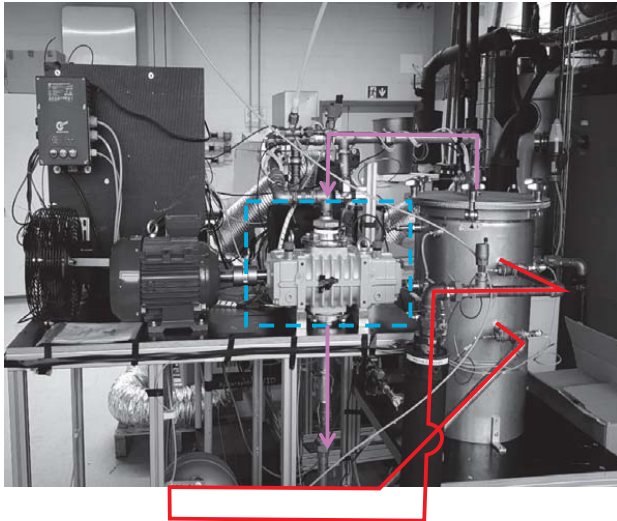
Energy consumption, CO2 emission, and operating cost per kg of steam							
		without waste heat			with waste heat (55°C)		
Steam generation method		kJ	CO ₂ [g]	OC [¢]	kJ	CO ₂ [g]	OC [¢]
Direct heating	Natural gas-fired (US)	2758	139	1.8	2648	133	1.8
	Natural gas-fired (CH)			5.1			4.9
	Electrical heating (US)		275	7.4		360	7.4
	Electrical heating (CH)	2620	27	12.0	2516	26	11.5
	High temperature HP (US)		265	5.2		163	3.2
	High temperature HP (CH)	1849	19	8.5	1137	12	5.2
Vapour compression	HP using HX cooling (US)	1180	169	3.3	836	120	2.4
	HP using HX cooling (CH)		12	5.4		9	3.8
	HP using WI cooling (US)		158	3.1		108	2.4
	HP using WI cooling (CH)	1106	11	5.1	755	8	3.5
	Waste heat evap. with HX (US)		-	-		111	2.2
	Waste heat evap. with HX (CH)	-	-	-	772	8	3.5
	Waste heat evap. with WI (US)		-	-		95	1.9
	Waste heat evap. with WI (CH)	-	-	-	661	7	3.0

CO₂ Einsparung:
3.8 bis 20 x
bei
gleichzeitiger
Kostenreduktion

Producer	CO ₂ [g/kWh]	Fuel	Cost	Cost [¢/MJ]
Natural gas (2009)	181.2	Natural gas (U.S.)	6.82 \$/Mcf	0.668
Electricity (CH) (2009)	36.9	Natural gas (CH)	0.067 CHF/kWh	1.86
Electricity (U.S.) (2012)	515.5	Electricity (U.S.)	10.13 ¢/kWh	2.81
		Electricity (CH)	0.164 CHF/kWh	4.59

Bless et al. (2017)

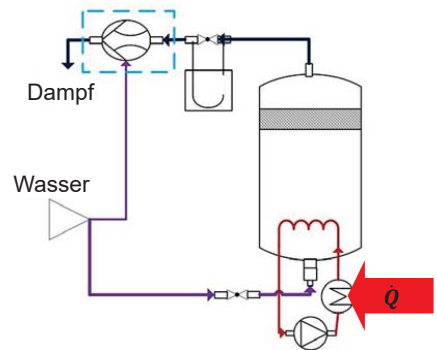
Prototyp zur Dampferzeugung aus Abwärme im Labor NTB Buchs



1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
 22. Juni 2020

cordin.arpagaus@ost.ch

- Wärmepumpe mit offenem Wasserkreislauf
- Erzeugt 34,2 kg/h Dampf bei 115°C (38,8 kg/h simuliert)
- Nachweis der Konzepterstellung



35

Anwendungsbeispiele von Industriewärmepumpen

Grundsätzlich zur Bereitstellung von

WASSER

LUFT

DAMPF

Anwendungsbeispiele von Industrierärmepumpen

Lebensmittel- und Getränkeindustrie



- Heißwasser und Dampf zur **Sterilisation von Lebensmitteln und Getränken**
- Prozeßwärme zur **Konzentration und Pasteurisierung von Milch und Säften**
- Heißwasser und Dampf zum **Waschen und Sterilisieren von Flaschen und Weintanks bei Abfüllprozessen**
- Dampf und Warmwasser für die **Reinigung von Schlachthöfen**
- Prozesswärme für **Pasteurisierung und Warmwasser in Käsefabriken**

Trocknungsprozesse (Lufterwärmung)



- **Ziegel Trocknung:** Luftvorwärmung auf 120 °C mittels feuchter Abluft (70 °C, 50% r.F.)



- **Holztrocknung:** Lufterwärmung auf 120 bis 150 °C mit feuchter Abluft

- **Stärketrocknung:** Luftvorwärmung zur Dampferzeugung 160 °C

- **Trocknung von Tierfutter:** Niederdruck-Dampf für Kammertrockner



- **Sprühtrocknung:** Luftvorwärmung für Milchpulverherstellung

- **Papiertrocknung:** Niederdruck-Dampf 130 °C mittels Kühlwasser (60 °C) oder feuchter Abluft (76 °C, 56 % r.F.) als Wärmequelle



Weitere Anwendungsbeispiele



- **Fernwärmenetze:** Heisswassererzeugung bis 120 °C

- **Krankenhäuser:** Dampf 125 °C für Autoklaven, Sterilisation und Wäschetrocknung



- **PET-Flaschenindustrie:** Prozesswärme zwischen 100 und 150 °C für das Spritzgießen von Kunststoff-Vorformlingen



- **Zuckerindustrie:** Prozesswärme zwischen 80 und 150 °C für die Verarbeitung von Zuckerrüben, Dampferzeugung bei 138 °C für die Produktion von 90 °C Speisewasser



Weitere Anwendungsbeispiele



- **Brauereien:** Prozesswärme von rund 100 °C für den Brauprozess (z.B. Maischen, Läutern, Würzekochen)



- **Milchverarbeitung:** Milchpasteurisierung (HT 100 bis 120 °C), Sterilisation (115 bis 135 °C) und Ultrahocherhitzung (135 bis 150 °C), Sprühtrocknung von Milchpulver (Vorwärmen der Trocknungsluft auf 120 bis 150 °C)



- **Chemische Industrie:** Dampf 120 °C zur Alkohol-Destillation unter Nutzung der Abwärme des Kühlturms oder der Kondensationswärme der Destillationskolonne (65 °C)



- **Wellness-Sauna-Anwendungen:** CO₂-Wärmepumpen für verschiedene Temperaturniveaus bis zu 120 °C

Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Industrie

Zusammenfassung

- **Anwendungspotential für industrielle Wärmepumpen ist gross:** Heißwasser, Heißluft, und Prozeßdampf
- **Zahlreiche Kompressionswärmepumpen** von verschiedenen Herstellern am Markt erhältlich: Vorlauftemperaturen > 90°C (einige > 120°C, bis max. 165°C), Rotationswärmepumpe, HTWP im Großmaßstab (MW Leistungsbereich)
- **COP (Effizienz, Leistungszahl) von etwa 4.0 bei 50 K Temperaturhub**, 45% Gütegrad, Heiz- und Kühlanwendung → $COP_{H+K} = 2 \times COP_H - 1$
- **Verschiedene Kreisläufe:** meist 1-stufig, Optimierungen mit IHX und Economizer mit Zwischeneinspritzung in den Kompressor, Parallelschaltung von Kompressoren, Kaskade (R134a/R245fa), Kompressoren: Schrauben, 2-stufige Turbos, Hubkolben (parallel)
- **Wärmepumpen Integration ist von Fall zu Fall stark unterschiedlich:** meist mit Speicher und oft bivalent (z.B. WP für Grundlast, Gaskessel für Spitzenabdeckung und Redundanz)
- **Weltweit hohe Forschungsaktivität:** Vorlauftemperaturen > 100 °C, hauptsächlich DE, AT, CH, FR, NO, NL, JP, KR, und CN
- **Kältemittelentwicklung HFOs oder natürliche?** Trend zu natürlichen Kältemitteln R600 (Butan), R601 (Pentan), R744 (CO₂), R718 (H₂O) und synthetischen HFOs / HCFOs mit niedrigem GWP, wie R1336mzz(Z), R1233zd(E), R1224yd(Z)

Danksagung

Ein Grossteil der Ergebnisse ist Teil des
Swiss Competence Center for Energy Research SCCER EIP
der Schweizer Innovationsagentur Innosuisse.

Dank an Innosuisse für die Unterstützung.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Innosuisse – Swiss Innovation Agency



SCCER
EFFICIENCY OF
INDUSTRIAL PROCESSES

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Dr. Cordin Arpagaus

NTB Interstaatliche Hochschule für
Technik Buchs
Institut für Energiesysteme IES

cordin.arpagaus@ost.ch
Tel. +41 81 377 94 34
www.ntb.ch/person/cordin-arpagaus



Es gibt zahlreiche Forschungsprojekte im Bereich HTWP

Organisation, Projektpartner	Bereiche der Wärmequellen- (grau) und -senken (schwarz) Temperaturen in °C	Max. Vorlauf-temperatur in °C	Heizleistung in kW	Zyklystyp	Kompressor	Kältemittel
Austrian Institute of Technology (AIT), Wien, Chemours, Bitzer, Österreich	20 40 60 80 100 120 140 160	160	12	einstufig mit IHX	Hubkolben	R1336mzz(Z)
Austrian Institute of Technology (AIT), Wien, Chemours, Bitzer, Österreich	20 40 60 80 100 120 140 160	150	12	einstufig	Hubkolben	R1336mzz(Z)
NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, SCER EIP, Schweiz	20 40 60 80 100 120 140 160	150	3 bis 10	einstufig mit zuschaltbarem IHX	Hubkolben	R1233zd(E)
PACO, Universität Lyon, EDF Electricité de France	20 40 60 80 100 120 140 160	145	300	Flash Tank	Doppel-Schraube	R718
Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK), Dresden, Deutschland	20 40 60 80 100 120 140 160	140	12	einstufig	Hubkolben	HT 125
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Siemens AG, Deutschland	20 40 60 80 100 120 140 160	140	10	einstufig mit IHX	Hubkolben	LG6 (CF6)
Alter ECO, EDF Electricité de France	20 40 60 80 100 120 140 160	140	50 bis 200	einstufig mit IHX und Unterkühler	Doppel-Scroll	ECO3 (R245fa)
Tokyo Electric Power Company, Japan	20 40 60 80 100 120 140 160	135	150 bis 400	einstufig	Schraube	R601
Austrian Institute of Technology (AIT), Wien, Edmayer, Ochsner, Österreich	20 40 60 80 100 120 140 160	130	250 bis 400	einstufig mit Economiser	Schraube	ÖKO1 (R245fa)
Tianjin Universität, China	20 40 60 80 100 120 140 160	130	16 bis 19	einstufig	Scroll	BY-5
Kyushu Universität, Fukuoka, Japan	20 40 60 80 100 120 140 160	125	1,8	einstufig	Doppel-Rotationskompressor (zweistufig)	R1234ze(Z)
ECN, SmurfitKappa, IBK, Bronswerk, Niederlande	20 40 60 80 100 120 140 160	125	160	einstufig mit IHX und Unterkühler	Hubkolben	R600
Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Südkorea	20 40 60 80 100 120 140 160	125	20 bis 40	einstufig mit Dampferzeugung	Hubkolben	R245fa/R718
GREE Electric Appliances, Zhuhai, China	20 40 60 80 100 120 140 160	120	6 bis 12	einstufig	Hubkolben	R245fa
Norwegian University of Science and Technology, SINTEF, Norwegen	20 40 60 80 100 120 140 160	115	20 bis 30	zweistufige Kaskade	Hubkolben	R600/R290
TU Graz, Österreich	20 40 60 80 100 120 140 160	110	20 bis 40	einstufig mit IHX	Hubkolben	R600
Tianjin University, China	20 40 60 80 100 120 140 160	110	44 bis 141	einstufig	Doppel-Scroll	BY-4
EDF Electricité de France, Johnson Controls	20 40 60 80 100 120 140 160	105	300 bis 500 900 bis 1'200	einstufig mit IHX und Economiser	Doppel-Schraube, Turbo	R245fa

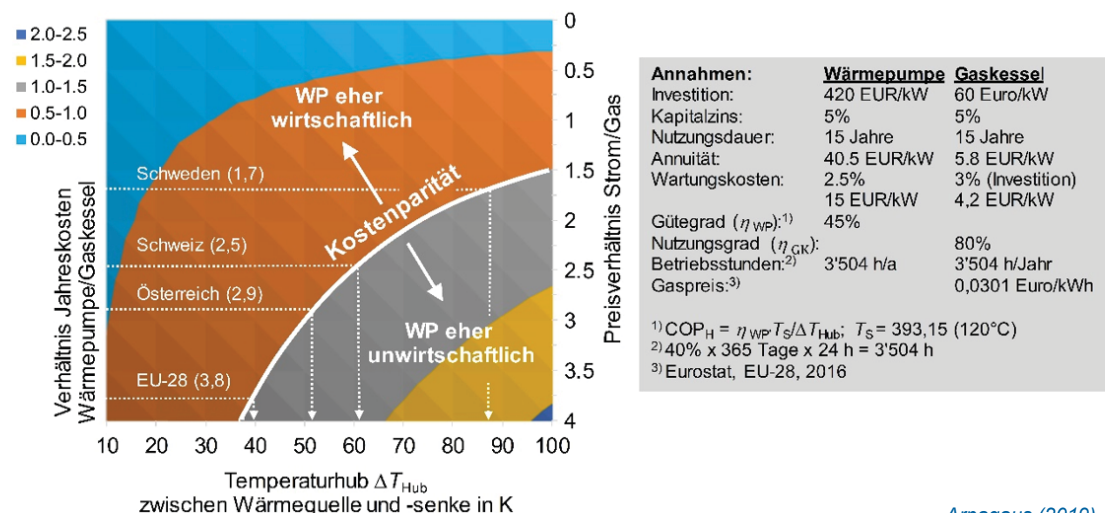
1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
22. Juni 2020

cordin.arpagus@ost.ch

Arpagaus (2019) 46

Integration von Hochtemperatur-Wärmepumpen in industrielle Prozesse

Wirtschaftlichkeitsabschätzung einer Wärmepumpen-Integration im Vergleich zu einem Gaskessel



