

Einsatz von Großwärmepumpen für die Gebäudebeheizung in Schleswig-Holstein (Projekt GWPuSH)

Prof. Dr. Oliver Opel
Institut für die Transformation des Energiesystems

In Zusammenarbeit und mit Unterstützung durch

Gefördert von



Lernen
mit weitem
Horizont



- gegründet 1993
- seit 2000 am neuen Campus mit Mensa, Studierendenwohnheim und Bibliothek
- Ca. 1.600 Studierende
- Ca. 200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- Grüne Studiengänge, z.B.
 - Green Building Systems (B.Sc.)
 - Green Energy (M.Sc.)



Institut für die Transformation des Energiesystems

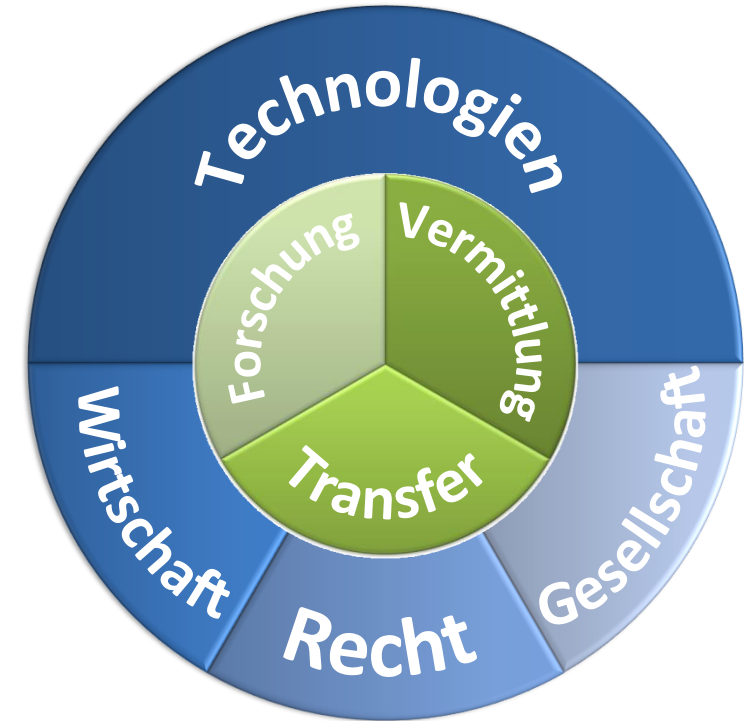
- Gründung im November 2018
- Gefördert mit Mitteln des Landesprogramms Wirtschaft, Unterstützung durch das Förderforum der FH Westküste
- Baustein im **ENTREE100-Konzept** der Region Heide

Zielsetzung:

- Aufbau wissenschaftlicher Infrastruktur für interdisziplinäre Projekte der Energiewende

Stand:

- Derzeit ca. 30 Mitarbeitende in 17 Forschungsprojekten
- Kompetenz in Gebäudetechnik, Netzintegration, Sektorenkopplung, Energiewenderecht, Wirtschaft & Gesellschaft, Automatisierungstechnik



Ziel:

Ermittlung von Möglichkeiten für den Einsatz von Großwärmepumpen für die Gebäudebeheizung in SH

AP 01. Recherche und Auflistung existierender Wärmebedarfskataster

AP 02. Recherche existierender Wärmenetze, Temperaturniveaus und derzeitiger Wärmequellen

AP 03. Aktuelle Marktrecherche zu GWPs

AP 04. Ermittlung von möglichen Umwelt- und Abwärmequellen für Wärmepumpen sowie Darstellung ihrer speziellen Anforderungen

AP 05. Ermittlung und Darstellung von Kennzahlenscharen für die Kombination verschiedener Umweltwärmequellen und Nutzungstechnologien