Arpagaus (2019)

1. EVT Online-Tagung «Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem»
22. Juni 2020

cordin.arpagus@ost.ch

47

Rahmenbedingungen und Märkte für Industriewärmepumpen

Dr. Stefan Wolf

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Steinplatz1

10623 Berlin, Germany

stefan.wolf@vdivde-it.de

Wärmepumpen haben sich in den vergangenen Jahren in der Wärmebereitung für Wohngebäude etabliert. Dank technischer Fortschritte sowie der sich rapide ändernden Rahmenbedingungen werden Wärmepumpen zunehmen auch für industrielle Anwendungen interessant. Die Auswirkungen des Klimawandels werden immer sichtbarer und entsprechend steigt der Druck auf Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft, Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Das ist der entscheidende Game Changer für Effizienztechnologien wie die Wärmepumpe. In vielen Industriezweigen u. a. der Nahrungsmittelindustrie (Malzherstellung), der Papier- und Zellstoffindustrie (Trockenpartie), der chemischen Industrie (Abwasseraufbereitung) und der Metallverarbeitung (Beschichtung) wurden Wärmepumpen bereits erfolgreich eingesetzt. In der Industrie sind vielfältige Abwärmeströme vorhanden, die mittels Wärmepumpe wieder auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben werden können. Aktuelle Industriewärmepumpen erreichen Temperaturen von über 160 °C. Insbesondere in der Nahrungsmittel- und Chemieindustrie bestehen große Potenziale für den Einsatz von Wärmepumpen. Erfolg versprechend ist die Integration einer Wärmepumpe dann, wenn in einem industriellen Prozess zugleich Heiz- und Kühlbedarfe bestehen. Wird die Wärmepumpe mit erneuerbarem Strom betrieben, können erhebliche Treibhausgasreduzierungen erreicht werden. Zudem entstehen keine lokalen Emissionen von Schadstoffen oder Klimagasen. Damit können CO₂-Kosten vermieden werden. Aufgrund der Konstruktion des Europäischen Emissionshandels als Markt mit Mengensteuerung ist davon auszugehen, dass die Kosten für die Emission von CO₂ künftig weiter steigen werden. Das würde sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpentechnologie auswirken. Ferner können staatliche Fördermaßnahmen in Anspruch genommen werden. Die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpeninstallation hängt in erheblichem Maße von der verwendeten Kennzahl ab. Bei der Nutzung der Amortisationszeit wird die Betrachtung rein auf die Zeit des Kapitalrückflusses reduziert. Langfristige Einsparungen fallen nicht ins Gewicht. Geeigneter wäre ein Ansatz, der diese Einspareffekte berücksichtigt (z. B. interne Zinsfußmethode, Total Cost of Ownership oder Life Cycle Costing). Darüber hinaus besteht unter Anlagenplanern bisher noch wenig Know-How bezüglich der Einsatzbereiche moderner Industriewärmepumpen. Letztlich lässt sich feststellen, dass die mittlerweile erreichte technologische Reife und die Makrotrends für den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen in der Industrie sprechen. Gleichwohl bestehen nach wie vor Herausforderungen hinsichtlich des Know-Hows bei Anlagenplanern und Energiemanagern und hinsichtlich der Wirtschaftlichkeitsbewertung.

Rahmenbedingungen und Märkte für Industriewärmepumpen

Dr. Stefan Wolf
22.06.2020

AGENDA

- Unternehmensvorstellung VDI/VDE-IT
- Rahmenbedingungen
- Anwendungsbeispiele für Industriewärmepumpen
- Märkte für Industriewärmepumpen
- Unterstützungsmechanismen
- Zusammenfassung & Ausblick



MIT ERFAHRUNG UND SOLIDITÄT

Gegründet	1978
Gesellschafter	VDI GmbH, VDE e.V.
Aufsichtsrat	Prof. Dr.-Ing. Rainer Hirschberg (Vorsitz)
Geschäftsführung	Peter Dortans Dr. Werner Wilke
Umsatz 2018	53,6 Mio. €

WIR ANALYSIEREN INNOVATIONEN

Wir erarbeiten politische
Handlungsempfehlungen

Wir evaluieren technologische und
innovationspolitische Programme



Wir entwerfen
Strategie-Roadmaps

Wir identifizieren Leittechnologien
und entwickeln
Analyse-Instrumente

WIR FÖRDERN INNOVATIONEN

Wir betreuen und
managen Projekte

Wir beraten bei der Erstellung von
Forschungsprogrammen



Wir begutachten
Förderprojekte

Wir motivieren Forschungseinrichtungen und
Industrie, Vorhaben einzureichen

© VDI/VDE-IT • 5

WIR ORGANISIEREN INNOVATIONEN

Wir bauen
Innovationsbarrieren ab

Wir bringen Menschen
und Organisationen zusammen



Wir tragen Ergebnisse
in die Öffentlichkeit

Wir organisieren Infoveranstaltungen,
Workshops, Konferenzen und Wettbewerbe

© VDI/VDE-IT • 6

GANZ IN IHRER NÄHE



Hauptsitz in **BERLIN**
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1, 10623 Berlin

Geschäftsstelle in **BONN**
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Dreizehnmorgenweg 36, 53175 Bonn

Geschäftsstelle in **DRESDEN**
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Kramergasse 2, 01067 Dresden

Geschäftsstelle in **STUTT GART**
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Marienstraße 23, 70178 Stuttgart

Geschäftsstelle in **MÜNCHEN**
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Heimeranstraße 37, 80339 München

© VDI/VDE-IT • 7

AGENDA

- Unternehmensvorstellung VDI/VDE-IT
- Rahmenbedingungen
- Anwendungsbeispiele für Industriewärmepumpen
- Märkte für Industriewärmepumpen
- Unterstützungsmechanismen
- Zusammenfassung & Ausblick



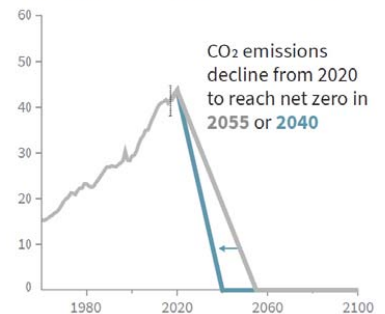
GAME CHANGER

Climate change mitigation:

- 75 % of GHG emissions originate from fossil fuel consumption for energy generation.
- According to UN IPCC business as usual leads to a global warming of about 4 °C until the year 2100.
- EU aims at a 32.5% improvement in energy efficiency, a 32% share of renewables in energy generation and a 40% cut in greenhouse gas emissions until 2030. Furthermore the EU plans to achieve climate neutrality by 2050.
- At least 40% of European Funds will be redirected to support climate actions. National funds add to this number.

© VDI|VDE|IT • 9

b) Stylized net global CO₂ emission pathways
Billion tonnes CO₂ per year (GtCO₂/yr)

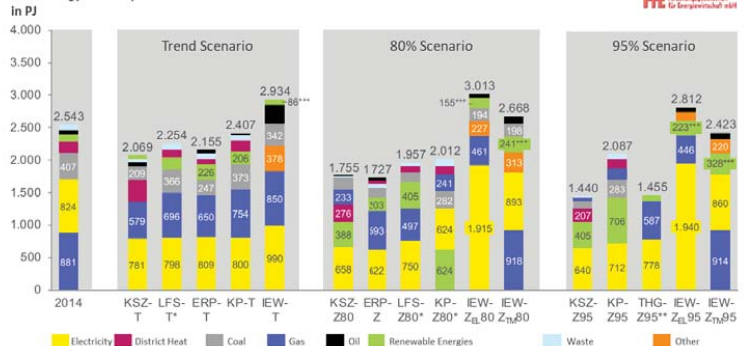


DECARBONIZATION OF THE INDUSTRIAL SECTOR

Meta analysis of the final energy consumption of the industrial sector in Germany.

- The share of electricity will increase.
- The shares of biomass and (synthetic) gases are uncertain.
 - Synthetic gas will only be an option if renewable CO₂ is used for methanization.
 - Biomass will only be an option if food supply is not endangered and carbon storage is not heavily enforced.

Final Energy Consumption 2050
In PJ



FRAMEWORK CONDITIONS FOR THE HEATING & COOLING MARKET

Demand pull factors:

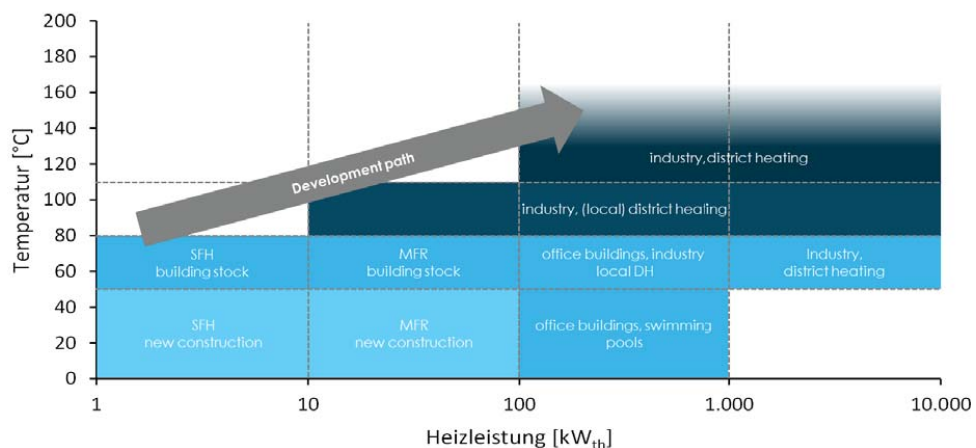
- Observable climate change increases pressure on policy makers
 - The main tools for climate change mitigation are energy efficiency and renewable energy generation
 - Digitalization and energy management systems make energy losses visible
- Creation of a demand pull for energy efficient technologies

Technology push factors:

- New refrigerants and new heat pump designs widen the application range
 - Decarbonisation of electricity further improves the GHG-balance of heat pumps
- Creation of a technology push from heat pump technology

© VDI/VDE-IT • 11

THE EVOLUTION OF HEAT PUMP TECHNOLOGY



AGENDA

- Unternehmensvorstellung VDI/VDE-IT
- Rahmenbedingungen
- Anwendungsbeispiele für Industriewärmepumpen
- Märkte für Industriewärmepumpen
- Unterstützungsmechanismen
- Zusammenfassung & Ausblick

HEAT PUMP INTEGRATION FOOD – MALT KILN

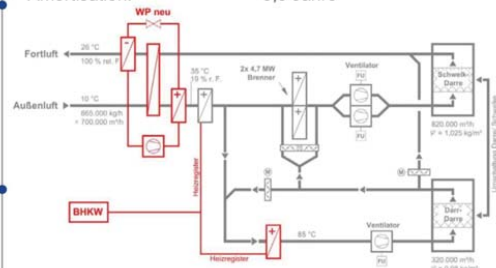
Typische Wärmequellen und -senken in der Nahrungsmittelindustrie

Wärmequellen	Temperatur [°C]
Fermentation	-10 bis 20
Produktkühlung	-20 bis 60
Wasch-/Reinigungsabwasser	20 bis 60
Trocknerabluft	20 bis 120
Eindampfen	40 bis 110

Wärmesenken	Temperatur [°C]
Temperieren	40 bis 80
Waschen/CIP-Anlage	35 bis 100
Trocknung	30 bis 160
Kochen/Eindampfen	70 bis 120
Pasteurisieren	60 bis 145

Beispiel Mälzerei (Tivoli Malz)

- Standort: Hamburg (Deutschland)
- Nennheizleistung der WP: 3.250 kW_{th}
- Wärmequelle: feuchte Abluft der Darre
- Wärmesenke: Zuluftvorerwärmung Darre
- COP: 6,3
- Amortisation: 5,3 Jahre



HEAT PUMP INTEGRATION PULP & PAPER – DRYER SECTION OF PAPER MACHINE

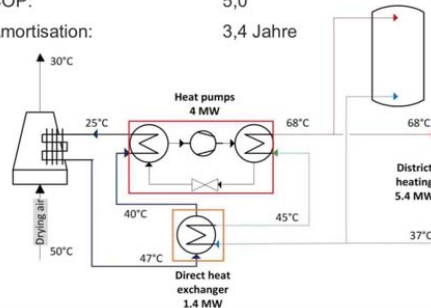
Typische Wärmequellen und -senken in der Papierindustrie

Wärmequellen	Temperatur [°C]
Kühlung Gleichstrommotoren	50 bis 70
Schleifereiabwasser	60 bis 70
Trockenpartie Papiermaschine	40 bis 80
Trockenpartie Streichmaschine	100 bis 140