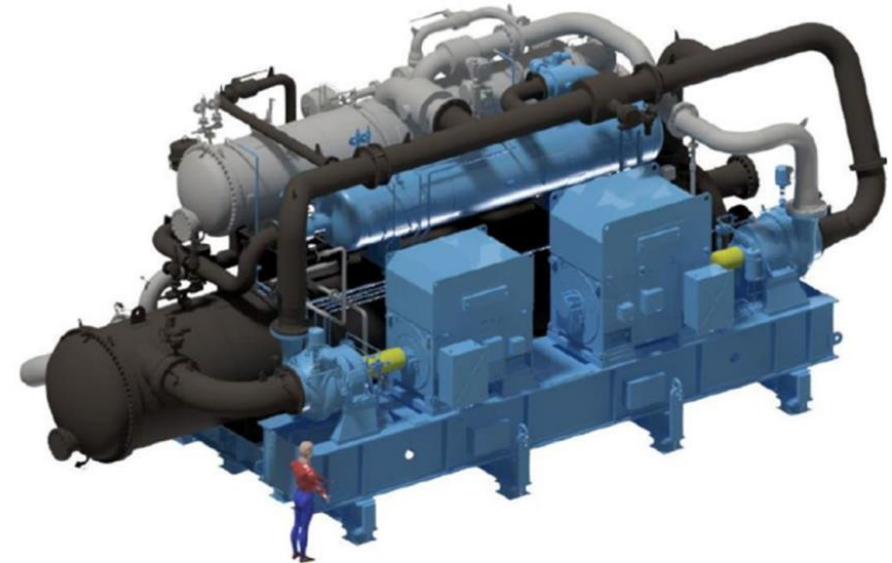
Luft nur bis max. ca. 0,5 – 1 MW th.

- Max. ca. 75 °C
- Bspw. Ammoniak Scrollkompressor 2-stufig (SCOP ca. 3,7)
- Für 1 MW Wärmeleistung werden ca. 250.000 m³ Luft pro h benötigt (< 10 K)

Wasser / Sole bis ca. 25 MW

- Max. ca. 95 °C
- SCOP für Flusswasser ca. 2,5 - 3
- Für 1 MW Wärmeleistung werden ca. 100-300 m³ Wasser pro h benötigt
- Wärmequellen:
 - Grundwasser (5 K)
 - Oberflächenwasser (2 – 5 K)
 - Abwasser (5 – 10 K)
 - (Wärmespeicher mit Regeneration)
 - (Erdsonden mit Regeneration)

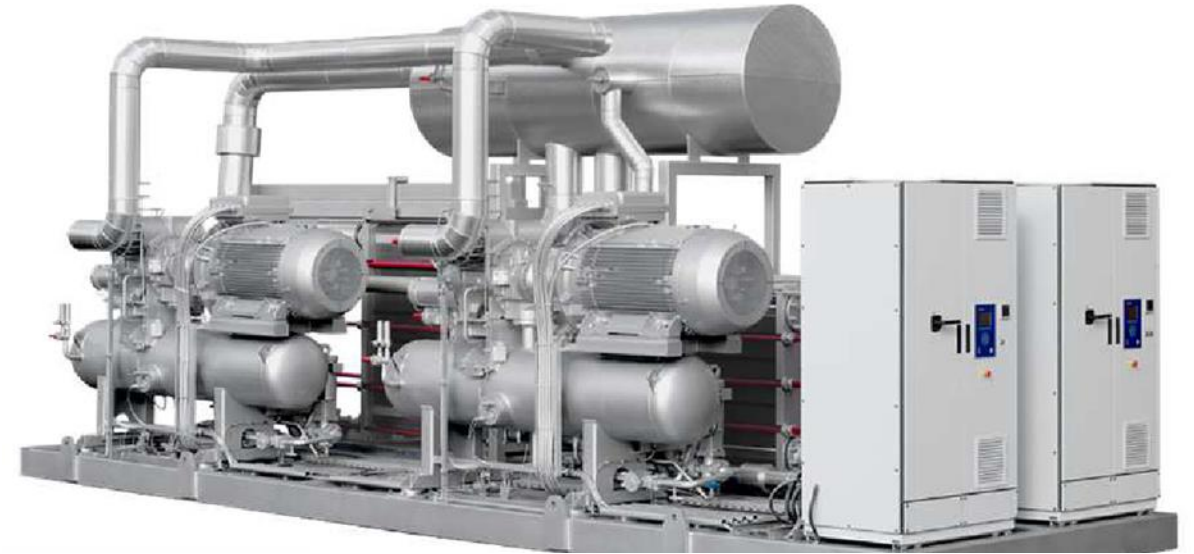
- Turbokompressoren ermöglichen hohe Leistungsdichten und Temperaturhübe
- Mehrere Stufen auf relativ kleinem Raum möglich
- Aufgrund der Strömungsverdichtung hohe COP nur mit hohem Molekulargewicht des Kältemittels (weniger geeignet für natürliche Kältemittel)
- Bedingt Teillastfähig
- Halbe Stellfläche und geringere Kosten im Vergleich zu den Scrollkompressoren