Wärmesenken	Temperatur [°C]
De-Inking	45 bis 70
Kochen	100 bis 180
Trockenpartie	90 bis 200
Kalender	110 bis 140

Beispiel Papierfabrik (Skjern Papierfabrik)

- Standort: Skjern (Dänemark)
- Nennheizleistung der WP: 4.000 kW_{th}
- Wärmequelle: Trockenpartie Abluft
- Wärmesenke: Fernwärmenetz
- COP: 5,0
- Amortisation: 3,4 Jahre



HEAT PUMP INTEGRATION CHEMICALS – GLUE PRODUCTION

Typische Wärmequellen und -senken in der chemischen Industrie

Wärmequellen	Temperatur [°C]
Destillation Kopfprodukt	20 bis 150
Ethylenspaltofen Abwärme	25 bis 150
Extraktion Kühlung	20 bis 60
Abwasserbehandlung	15 bis 30

Wärmesenken	Temperatur [°C]
Destillation Sumpfheizung	70 bis 570
Eindampfen	100 bis 140
Kochen	80 bis 110

Beispiel Klebstoffherstellung (Dynea)

- Standort: Lillestrøm (Norwegen)
- Nennheizleistung der WP: 416 kW_{th} (Hybrid WP)
- Wärmequelle: Abwasserreinigung Ablauf
- Wärmesenke: Abwasserreinigung Zulauf
- COP: 12,9 (nur elektrisch)
- Amortisation: 2,0 Jahre



HEAT PUMP INTEGRATION METAL PROCESSING – FULL INTEGRATION

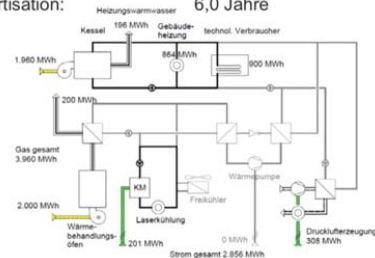
Typische Wärmequellen und -senken in der Metallverarbeitung

Wärmequellen	Temperatur [°C]
Laserschneid/schweißanlage	20 bis 35
Abwasser Waschanlage	30 bis 45
Trocknerabluft	40 bis 70
Kühlung Galvanikbäder	20 bis 45
Ofenabgas	150 bis 800

Wärmesenken	Temperatur [°C]
Beizen	20 bis 100
Entfettung	20 bis 100
Phosphatierung	40 bis 90
Waschanlage	40 bis 70
Trockner	60 bis 200

Beispiel Blechbearbeitung (Purkart Systemkomp.)

- Standort: Großrückerswalde (DE)
- Nennheizleistung der WP: 274 kW_{th}
- Wärmequelle: Lasercutter, Ofenabgas
- Wärmesenke: Raumwärme, Oberflächenbehandlung
- COP: 3,8
- Amortisation: 6,0 Jahre



AGENDA

- Unternehmensvorstellung VDI/VDE-IT
- Rahmenbedingungen
- Anwendungsbeispiele für Industriewärmepumpen
- Märkte für Industriewärmepumpen
- Unterstützungsmechanismen
- Zusammenfassung & Ausblick



APPLICATION POTENTIALS FOR INDUSTRIAL HEAT PUMPS

Most important industries for heat pump application:

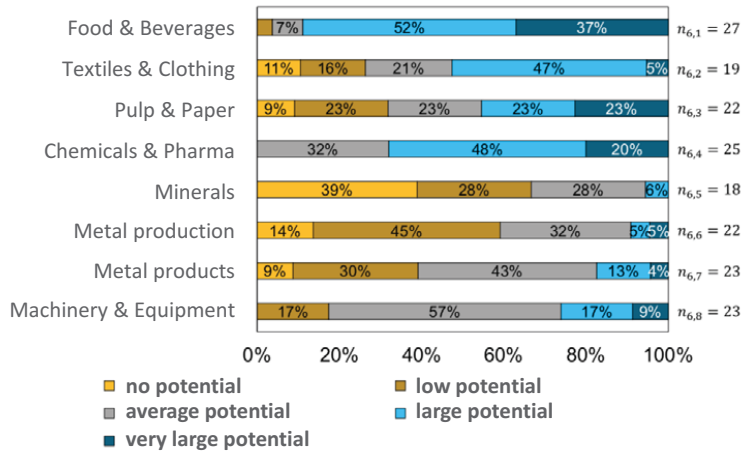
1. Food & Beverage
2. Chemicals & Pharma
3. Textiles & Clothing
4. Pulp & Paper

Success factors:

- Simultaneous heating and cooling demand
- Long operating hours

© VDI/VDE-IT • 19

Sources: Wolf, S. et al. (2017): Systematische Anwendung von Großwärmepumpen in der Schweizer Industrie

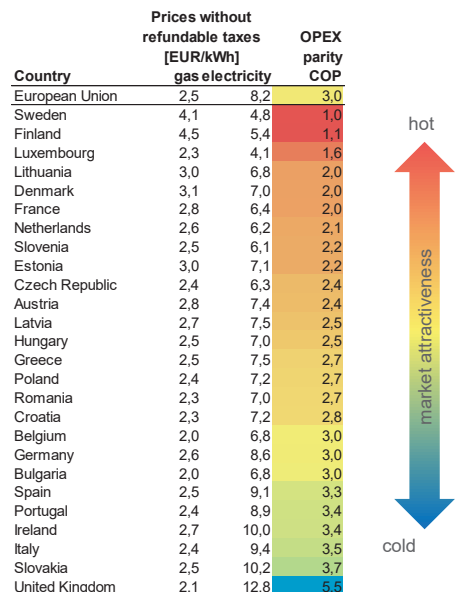


MARKET ATTRACTIVENESS

- Estimated efficiency of 90% for gas fuelled heat generation
- **Scandinavian countries** offer attractive conditions with low electricity prices and low GHG emissions in the electricity mix
- Ranking of Europe's big four by OPEX parity COP:
 1. France 2,0
 2. Germany 3,0
 3. Italy 3,5
 4. UK 5,5

© VDI/VDE-IT • 20

Sources: Eurostat (2018): Energy price statistics



TRENDS INDUSTRIAL HEAT PUMP PERCEPTION

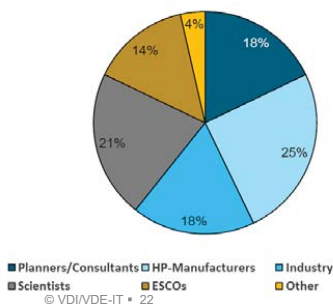
Insights from the DryFiciency Project:

- Generally perceptible growing interest in industrial heat pump technology
 - Great interest in the DryFiciency demonstration applications
 - Increasing number of R&D requests concerning industrial heat pumps
 - Improving availability of funding for large scale heat pump projects
 - Positive evaluation results for the functionality of the DryFiciency demonstrators
 - Mixed evaluation results regarding the expected economic viability
- **Positive trend, proven functionality and reliability, still uncertain economic viability**

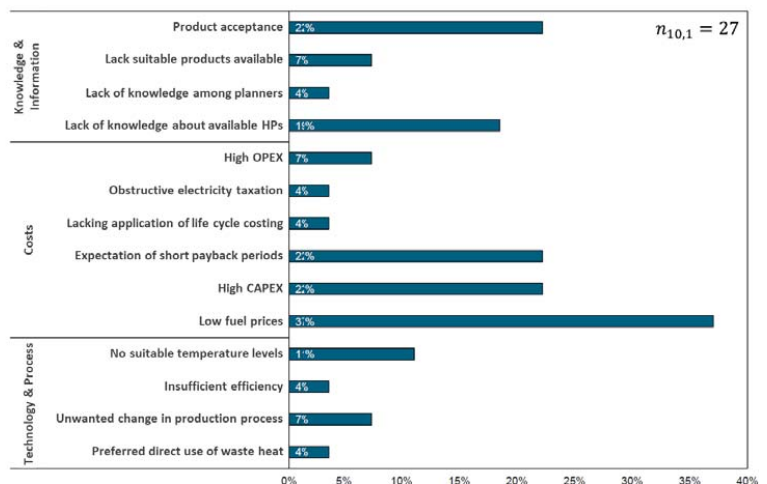
© VDI/VDE-IT • 21

MARKET BARRIERS FOR INDUSTRIAL HEAT PUMPS

Survey among 27 experts on heat pumps and heat recovery.



Sources: Wolf, S., et al. (2017): Systematische Anwendung von Großwärmepumpen in der Schweizer Industrie



AGENDA

- Unternehmensvorstellung VDI/VDE-IT
- Rahmenbedingungen
- Anwendungsbeispiele für Industriewärmepumpen
- Märkte für Industriewärmepumpen
- Unterstützungsmechanismen
- Zusammenfassung & Ausblick

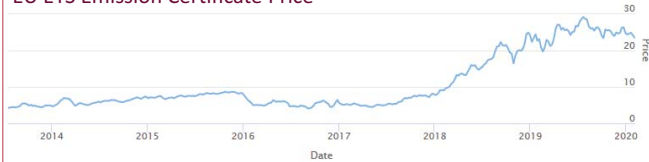


SUPPORT MECHANISM: EU EMISSION TRADING SYSTEM

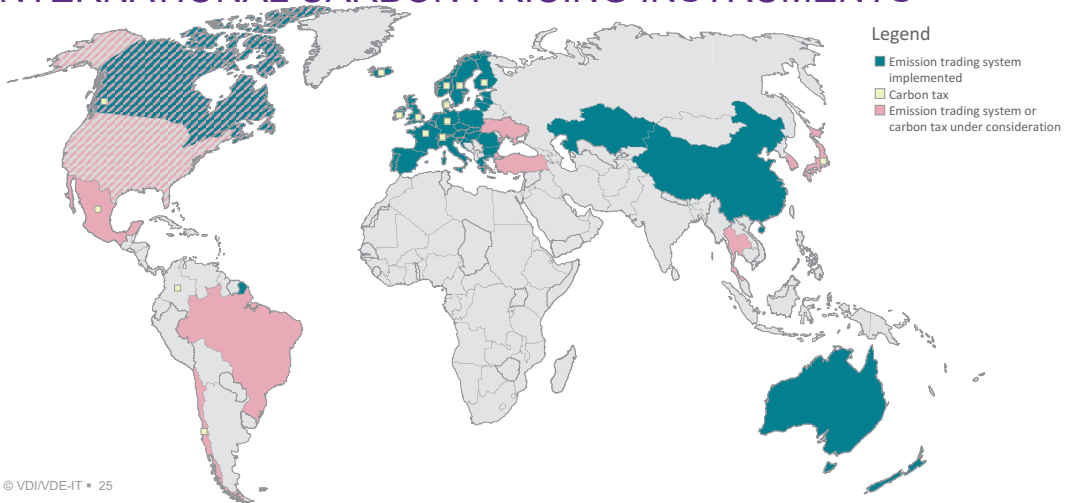
EU ETS Facts:

- Operates in 31 countries
- Limits emissions from more than 11,000 heavy energy-using installations (power stations & industrial plants) and airlines operating between these countries
- Covers around 45% of the EU's greenhouse gas emissions
- Annual reduction of emission allowances by 1.74% (2.2% as of 2021)
- Rising prices unfold steering effect

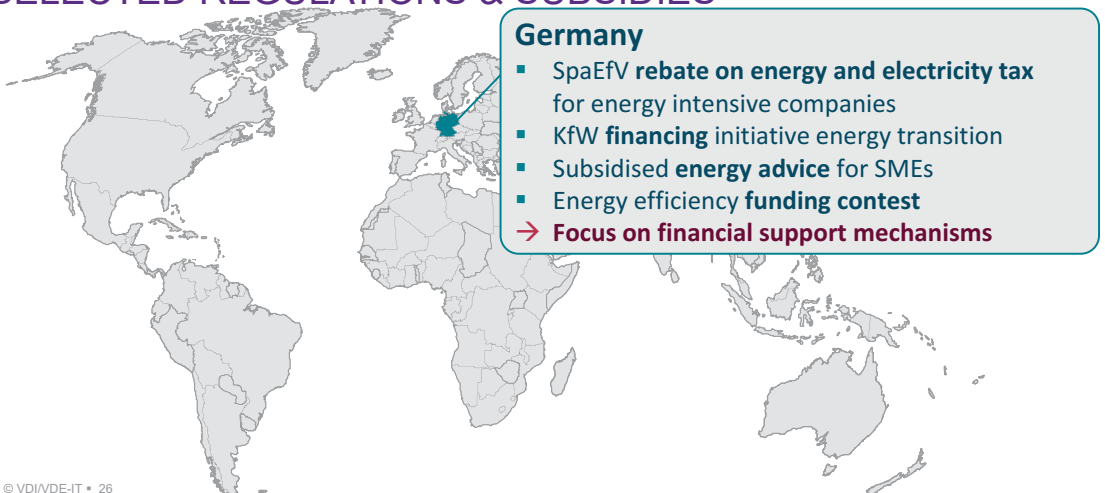
EU ETS Emission Certificate Price



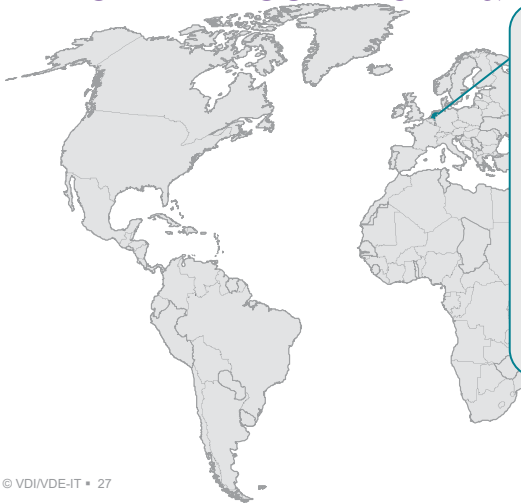
SUPPORT MECHANISM: INTERNATIONAL CARBON PRICING INSTRUMENTS



SUPPORT MECHANISM: SELECTED REGULATIONS & SUBSIDIES



SUPPORT MECHANISM: SELECTED REGULATIONS & SUBSIDIES



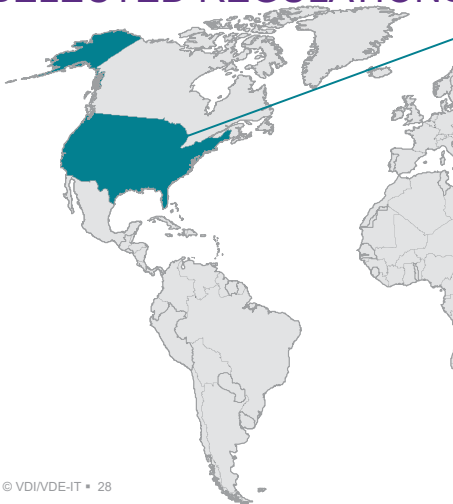
The Netherlands

- Energy Investment Allowance (EIA) **tax relief**
- **Incentive scheme** for sustainable energy production (SDE)
- MIA and Vamil **tax deduction schemes** for environmentally-friendly investment
- **Innovation contracts** sector-wide research agendas
- **Green Deal** non-financial support measures
- **Combined financial and coordinative support mechanisms**

© VDI/VDE-IT • 27

Source: <http://epd.iipnetwork.org/country/netherlands>

SUPPORT MECHANISM: SELECTED REGULATIONS & SUBSIDIES



USA

- State and local energy efficiency action network (SEE Action) **assistance program**
- **Industrial assessment centres (IACs)** for SMEs
- Advanced manufacturing partnership (AMP) **coordination platform**
- Modified accelerated cost-recovery system (MACRS) **investment recovery** through depreciation deductions
- Business energy investment **tax credit (ITC)**
- **Focus on informational support and capacity building**

© VDI/VDE-IT • 28

Source: <http://epd.iipnetwork.org/country/united-states-federal>

SUPPORT MECHANISM: SELECTED REGULATIONS & SUBSIDIES

China

- Ten key projects plan financial **energy saving rewards**
 - **Differential electricity pricing** for industry based on energy efficiency level
 - Regulation on **energy conservation supervision** of industrial companies
 - **Energy performance contracting** supported by fiscal and incentives supplemented by standardization requirements
- **Focus on regulation supplemented by financial incentives**

© VDI/VDE-IT • 29

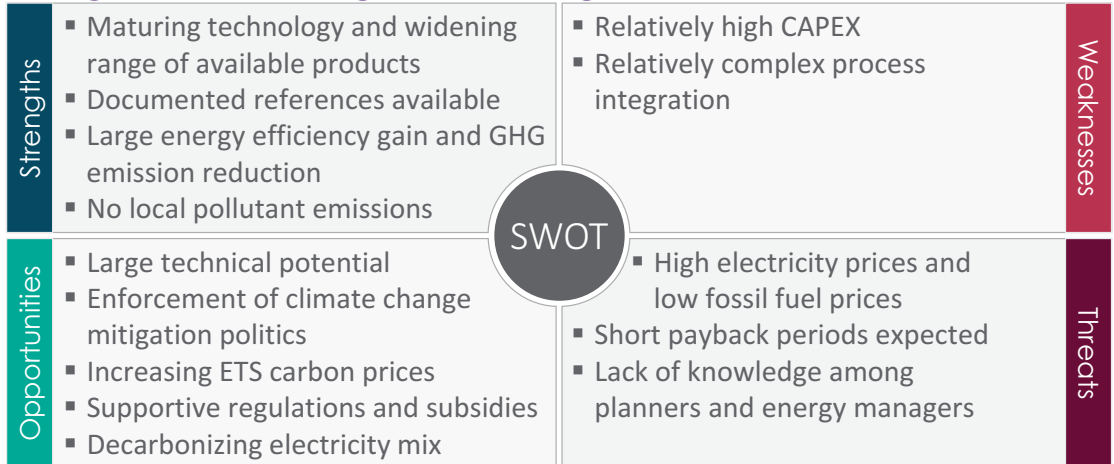
Source: <http://iepd.ipnetwork.org/country/china>

AGENDA

- Unternehmensvorstellung VDI/VDE-IT
- Rahmenbedingungen
- Anwendungsbeispiele für Industriewärmepumpen
- Märkte für Industriewärmepumpen
- Unterstützungsmechanismen
- Zusammenfassung & Ausblick



SWOT ANALYSIS: HIGH TEMPERATURE HEAT PUMPS



© VDI/VDE-IT • 31

CONCLUSION AND NEXT STEPS FOR THE SUCCESS OF INDUSTRIAL HEAT PUMPS

- Heat pumps are an **indispensable element** of the energy transition
- Demonstrators have **proven technical feasibility and reliability**
- **Increasing industrial interest** in heat pump applications
- **Customizable and modular solutions** for industrial heat pump applications need to be developed
- **Cost** of industrial heat pump equipment needs to be reduced e.g. through standardization
- **Evaluation and application processes** for industrial heat pumps have to be improved
- **Take advantage** of supportive regulations and subsidies
- Promote life cycle costing, total cost of ownership or other **long term oriented KPIs** in decision making

© VDI/VDE-IT • 32

Vielen Dank!



Kontakt:

Dr.-Ing. Stefan Wolf
Berater / Consultant
Mobilität der Zukunft und Europa / Future Mobility and Europe

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1
10623 Berlin
Germany
Tel. +49 30 310078-5630
Fax +49 30 310078-225
stefan.wolf@vdivde-it.de
www.vdivde-it.de



Großwärmepumpen für industrielle Prozessdampferzeugung und Fernwärmenetze

Christian Bergins, Torsten Buddenberg, Simon Waldburg

MHPS – Power Energy Solutions Business
Mitsubishi Hitachi Powers Systems Europe GmbH
Schifferstrasse 80
47059 Duisburg, Germany

+4920380382948 – c_bergins@eu.mhps.com

Elektrifizierung, Strom- und Wärmenetzflexibilisierung sowie Emissionsreduzierung sind erklärte Hauptziele und Lösungsansätze der Energiewende für eine ökologisch nachhaltige Energie- und Wärmeversorgung. Die Wärmepumpe ist hierbei ein Instrument, mit dem diese Schlüsselansätze und Ziele erreicht werden können. Seit Jahrzehnten in Haushalten etabliert, ist die Realisierung auch im kraftwerkstechnischen und großindustriellen Maßstab (im zweistelligen MW-Bereich) heute keine Hürde. Im Vortrag werden unterschiedliche Anwendungsbeispiele vorgestellt und die resultierenden techno-ökonomischen Vorteile beschrieben.

In dem ersten Anwendungsbeispiel aus der Großindustrie wird die Prozessstromkühlung in der Raffinerie zur Prozessdampferzeugung beschrieben. Weiterhin wird eine Auslasswasserkühlung von Wasserbehandlungsanlagen zum Gewässerschutz bei gleichzeitiger Heißwassererzeugung für Prozesswärme erläutert. Darüber hinaus wird die Optimierung eines KWK-Kraftwerkes durch Integration von Wärmepumpen vorgestellt. Hier führt der Einsatz der Wärmepumpe zu einer Nutzung des Brennwertes durch weitere Rauchgaskühlung sowie zur Erhöhung der Flexibilität des Kraftwerks gegenüber dem Strom- und Wärmenetz.

D-GWP

bis zu 60 MWth pro Einheit

Prozessdampf für
Industrieanwendungen
mit bis zu 20 bar(a) @ 320 °C

Prozesswärme

COP = 1.5 – 3.5

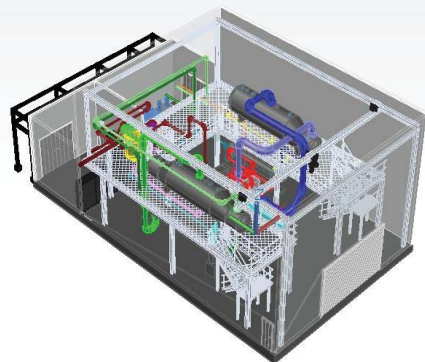
Kältemittel
R600a

Strom

Abwärme



**MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES
COMPRESSOR CORPORATION**



MHPS Power & Energy Solutions Business

**Großwärmepumpen für industrielle
Prozessdampferzeugung und Fernwärmenetze**
EVT Onlinetagung – Montag 22.06.2020

Dr. Christian Bergins

MHPS – Power Energy Solutions Business
+4920380382948 – c.bergins@eu.mhps.com

Torsten Buddenberg

Simon Waldburg

- Hauptsitz: Yokohama, Japan
- Anzahl der Gesellschaften im MHPS-Konzern:
65 (8 in Japan, 50 im Ausland)
- Mitarbeiter: ca. 19.500 (konsolidiert)
- Hauptgeschäftsfelder/-produkte:
 - Wärmekraftwerke
 - Geothermie-Anlagen
 - Rauchgasreinigungssysteme
 - Brennstoffzellen
 - Neue Technologien
- Eigenkapital: ¥100b / \$892m (USD/JPY: 112)

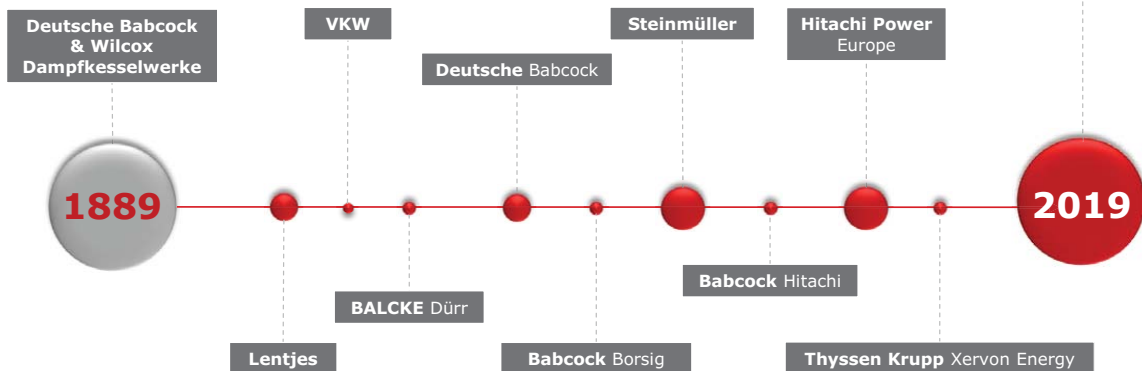


100%

Mitsubishi Hitachi Power Systems

100%

Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe

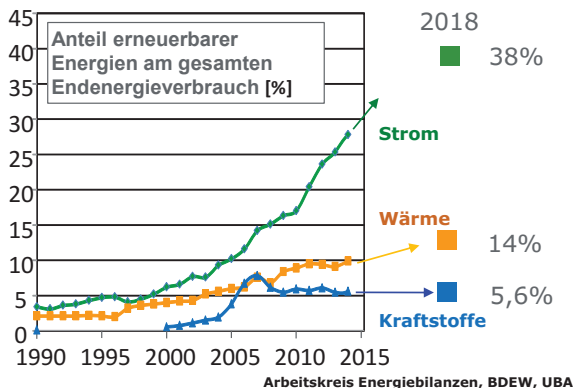


MHPS Europe GmbH und Ihre Vorgängergesellschaften haben weltweit eine große Zahl an Anlagen installiert.