10 MW Flusswasser-Wärmepumpe mit zweistufigem Turbokompressor (Friotherm)

Technologie	P	SCOP bis 90 K Hub	Kosten	Stellfläche	Kälte- mittel
Turbo- kompressor	Bis 25 MW	2,5-2,7	> 400 € / kW	100 m ² / 10 MW	R1234ze

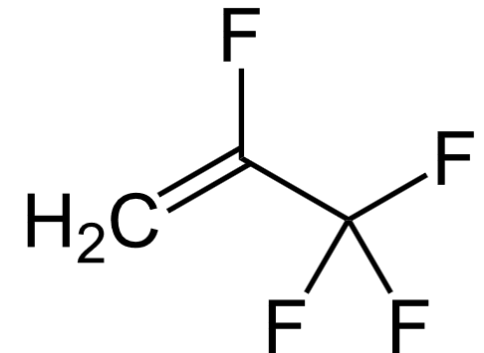
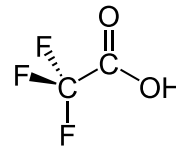
- Scrollkompressoren sind gut regelbar und teillastfähig
- Können gut mit natürlichen Kältemitteln R717 (Ammoniak) und R290 (Propan) betrieben werden
- Mit Ammoniak sehr gute SCOP bei hohem Temperaturhub
- Gut geeignet für die meisten Wärmequellen und –Senken
- Etwas höhere Kosten und Stellplatzbedarf



Wärmepumpe mit zweistufigem Scrollkompressor (Sabroe/Johnson Controls)

Technologie	P	SCOP bis 90 K Hub	Kosten	Stell- fläche	Kältemittel
Scroll- kompressor	Bis 13 MW	2,7-3	> 550 € / kWp	100 m ² / 5 MW	R717, R290

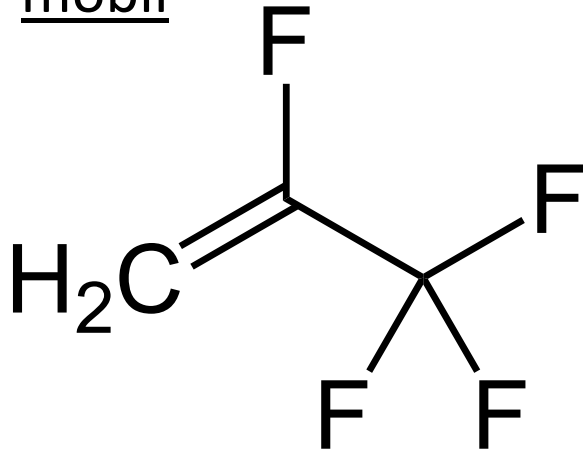
- Nach FCKW-Verbot (Montreal 1987) wurden fluorierte Kältemittel eingesetzt
- Diese schädigen die Ozonschicht nicht mehr, weisen aber weiterhin sehr hohes Treibhausgas-Potential auf (bspw. R404A GWP=3920; R410A GWP=2088; R134a GWP=1430)
- Die sog. F-Gase werden aus diesem Grund seit 2017 ausgefadet und durch sog. „Low-GWP“-Kältemittel ersetzt (Bspw. R32 GWP=675)
- Klimafreundlicher sind natürliche Kältemittel wie CO₂ (R744), NH₃ (R717) und Propan (R290)
- HFO-Kältemittel besitzen ebenfalls geringe GWP: R1234yf GWP<1
- Aber: PFAS-Problematik: Persistente Stoffe und Abbauprodukte
- Lebensdauer R134a: $\tau = 13,5a$
- Abbauprodukt Trifluoressigsäure TFA



HFO Tetrafluorpropen R1234yf und R1234ze

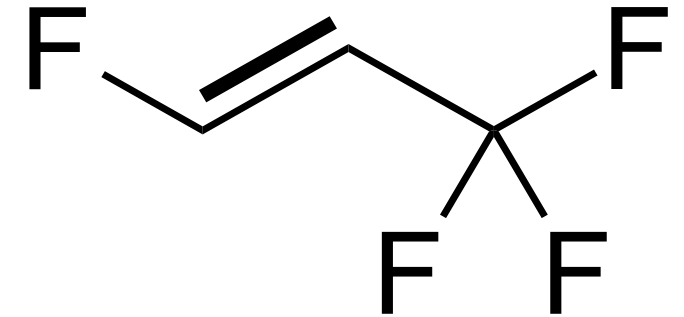
R1234yf 2, 3, 3, 3-Tetrafluorpropene

- Nicht wassergefährdend
- GWP < 1 (IPCC 2014)
- Mittlere Lebensdauer $\tau = 10,5$ d
- Abbauprodukt TFA persistent und mobil