Proprietary Information: This document or information cannot be reproduced, transmitted, or disclosed without prior written consent of Mitsubishi Hitachi Power Systems Ltd. & OCHSNER Energietechnik GmbH
© 2020 Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. & OCHSNER Energietechnik

3

Energieverbrauch und erneuerbare Energien (EE) in Deutschland



- Die Einführung erneuerbarer Energien im Stromsektor geht schneller voran als geplant
- Alle Sektoren sind im Wettbewerb um begrenzte Biomasseressourcen
- Es fehlen schlüssige Lösungen für die Nutzung von EE für **Wärme (Industrie und Gebäudesektor)** und Transport

Proprietary Information: This document or information cannot be reproduced, transmitted, or disclosed without prior written consent of Mitsubishi Hitachi Power Systems Ltd. & OCHSNER Energietechnik GmbH
© 2020 Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. & OCHSNER Energietechnik

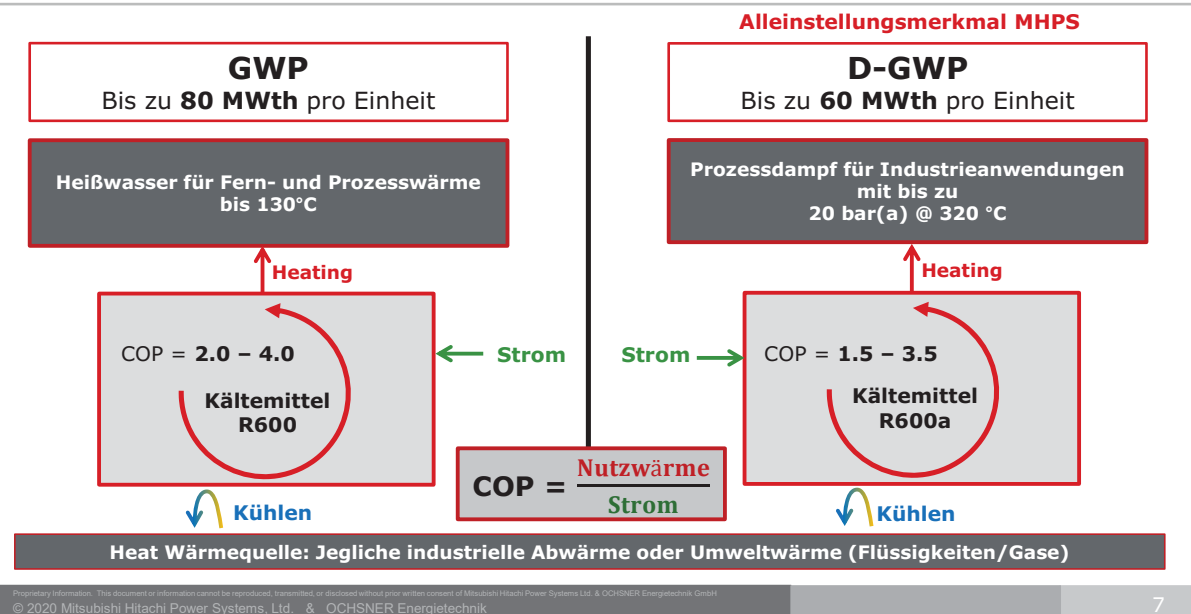
4

- **Sehr lange Investitionszyklen (bis zu 40 Jahren) im Gebäudebereich** und hohe Kosten für kleine Anlagen behindern zügigen Anlagenaustausch (ÖL/Gas gegen Wärmepumpen und/oder Solar oder Pellets)
- **Bestehende Fernwärmesysteme** sollten aufgrund ihrer ökologischen und ökonomischen Vorteile Bestandteil einer erneuerbaren Energien Zukunft sein. Bislang ist (limitierte) Biomasse der einzige Ansatz für CO₂ neutrale (KWK) Kraftwerke.
- **Die Industrie braucht Lösungen für mittlere und hohe Temperaturen**, ebenfalls in der Größenordnung von 100MW(th).
- Wärmeenergie muss **bezahlbar** bleiben.

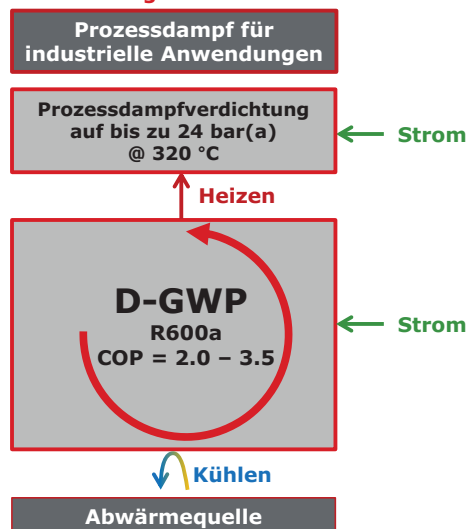
➔ Großwärmepumpen sind zumindest für Industrie und Fernwärme eine naheliegende Lösung des Dilemmas

MHPS Entwicklung für Großwärmepumpen zur Dampferzeugung

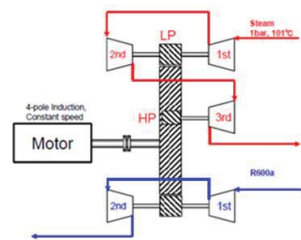
D-GWP



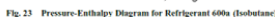
Alleinstellungsmerkmal MHPS



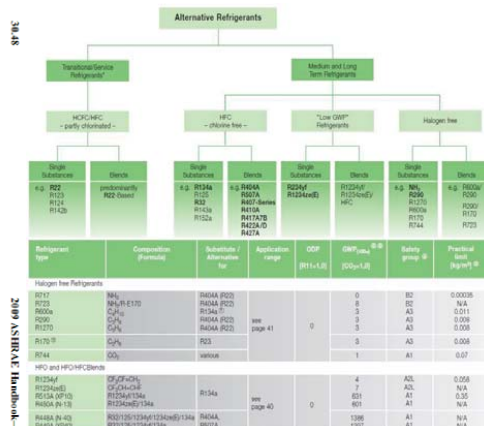
Integral-Gear-Kompressor für ein optimiertes Design von D-GWP



$P_{el} = 2.14 \text{ MW}$

$$Q_{th} = 4.26 \text{ MW}$$


* Ozonabbaupotential: Ozone Depletion Potential ODP



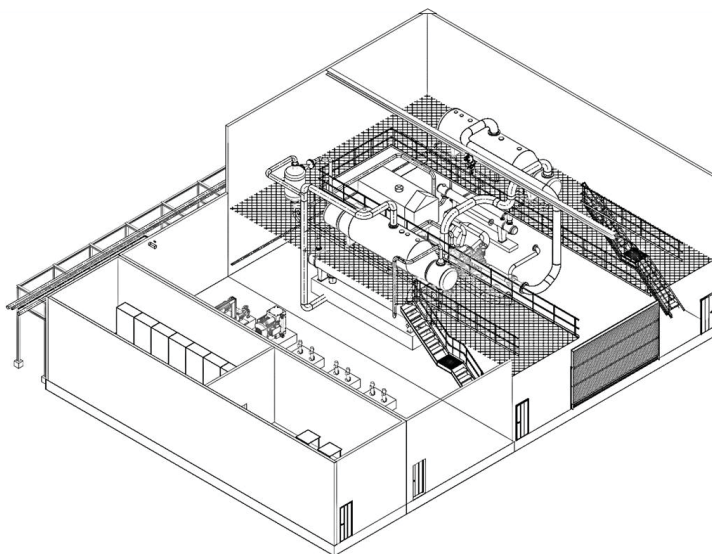
© 2004 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 255: 209–217

Prozessdampf

5.64 t/h - 6 bar(a)

@174 °C

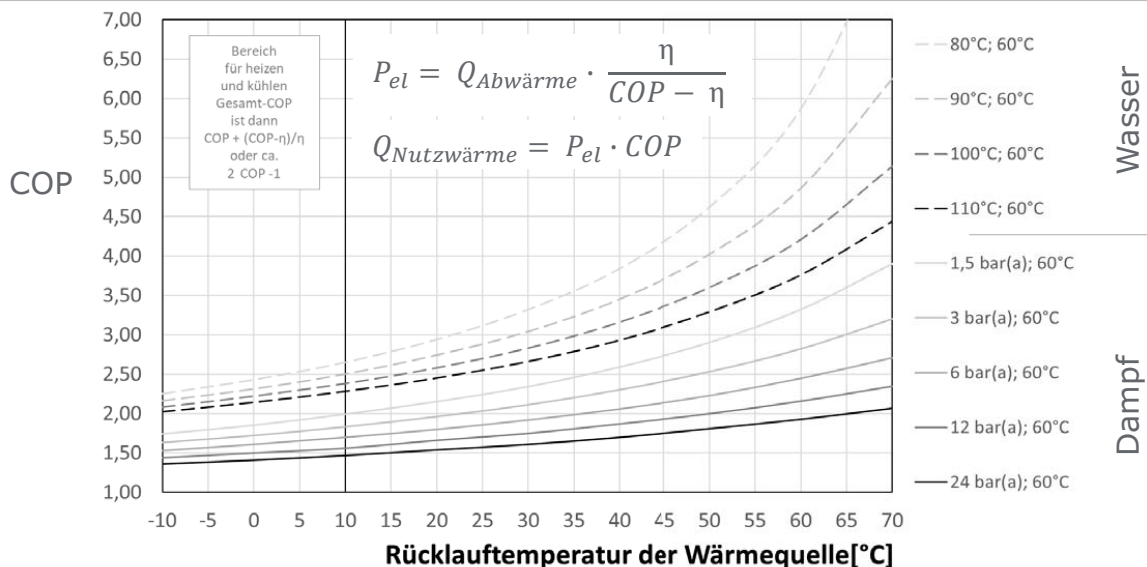
3D-Ansicht der
Beispielwärmepumpenanlage
mit einer Aufstellungsfläche
von ca. 25 x 16 Metern und
einer maximalen Deckenhöhe
von 12 Metern



Proprietary Information: This document or information cannot be reproduced, transmitted, or disclosed without prior written consent of Mitsubishi Hitachi Power Systems Ltd. & OCHSNER Energietechnik GmbH
© 2020 Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. & OCHSNER Energietechnik

11

MHPS Leistungsdiagramm für (D-)GWP



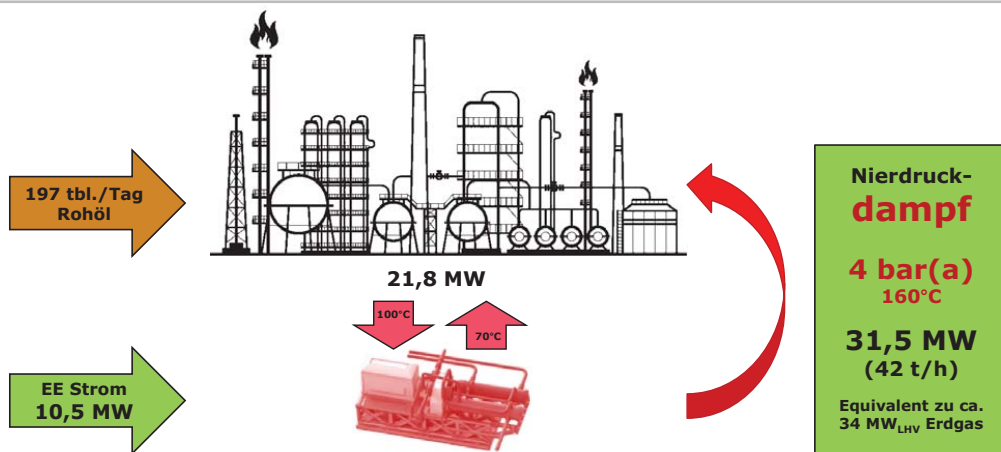
Proprietary Information: This document or information cannot be reproduced, transmitted, or disclosed without prior written consent of Mitsubishi Hitachi Power Systems Ltd. & OCHSNER Energietechnik GmbH
© 2020 Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. & OCHSNER Energietechnik

12

MHPS Entwicklung für Dampf-Großwärmepumpen (D-GWP)

Einsatz in einer Raffinerie als Beispiel

MHPS D-GWP – Beispiel einer Raffinerie



Abwärmenutzung aus 835 m³/h Produktkühlung $COP > 3$

D-GWP

Annuität (CAPEX) 2.918.739 EUR/Jahr
7% pro Jahr

Stromkosten 4.908.750 EUR/Jahr

55 EUR pro MWh

CO₂-Kosten 2025 n.v. EUR/Jahr

40 EUR pro Tonne

Personalkosten und 307.500 EUR/Jahr

Instandhaltung

Betriebszeit 8.500 Stunden pro Jahr

Dampfproduktion 357.000 Tonnen/Jahr

Dampfgestehungskosten **22,8 EUR/Tonne**

Gas Boiler

Annuität (CAPEX) n.v. # EUR/Jahr
7% pro Jahr

Natural Gas Cost 7.121.011 EUR/Jahr

25 EUR per MWh

CO₂-Kosten 2025 2.278.723 EUR/Jahr

40 EUR pro Tonne

Personalkosten und 82.500 EUR/Jahr

Instandhaltung

Betriebszeit 8.500 Stunden pro Jahr

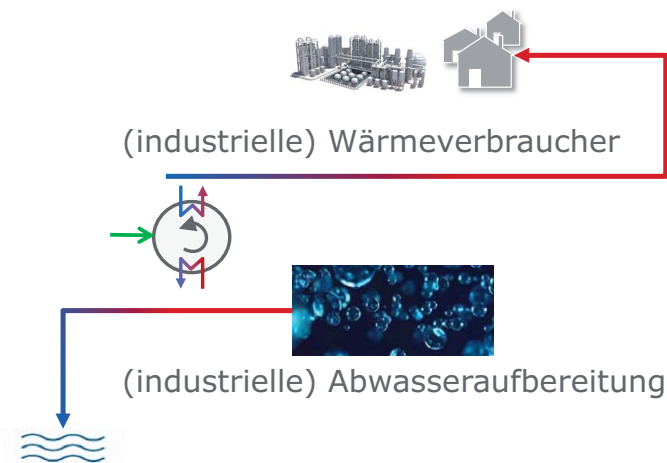
Dampfproduktion 357.000 Tonnen/Jahr

Dampfgestehungskosten **26,6 EUR/Tonne**

**Trotz höherer Kapitalkosten bei einer Neuinvestition kann Wärmepumpentechnik
bei entsprechender CO₂ Bepreisung wirtschaftlich sein!**

existierender Gaskessel

Großwärmepumpen für die kombinierte Abwasserrückkühlung und Wärmebereitstellung



■ **Annahme:**
Zukünftige Absenkung der erlaubten Einleittemperatur zur Vermeidung weiterer Gewässeraufheizung

■ **Konsequenz:**
Notwendige Investition in Rückkühlung

■ **Vergleich:**

1. Investition in Großwärmepumpe
2. Investition in Erdgaswärmeerzeugung & Kältemaschine

MHPS Kostenanalyse (Beispiel: Molkerei)

1. Wärmepumpe

Annuität (CAPEX)	1.938.441 EUR/Jahr
7% pro Jahr	
Gasverbrauchskosten	n.v. EUR/Jahr
25,- EUR/MWh(Hu)	
CO2-Kosten	n.v. EUR/Jahr
Stromverbrauchskosten	2.246.940 EUR/Jahr
90,- EUR/MWh	
Wartungskosten & Personal	153.167 EUR/Jahr
Betriebsstunden	6.570 Std. pro Jahr
Produziertes Heißwasser	52.560 MWh/Jahr
Genutzte Kühlleitung	28.530 MWh/Jahr
max. 4,3 MW	
Energiekosten WP	53,6 EUR/MWh
Gesamtjahreskosten	4.345.118 EUR/Jahr

2. Erdgasdampfzerzeuger & Kältemaschine

Annuität (CAPEX)	1.386.320 EUR/Jahr
7% pro Jahr	
Gasverbrauchskosten	1.389.136 EUR/Jahr
25,- EUR/MWh(Hu)	
CO2-Kosten	611.220 EUR/Jahr
Stromverbrauchskosten	1.005.210 EUR/Jahr
90,- EUR/MWh	
Wartungskosten & Personal	146.054 EUR/Jahr
Betriebsstunden	6.570 Std. pro Jahr
Produziertes Heißwasser	52.560 MWh/Jahr
Genutzte Kühlleitung	28.530 MWh/Jahr
max. 4,3 MW	
Energiekosten DE & KM	56,0 EUR/MWh
Gesamtjahreskosten	4.544.509 EUR/Jahr

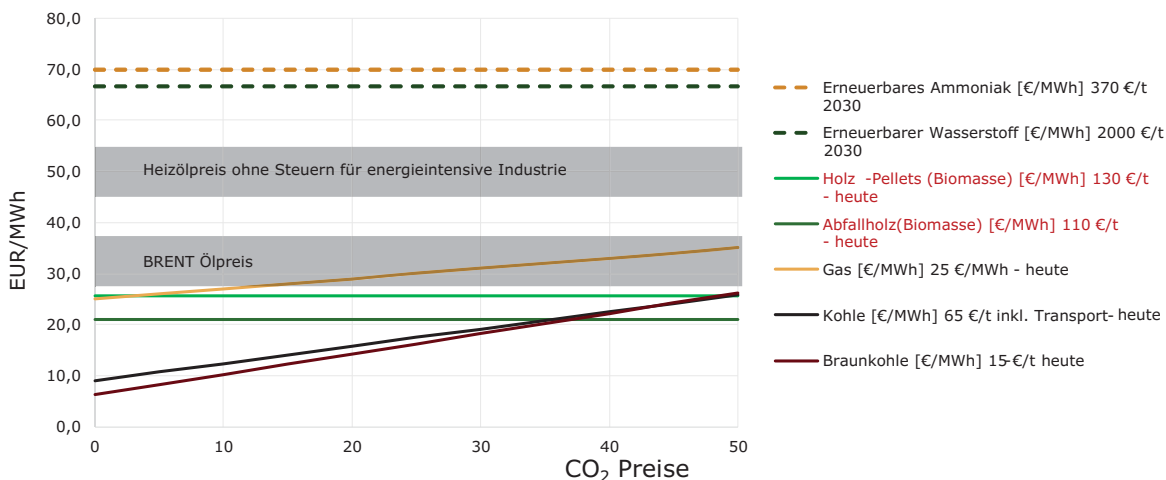
Wärmepumpentechnik ist wirtschaftlich und emissionsärmer!

Wärmepumpen in KWK Kraftwerken

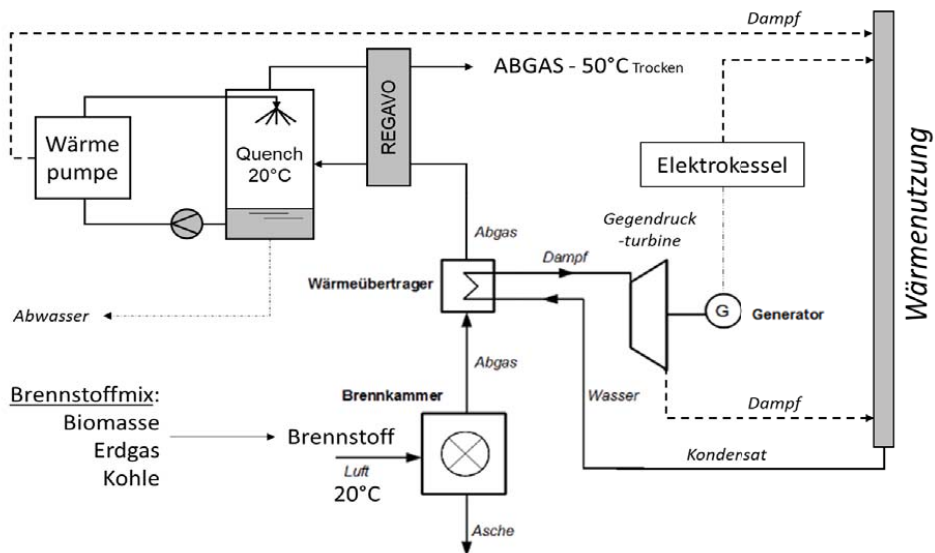


Energiepreise, Deutschland

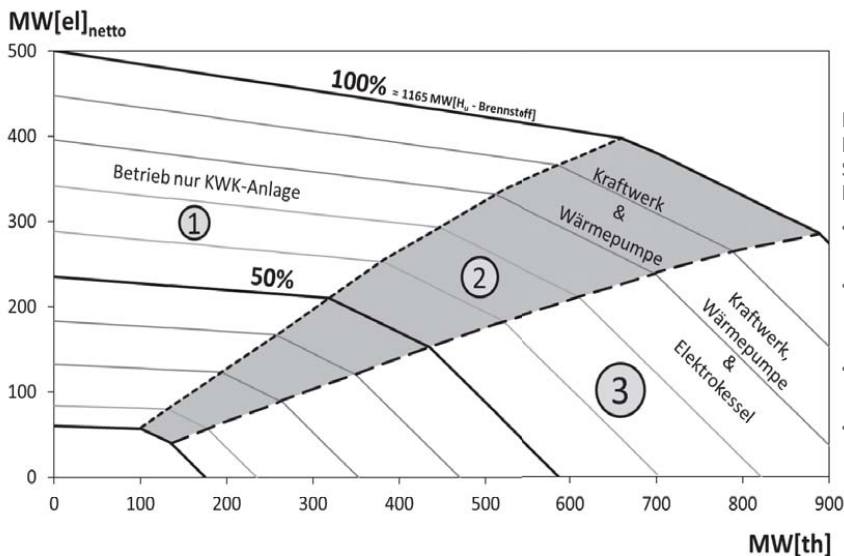
Brennstoffkosten als Funktion des CO₂ Preise



In naher Zukunft kann Biomasse der Brennstoff mit den niedrigsten Kosten sein



MHPS Kennfeld eines Brennwertdampfkraftwerkes



Kennfeld eines Brennwertdampfkraftwerkes für Strom und Prozessdampferzeugung mit

- max. 500 MW elektrische Nettoleistung ($\eta = 43\%$, H_u)
- 4 Stk. Wärmepumpen (COP = 1,95) mit 55 MW thermischer Leistung
- 3 Stk. Elektrokesseln mit 75 MW thermischer Leistung
- Brennstoffmix: Biomasse, Erdgas und Kohle

Umgerüstete Kraftwerksanlage

Annuität (CAPEX) 7%	23.598.231 EUR/Jahr
Brennstoffverbrauch 30,- EUR/MWh	232.389.474 EUR/Jahr
CO₂-Kosten bei 20% Erdgasfeuerung	11.892.144 EUR/Jahr
Wartungskosten & Personal	6.250.000 EUR/Jahr
Vollastbetriebsstunden	6.310 Std. pro Jahr
Produzierte Wärme	6.132.000 MWh/Jahr
Produzierte Strommenge	1.227.000 MWh/Jahr
Energiekosten Prozessdampf	29,5 EUR/MWh
Mengenkosten Prozessdampf	22,1 EUR/t
Stromverkaufspreise im Mittel	46,5 EUR/MWh

Weitere Anwendungsfälle sind (u.a.)

■ Im Kraftwerksbereich

- GWP als vollständiger Ersatz von KWK Kraftwerken im Sommerbetrieb (Luft/Flusswärme als Wärmequelle, Nutzung des Kraftwerksintegrierten Wärmespeichers)
- GWP zur Wirkungsraderrhöhung durch Abwärme Nutzung (Kühlwasser vor Einleitung, interne Kühlkreisläufe, z.B. Generatorkühlung)

■ In der Lebensmittelindustrie: Kombinierte Wärme/Kälteproduktion für Großverbraucher mit (Tief-)Kühlbedarf

■ Dampf und Prozesswärme: Papierindustrie, Kläranlagen etc.

■ In Zukunft: Abwärme von Großelektrolyse zur Wasserstoffherstellung

Power for a Brighter^{*} Future

Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen als Schlüsselement der Wärmewende

N. Wenn, T. Neuenhahn, J. Schäfer, C. Hüttl

Siemens Gas and Power GmbH & Co KG

Die Wärmeversorgung macht etwa die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs in den EU28 aus. 2/3 der in den EU28 benötigten Wärme werden heute noch durch fossile Energieträger erzeugt. Die Dekarbonisierung des Wärmesektors muss daher zentraler Bestandteil der Energiewende sein. Für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung werden zwei Schritte vorgeschlagen. Im ersten Schritt erfolgt die Elektrifizierung der Wärmeversorgung, um im zweiten Schritt den daraus resultierenden elektrischen Bedarf durch Strom aus Erneuerbaren Energien zu decken. Aufgrund ihrer hohen Effizienz bei der Bereitstellung von Wärme sind Wärmepumpen besonders geeignet, um einen wesentlichen Beitrag zur Elektrifizierung des Wärmesektors zu leisten. Durch die Entwicklungen der letzten Jahre sind Wärmepumpen dabei nicht mehr auf den Niedertemperaturbereich bis ca. 90 °C limitiert, sondern können nun auch für Anwendungen mit Temperaturen von bis zu 150 °C zum Einsatz kommen. Dieser Fortschritt ermöglicht beispielsweise die Bereitstellung von Prozesswärme auf Basis von Abwärme oder Fernwärme und das gezielte Anheben des Temperaturniveaus niederkalorischer Wärmequellen auf das Temperaturniveau von Fernwärmenetzen. Siemens Energy bietet im Bereich der Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen komplette Lösungen mit thermischen Leistungen von bis zu 70 MW an. Siemens Energy kann dabei nicht nur auf zahlreiche in den 1980er und 1990er errichtete Großwärmepumpen zurückblicken, sondern bietet unter Verwendungen seines eigenen Verdichterportfolios umfassende Lösungen von der Konzeptionierung über die Errichtung und Inbetriebsetzung bis hin zur Wartung von Großwärmepumpen an. Zur kosteneffizienten Gestaltung der Wärmewende ist es notwendig, einzelne innovative Technologien in ihrem energiesystemtechnischen Kontext zu betrachten, um Wechselwirkungen zu verstehen und Synergien zwischen Sektoren heben zu können. Siemens Energy setzt neuste Methoden des Energiesystemdesigns ein, um gemeinsam mit Kunden spezifische Konzepte für die Dekarbonisierung der Energiesysteme vor Ort zu entwickeln.

Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen als Schlüsselement der Wärmewende

1. EVT Online Tagung „Hochtemperatur-Wärmepumpen im Energiesystem“

N. Wenn, T. Neuenhahn, J. Schäfer, C. Hüttl
Siemens Gas and Power GmbH & Co KG

22.06.2020

www.siemens.com

Kurzfassung / Abstract

Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen als Schlüsselemente der Wärmewende

SIEMENS
Ingenuity for life

Die Wärmeversorgung macht etwa die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs in den EU28 aus. 2/3 der in den EU28 benötigten Wärme werden heute noch durch fossile Energieträger erzeugt. Die Dekarbonisierung des Wärmesektors muss daher zentraler Bestandteil der Energiewende sein.

Für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung werden zwei Schritte vorgeschlagen. Im ersten Schritt erfolgt die Elektrifizierung der Wärmeversorgung, um im zweiten Schritt den daraus resultierenden elektrischen Bedarf durch Strom aus Erneuerbaren Energien zu decken.

Aufgrund ihrer hohen Effizienz bei der Bereitstellung von Wärme sind Wärmepumpen besonders geeignet, um einen wesentlichen Beitrag zur Elektrifizierung des Wärmesektors zu leisten. Durch die Entwicklungen der letzten Jahre sind Wärmepumpen dabei nicht mehr auf den Niedertemperaturbereich bis ca. 90 °C limitiert, sondern können nun auch für Anwendungen mit Temperaturen von bis zu 150 °C zum Einsatz kommen.

Dieser Fortschritt ermöglicht beispielsweise die Bereitstellung von Prozesswärme auf Basis von Abwärme oder Fernwärme und das gezielte Anheben des Temperaturniveaus niederkalorischer Wärmequellen auf das Temperaturniveau von Fernwärmenetzen.