R1234ze(E) trans-1, 3, 3, 3-Tetrafluorpropene

- Nicht wassergefährdend
- GWP < 1 (IPCC 2014)
- Mittlere Lebensdauer $\tau = 16,4$ d
- Abbauprodukte CO_2 , HF, Ameisensäure



Atmospheric oxidation products of commercial haloolefins.

Haloolefin	Intermediate products	Final products
$\text{CF}_3\text{—CF=CH}_2$ (HFO-1234yf)	$\text{CF}_3\text{C(O)F}$, HCHO	$\text{CF}_3\text{C(O)OH}$, CO_2 , HF
<i>trans</i> - $\text{CF}_3\text{—CH=CHF}$ (HFO-1234ze(E))	$\text{CF}_3\text{C(O)H}$, HC(O)F	CO_2 , HC(O)OH , HF
$\text{CF}_3\text{—CF=CF}_2$ (HFO-1216)	$\text{CF}_3\text{C(O)F}$, COF_2	$\text{CF}_3\text{C(O)OH}$, CO_2 , HF
<i>E</i> - $\text{CF}_3\text{—CH=CHCl}$ (1233zd(E))	$\text{CF}_3\text{C(O)H}$, HC(O)Cl , HCl , $\text{CF}_3\text{CH=CHOH}$	CO_2 , HF , HCl
<i>Z</i> - $\text{CF}_3\text{—CH=CHCl}$ (1233zd(Z))	$\text{CF}_3\text{C(O)H}$, HC(O)Cl , HCl , $\text{CF}_3\text{CH=CHOH}$	CO_2 , HF , HCl

[Wallington et al. 2014]

- Nachteil: Geringe Wärmekapazität, sehr hohe Volumenströme ($> 200.000 \text{ m}^3/\text{h}$ pro MW)
- Bei WP-Anwendungen deutlich größere Wärmetauscher im Vergleich zur Kühlung ($< 10 \text{ K}$)
- Im Winter teilweise niedrige Quellentemperaturen, schlechtere COP
- Gefahr von „Kaltluftseen“
- Daher in der Leistung begrenzt auf ca. 0,5 – 1 MW
- Hoher Schallpegel



[Deutsche-Thermo.de]

- Sehr günstig bei ausreichender Verfügbarkeit (Umweltwärmepotential)
- Freisetzung von Kältemittel in das Gewässer sollte verhindert werden (doppelw. Wärmet.)
- Delta T 5-10 K → Geringe Volumenströme ca. 100 m³/h pro 1 MW th. benötigt
- Abwasserpotential ca. 10 m³/h je 1000 Einwohner
- (Heizlast je 1000 Einwohner ca. 1-10 MW)
 - Kann den Wärmebedarf nur anteilig decken!
 - gleiches Potential auf der Frischwasserseite
 - Trinkwasser wegen TwVO noch nicht nutzbar!



[FUNKE]



[eggenfelden.de]

- Sehr günstig bei ausreichender Verfügbarkeit (Umweltwärmepotential)
- Freisetzung von Kältemittel in das Gewässer sollte verhindert werden (doppelw. Wärmet.)
- Delta T ca. 5 K → Mittlere Volumenströme ca. 200 m³/h pro 1 MW th.
- Je Brunnen 50-150 m³/h
- Ca. 3 Brunnendubletten je MW
- Bei tieferen Brunnen oder Aquifer-Wärmespeicher bis zu 5 MW pro Brunnen.



[geotechniktirol.at]

- Sehr günstig bei ausreichender Verfügbarkeit (Umweltwärmepotential)
- Abkühlung des Gewässers muss unter 1 K bleiben
- Freisetzung von Kältemittel in das Gewässer sollte verhindert werden (doppelw. Wärmet.)
- ΔT 2-5 K $\rightarrow$ Recht große Volumenströme ca. 300 m³/h pro 1 MW th.
- Probleme bei $< 3^\circ\text{C}$ Quelltemperatur (Salzwasser $< 2,5^\circ\text{C}$)
- Binnengewässer in SH knapp!
- Vor allem an der Ostküste verfügbar $\rightarrow$ Seewasser
- An der Westküste oberflächennahes Grundwasser!