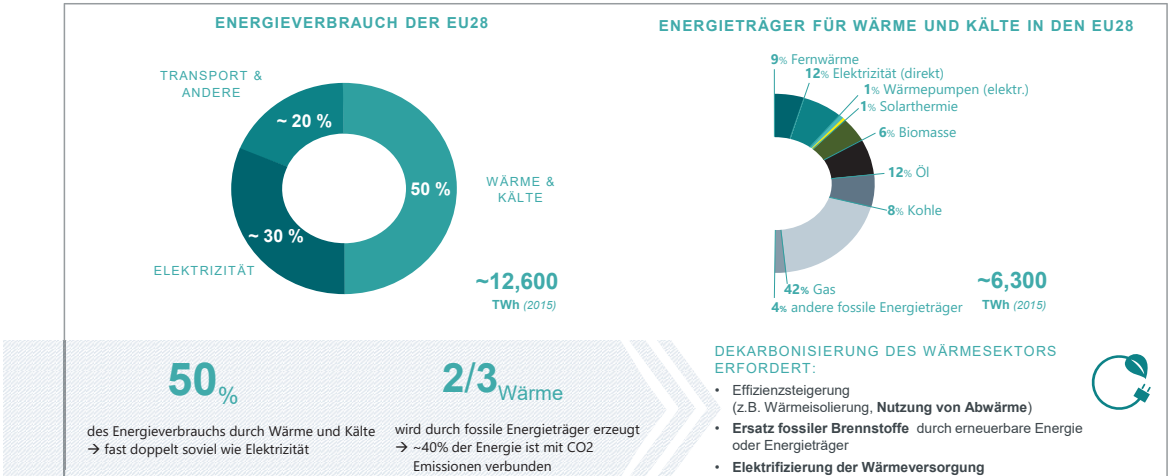
Siemens Energy bietet im Bereich der Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen komplette Lösungen mit thermischen Leistungen von bis zu 70 MW an. Siemens Energy kann dabei nicht nur auf zahlreiche in den 1980er und 1990er errichtete Großwärmepumpen zurückblicken, sondern bietet unter Verwendungen seines eigenen Verdichterportfolios umfassende Lösungen von der Konzeptionierung über die Errichtung und Inbetriebsetzung bis hin zur Wartung von Großwärmepumpen an.

Zur kosteneffizienten Gestaltung der Wärmewende ist es notwendig, einzelne innovative Technologien in ihrem energiesystemtechnischen Kontext zu betrachten, um Wechselwirkungen zu verstehen und Synergien zwischen Sektoren heben zu können. Siemens Energy setzt neueste Methoden des Energiesystemdesigns ein, um gemeinsam mit Kunden spezifische Konzepte für die Dekarbonisierung der Energiesysteme vor Ort zu entwickeln.

Dekarbonisierung des Wärmesektors ist notwendig

da Wärme in Europa hauptsächlich durch fossile Energieträger erzeugt wird

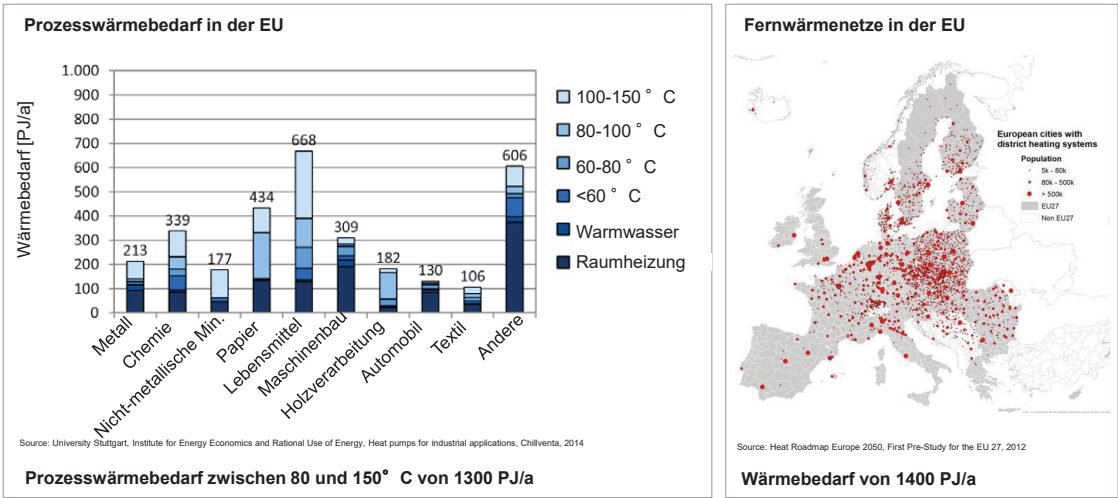
SIEMENS
Ingenuity for Life



Wärmebedarf in Europa

Fern- und Prozesswärme

SIEMENS
Ingenuity for Life



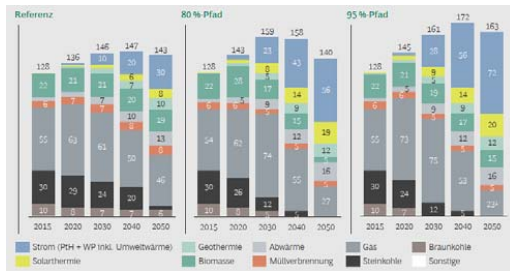
Zentrale Rolle der Wärmepumpe für die Wärmewende

Großwärmepumpen in Energiesystemstudien

SIEMENS
Ingenuity for Life

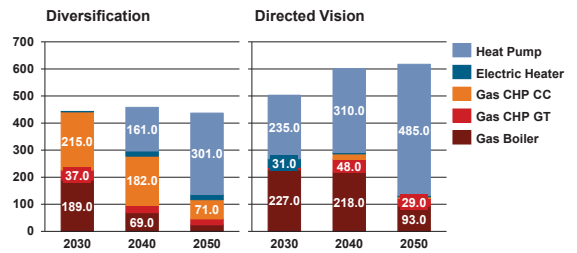
Nationale Ebene

Fernwärmerzeugung nach Energieträgern in TWh/a



Europäische Ebene

Fernwärmerzeugung in TWh/a

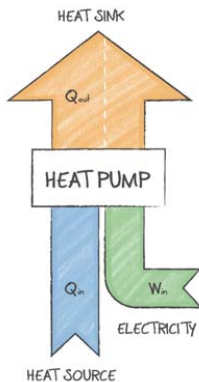


Wärmepumpen erlauben eine effiziente Elektrifizierung der Wärme

Grundprinzip, Experimentelle Ergebnisse und industrielle Perspektive

SIEMENS
Ingenuity for Life

Schema



Funktionprinzip

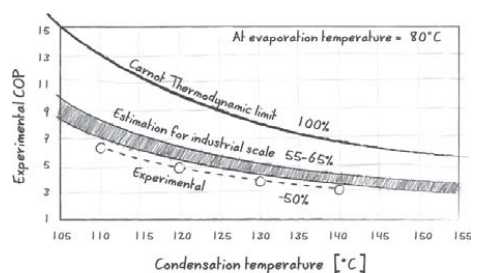
Wärme strömt im Normalfall von einer hohen zu einer niedrigen Temperatur. Wärmepumpen sind jedoch in der Lage den Wärmestrom in die umgekehrte Richtung zu lenken, indem sie geringe Mengen hochwertiger Antriebsenergie, wie z.B. elektrischen Strom verwenden. Dadurch können Wärmepumpen Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein hohes Temperaturniveau übertragen.¹

$$COP = \frac{\text{Thermische Energie (OUT)}}{\text{Elektrische Energie (IN)}}$$

$$COP_{HP} = 3 \dots 6 \quad \text{Wärmepumpe}$$

$$COP_{EK} < 1 \quad \text{Elektro-Kessel}$$

COP* – Carnot, Industriemaßstab (> 5 MW), Labormaßstab (~10 kW)



Gütegrad (Vergleich verschiedener Anwendungsfälle)

$$\text{Gütegrad} = \frac{COP_{real}}{COP_{Carnot}}$$

> 55% Industrielle Wärmepumpen
< 35% Haushaltswärmepumpen

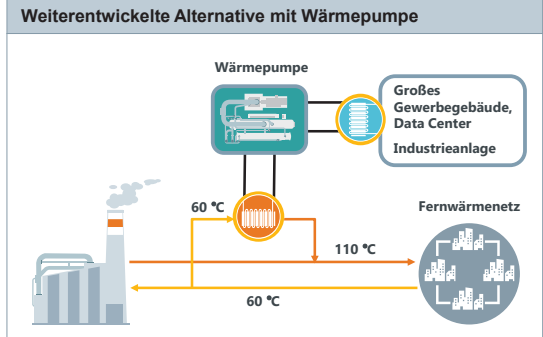
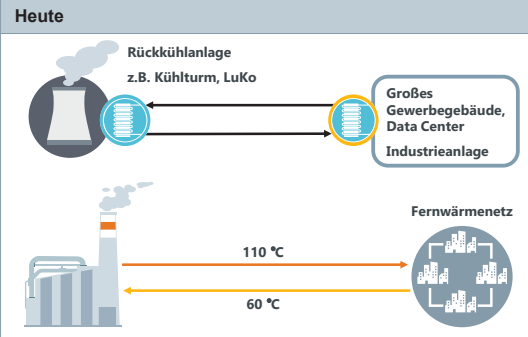
¹EA Heat Pump Centre, URL: <http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/heatpumptechnology/Idor/default.aspx>, Stand 11.02.2013

*Coefficient of Performance

Hochtemperatur Wärmepumpe @ Fernwärmenetz & Industrie

Integration großer Kühltssysteme / Erschließung neuer Wärmequellen

SIEMENS
Ingenuity for Life



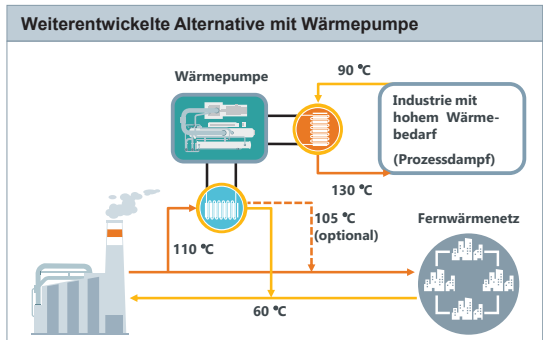
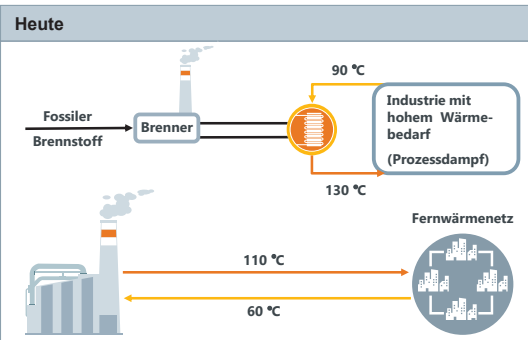
Vorteil

- Kälteenergie als "neues Produkt"
- Abwärme von großen Gewerbegebäuden, Rechenzentren, etc. kann verwertet und in Fernwärmenetzen verwendet werden
- Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- Kein luftgekühlter Kondensator oder Kühlturm benötigt (Wassersparnis, Eigenbedarf)

Hochtemperatur Wärmepumpe @ Fernwärmenetz & Industrie

Prozesswärmeversorgung durch das Fernwärmesystem

SIEMENS
Ingenuity for Life



Vorteil

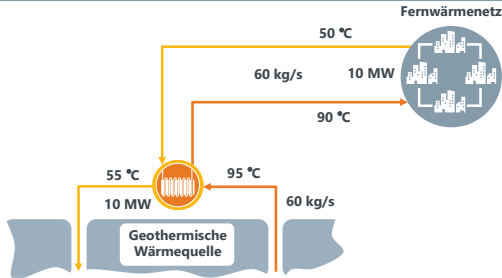
- Neuer Fernwärmekunde – verhältnismäßig hohes und konstantes Lastprofil (auch im Sommer)
- Lokal emissionsfreie Prozesswärmeversorgung
- Prozesswärmeversorgung mit potentiell reduzierter CO₂-Bilanz

Hochtemperatur Wärmepumpe @ Fernwärmenetz

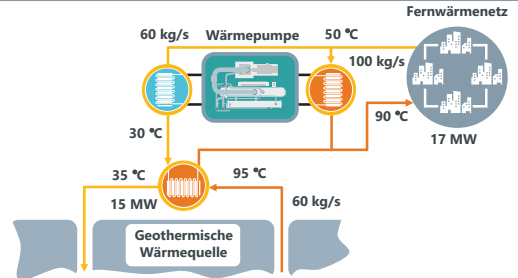
Leistungserhöhung vorhandener Quellen – z.B. geothermische Quellen

SIEMENS
Ingenuity for Life

Standardnutzung von tiefer geothermischer Energie



Weiterentwickelte Alternative mit Wärmepumpe



Vorteil

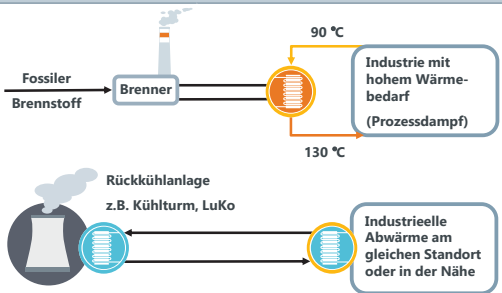
- Erhöhte Wärmeausbeute einer geothermischen Quelle +50%
- Erhöhte Wärmeversorgung des Fernwärmenetzes +70%
- Gleicher Massenstrom im Bohrloch (keine Änderung bei der geothermischen Wärmequelle nötig)

Hochtemperatur Wärmepumpe @ Industrie

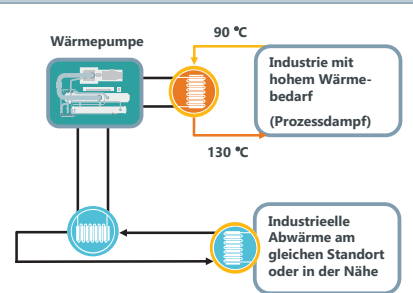
Niederdruck-Dampfversorgung aus industrieller Abwärme

SIEMENS
Ingenuity for Life

Heute



Weiterentwickelte Alternative mit Wärmepumpe



Vorteil

- Prozesswärmeversorgung mit reduzierter CO₂-Bilanz
- Geringere Abhängigkeit von Erdgas
- Verwertung von Abwärme verbessert die Gesamteffizienz
- Reduzierter Kühlbedarf (z.B. auch Wassersparnis bei Nasskühlturmsystemen)

Zuverlässige und wirtschaftliche Wärmepumpenlösungen von Siemens

durch bewährte Technologien, Komponenten und Kompetenzen

SIEMENS
Ingenuity for Life

Technologie



Technologieentwicklung & -test bewiesen:

- Wärmebereitstellung bis zu 150° C
- Umweltfreundliche Arbeitsmedien
niedriges GWP und ODP
 - Zukunftssicher einsetzbar
- Arbeitsmedium ist nicht toxisch und nicht brennbar:
 - Reduzierte Sicherheitsvorkehrungen
 - Weniger Zulassungsvorgaben

Verdichter



Siemens bewährte Technologie basieren auf:

- > 2.100 Verdichter seit 1948 ausgeliefert
- Ausgelegt auf 5 Jahre ununterbrochenen Betrieb & 20 Jahre Lebensdauer
- Durch Verdichter Design kein Kontakt zwischen Schmieröl und Arbeitsfluid

Energy Solution

> 100
Jahre

Erfahrung mit Systemintegration

> 1.500
abgewickelt

Kraftwerksblöcke



Service

50
abgewickelt

Groß-Wärmepumpen
(5-30 MW_{th}/Anlage)

1980
seit

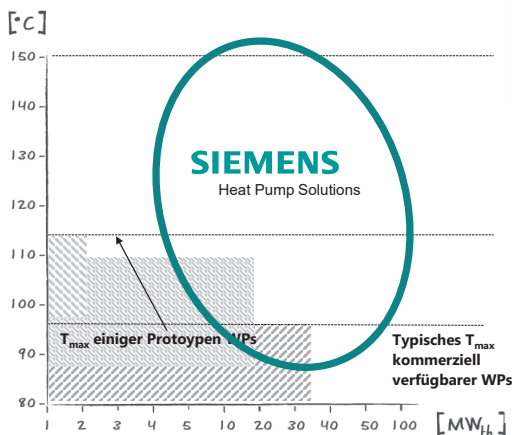
Erfahrung mit Wärmepumpen-
Service

Industrielle Großwärmepumpen von Siemens

bedienen sowohl Fernwärme- als auch Industrie-Anwendungen

SIEMENS
Ingenuity for Life

Einsatzgebiete der Siemens Wärmepumpen



WÄRMELEISTUNG

~4 – 70 MW_{th} pro Einheit



TEMPERATUREN

bis zu 150° C



UMWELTFREUNDLICHE ARBEITSMEDIENTEN

niedriges GWP und ODP



VARIABLES ANTRIEBSKONZEPT

elektrisch oder mechanisch



LIEFERUMFANG

Komponenten bis zu
schlüsselfertigen Lösungen

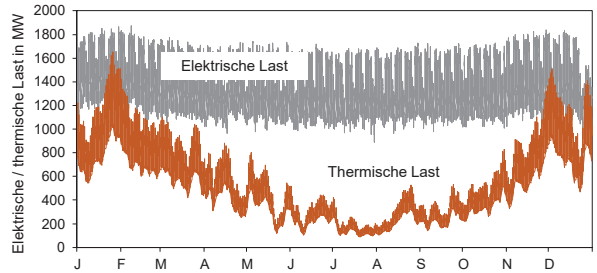
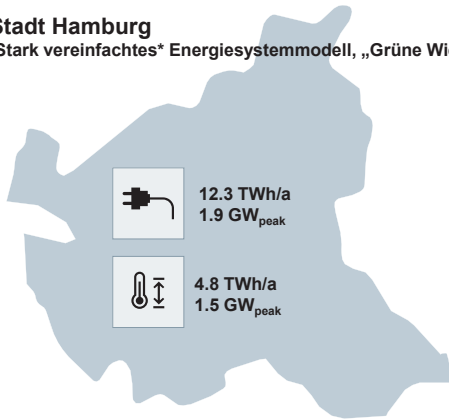
* Direkt aus der Wärmepumpe, höhere Temperaturen möglich durch nachgeschaltete Prozesse

Energiesystemdesign Fallstudie

Ein einfaches Energiesystemmodell für die Strom- und Wärmeversorgung der Stadt Hamburg führt zu Kosten von 600 Mio €/a und CO₂-Emissionen von 5 Mt/a

SIEMENS
Ingenuity for Life

Stadt Hamburg (Stark vereinfachtes* Energiesystemmodell, „Grüne Wiese“)



Erdgas-basiertes Szenario
Energy System Design
Optimierung der Anlagenkapazitäten und des -einsatzes

~1.9 GW KWK

~ 500 MW
Gas Boiler

~ 1 GWh
Warmwasser-
speicher

€^{TOTEX}
~600 m
p.a.

~ 5 Mt
CO₂ p.a.

*Stark vereinfachtes Energiesystemmodell: Optimierung für ein Jahr, ein Standort, Vernachlässigung von Reserveleistungen

Seite 13

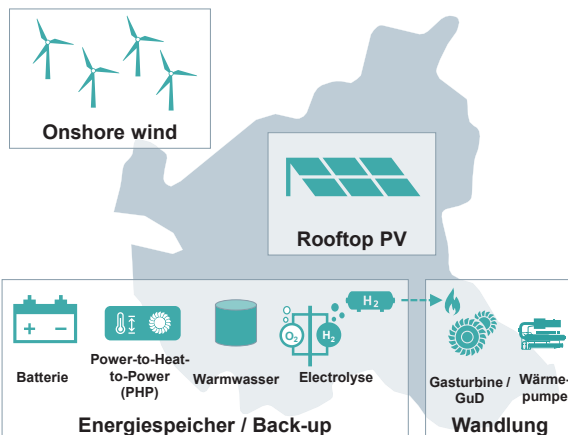
Industrial Heat Pump / © Siemens Gas and Power 2020

Juni 2020

Energiesystemdesign Fallstudie

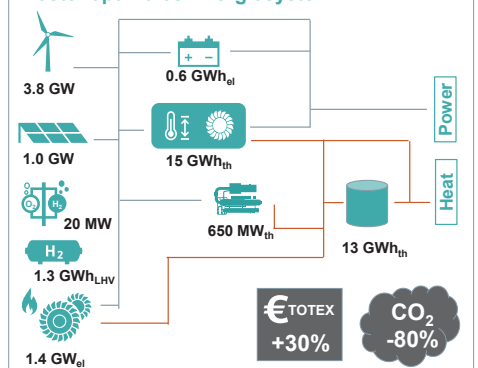
Neben einer sehr starken Nutzung Erneuerbarer Energien und der Nutzung von Energiespeichern spielen **Wärmepumpen** eine wesentliche Rolle bei der kosteneffizienten Dekarbonisierung

SIEMENS
Ingenuity for Life



Dekarbonisierungsszenario – minus 80% CO₂
(Kosten- und Performanceparameter für 2025/30)

Kostenoptimales Energiesystem



Seite 14

Industrial Heat Pump / © Siemens Gas and Power 2020

Juni 2020

Zusammenfassung

Wärmepumpen in der Dekarbonisierung des Wärmesektors

SIEMENS
Ingenuity for Life

Die Elektrifizierung des Wärmesektors ist der Schlüssel zu deren Dekarbonisierung.

Wärmepumpen ermöglichen eine energieeffiziente Elektrifizierung des Wärmesektors.

Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen eröffnen neue Möglichkeiten für die Erzeugung von Prozess- und Fernwärme.

Der Weg zur einer nachhaltigen Wärme- und Stromerzeugung erfordert eine übergreifende Betrachtung von Energiesystemen.

Siemens Energy ist Ihr kompetenter Ansprechpartner für dekarbonisierte Energiesysteme und bietet sowohl neueste Methoden des Energiesystemdesigns als auch ein entsprechendes Produktportfolio.

Seite 15

Industrial Heat Pump / © Siemens Gas and Power 2020

Juni 2020

Kontaktseite

Siemens Industrielle Wärmepumpen & Dekarbonisierte Energiesysteme

Heat Pumps



Dr. Christian Hüttl

Business Owner Industrial Heat Pump Solutions
Siemens Energy, Solutions

Mobil: +49 (172) 5213738

christian.huettl@siemens.com

Decarbonized Energy Systems



Dr. Jochen Schäfer

Head of Decarbonized Energy System Design & Concepts
Siemens Energy, Decarbonized Energy Systems

Mobil: +49 (173) 1863573

jochen.js.schaefer@siemens.com

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit ! Fragen ?



Norbert Wenn

Sales Energy Transition Projects Europe
Siemens Energy, Solutions

Mobil: +49 (152) 22524749

norbert.wenn@siemens.com



Dr. Thomas Neuenhahn

Sales Center of Competence "Heat"
Siemens Energy, Decarbonized Energy Systems

Mobil: +49 (172) 6683008

thomas.neuenhahn@siemens.com

Seite 16

Industrial Heat Pump / © Siemens Gas and Power 2020

Juni 2020

Disclaimer

This document contains statements related to our future business and financial performance and future events or developments involving Siemens that may constitute forward-looking statements. These statements may be identified by words such as "expect," "look forward to," "anticipate" "intend," "plan," "believe," "seek," "estimate," "will," "project" or words of similar meaning. We may also make forward-looking statements in other reports, in presentations, in material delivered to shareholders and in press releases. In addition, our representatives may from time to time make oral forward-looking statements. Such statements are based on the current expectations and certain assumptions of Siemens' management, of which many are beyond Siemens' control. These are subject to a number of risks, uncertainties and factors, including, but not limited to those described in disclosures, in particular in the chapter Risks in Siemens' Annual Report. Should one or more of these risks or uncertainties materialize, or should underlying expectations not occur or assumptions prove incorrect, actual results, performance or achievements of Siemens may (negatively or positively) vary materially from those described explicitly or implicitly in the relevant forward-looking statement. Siemens neither intends, nor assumes any obligation, to update or revise these forward-looking statements in light of developments which differ from those anticipated.

Trademarks mentioned in this document are the property of Siemens AG, its affiliates or their respective owners.

TRENT® and RB211® are registered trade marks of and used under license from Rolls-Royce plc.

Trent, RB211, 501 and Avon are trade marks of and used under license of Rolls-Royce plc.

Band / Volume 511

Techno-ökonomische Bewertung von Verfahren zur Herstellung von Kraftstoffen aus H₂ und CO₂

S. Schemme (2020), 360 pp

ISBN: 978-3-95806-499-7

Band / Volume 512

Enhanced crosshole GPR full-waveform inversion to improve aquifer characterization

Z. Zhou (2020), VIII, 136 pp

ISBN: 978-3-95806-500-0

Band / Volume 513

Time-Resolved Photoluminescence on Perovskite Absorber Materials for Photovoltaic Applications

F. Staub (2020), viii, 198 pp

ISBN: 978-3-95806-503-1

Band / Volume 514

Crystallisation of Oxidic Gasifier Slags

J. P. Schupsky (2020), III, 127, XXII pp

ISBN: 978-3-95806-506-2

Band / Volume 515

Modeling and validation of chemical vapor deposition for tungsten fiber reinforced tungsten

L. Raumann (2020), X, 98, XXXVIII pp

ISBN: 978-3-95806-507-9

Band / Volume 516

Zinc Oxide / Nanocrystalline Silicon Contacts for Silicon Heterojunction Solar Cells

H. Li (2020), VIII, 135 pp

ISBN: 978-3-95806-508-6

Band / Volume 517

Iron isotope fractionation in arable soil and graminaceous crops

Y. Xing (2020), X, 111 pp

ISBN: 978-3-95806-509-3

Band / Volume 518

Geophysics-based soil mapping for improved modelling of spatial variability in crop growth and yield

C. Brogi (2020), xxi, 127 pp

ISBN: 978-3-95806-510-9

Band / Volume 519

Measuring and modelling spatiotemporal changes in hydrological response after partial deforestation

I. Wiekenkamp (2020), xxxvii, 276 pp

ISBN: 978-3-95806-512-3

Band / Volume 520

Characterization of Root System Architectures from Field Root Sampling Methods

S. Morandage (2020), xxii, 157 pp

ISBN: 978-3-95806-511-6

Band / Volume 521

Generation Lulls from the Future Potential of Wind and Solar Energy in Europe

D. S. Ryberg (2020), xxvii, 398 pp

ISBN: 978-3-95806-513-0

Band / Volume 522

Towards a Generalized Framework for the Analysis of Solar Cell Performance based on the Principle of Detailed Balance

B. J. Blank (2020), iv, 142 pp

ISBN: 978-3-95806-514-7

Band / Volume 523

A Robust Design of a Renewable European Energy System Encompassing a Hydrogen Infrastructure

D. G. Çağlayan (2020), xxii, 312 pp

ISBN: 978-3-95806-516-1

Band / Volume 524

Control and Optimization of a Lorentz Force Based Actuator System for External Flow

M. F. Seidler (2020), xii, 136 pp

ISBN: 978-3-95806-518-5

Band / Volume 525

ETV Online Tagung 2020

Industrielle Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen im Energiesystem

D. Stolten, G. Markowz (Hrsg.) (2020), ca. 71 pp

ISBN: 978-3-95806-519-2

Weitere **Schriften des Verlags im Forschungszentrum Jülich** unter
<http://wwwzb1.fz-juelich.de/verlagextern1/index.asp>

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 525
ISBN 978-3-95806-519-2