[FUNKE]

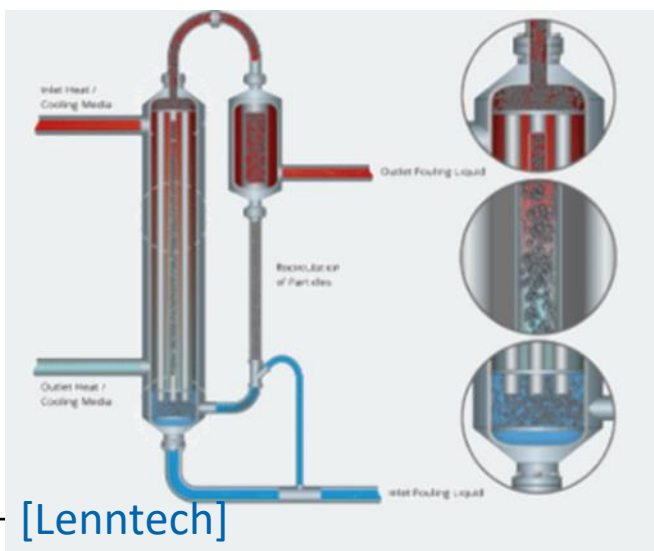


[paderborn.de]

- Korrosionsfeste Wärmetauschermaterialien
- Gefahr durch Bewuchs mit Meeresorganismen
- Eintrag von feinkörnigem Sediment
- Filtration über Sandfilter mit
- Reinigung mit Molchkugeln, Wirbelschicht-WT
- **Alternative: Ufernahe Brunnengalerie**



[Active-Powerclean]



[Lenntech]

Stahlgruppe	Gefüge	EN Werkstoff-Nr.	EN Kurzname	WS/ PRE(N)
1	Ferritisch	1.4016	X6Cr17	17
		1.4510	X3CrTi17	17
		1.4511	X3CrNb17	17
		1.4509	X2CrTiNb18	18
	Martensitisch	1.4057	X17CrNi16-2	16
		1.4122	X39CrMo17-1	20
	Austenitisch (V2A)	1.4541	X6CrNiTi18-10	18
		1.4301	X5CrNi18-10	19
		1.4307	X2CrNi18-9	19
1.4306		X2CrNi19-11	19	
2	Ferritisch	1.4521	X2CrMoTi18-2	26
	Duplex	1.4062	X2CrNiN22-2	27
		1.4162	X2CrMnNiN21-5-1	27
		1.4362	X2CrNiN23-4	26
	Austenitisch (V4A)	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	25
		1.4404	X2CrNiMo17-12-2	25
		1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	25
		1.4435	X2CrNiMo18-14-3	27
3	Duplex	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	34
	Austenitisch	1.4439	X2CrNiMoN17-13-5	38
		1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	35
4	Superduplex	1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	41
		1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	42
	Austenitisch (Superaustenit)	1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	48
		1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	47
		1.4565	X2CrNiMnMoN25-18-6-5	53
		1.4562	X1NiCrMoCu32-28-7	54

Tabelle 1: Für die Handhabung chloridhaltiger Wässer zu betrachtende nichtrostende Stähle und ihre Wirksumme. Zur Errechnung dieser gerundet angegebenen Wirksummen wurden mittlere Werte, vorzugsweise aus den in den einschlägigen Regelwerken, wie beispielsweise DIN EN 10088-1 [10] genannten Zusammensetzungen angenommen.

- Umweltwärme ist für größere Einheiten knapp!
 - Oberflächengewässer eignen sich sehr gut!
- Zentrales Thema Wasserentnahme und Vermeidung von Verschmutzungen

Darius Bonk, B. Eng.

Markt 18

25746 Heide

E-Mail: bonk@fh-westkueste.de

Tel.: +49 481 123 769 43

Jim Lukas Armbruster, B. Eng.

Markt 18

25746 Heide

E-Mail: armbruster@fh-westkueste.de

Tel.: +49 481 123 769 44

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Prof. Dr. Oliver Opel

Tel.: +49 481 8555-375

E-mail: opel@fh-westkueste.de

