

Web-Seminar Gewässerwärmepumpen: Potenziale, Herausforderungen und erfolgreiche Umsetzung

- 14.30 Uhr** **Begrüßung und Moderation**
Franz Pöter, Geschäftsführung Plattform Erneuerbare Energien Baden-Württemberg e.V.
- 14.35 Uhr** **Großwärmepumpen für die thermische Nutzung von Oberflächengewässern – Marktüber-
sicht, Genehmigungsfähigkeit und technische Umsetzung**
Dr. Henrik Pieper, Senior Berater am Hamburg Institut
- 14.55 Uhr** **Umsetzungsbeispiel: Seekollektor Bühnsee (Malsch im Landkreis Karlsruhe)**
Prof. Dr. Simone Walker-Hertkorn, Geschäftsführung Tewag
- 15.15 Uhr** **Reallabor Energiewende: Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen**
Dr. Andrej Jentsch, AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.
- 15.25 Uhr** **Gewässer-Wärmepumpen in großen Fernwärmenetzen: Von der Idee bis zur Umsetzung in
Mannheim.**
Felix Hack, Projektleiter Flusswärmepumpe bei MVV
- 15.45** **Fragen und Austausch mit dem Publikum** <https://app.sli.do/event/ecJNvrhJcANSRY8BqjhdMe/live/questions>
Moderation Franz Pöter
- 16 Uhr** **Schlussworte und Verabschiedung**

In Kooperation mit

GROßWÄRMEPUMPEN FÜR DIE THERMISCHE NUTZUNG VON OBERFLÄCHENGEWÄSSERN – MARKTÜBERSICHT, GENEHMIGUNGSFÄHIGKEIT UND TECHNISCHE UMSETZUNG

WEBINAR | GEWÄSSER-WÄRMEPUMPEN – POTENZIALE,
HERAUSFORDERUNGEN UND ERFOLGREICHE UMSETZUNG

DR. HENRIK PIEPER

08. Mai 2023

Einführung

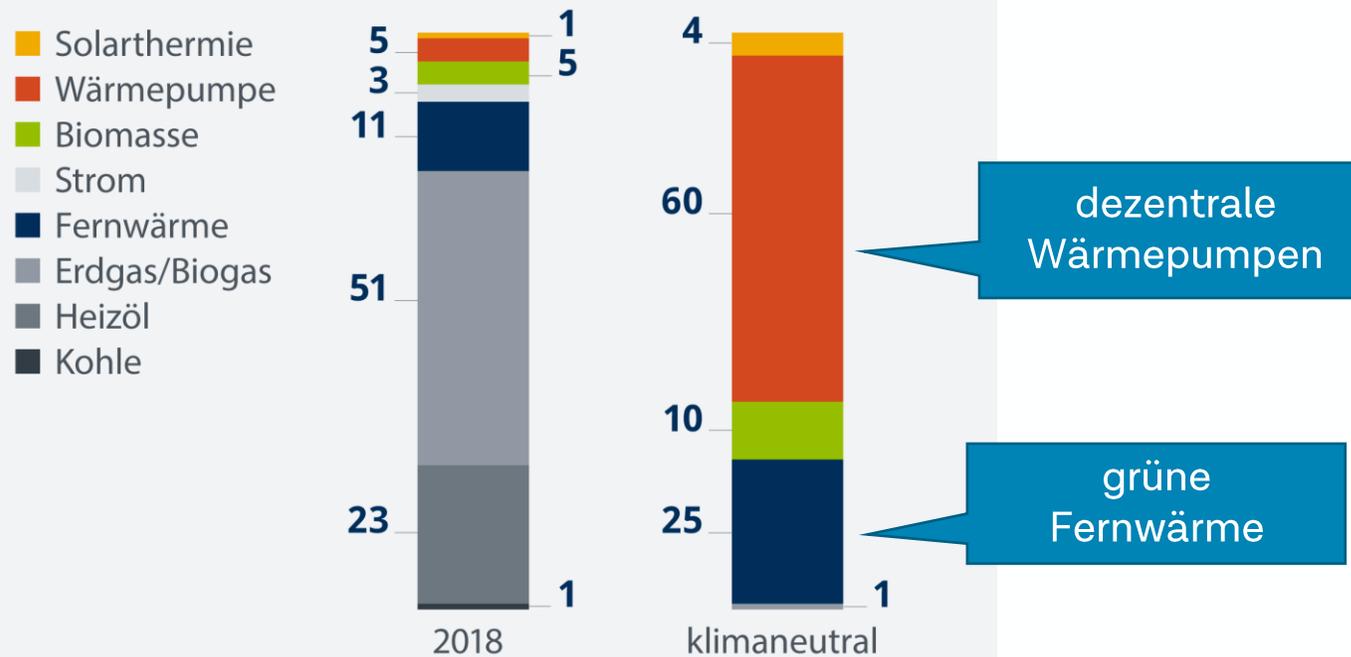
Marktübersicht

Genehmigungsfähigkeit

Technische Umsetzung

Wie heizen wir klimaneutral?*

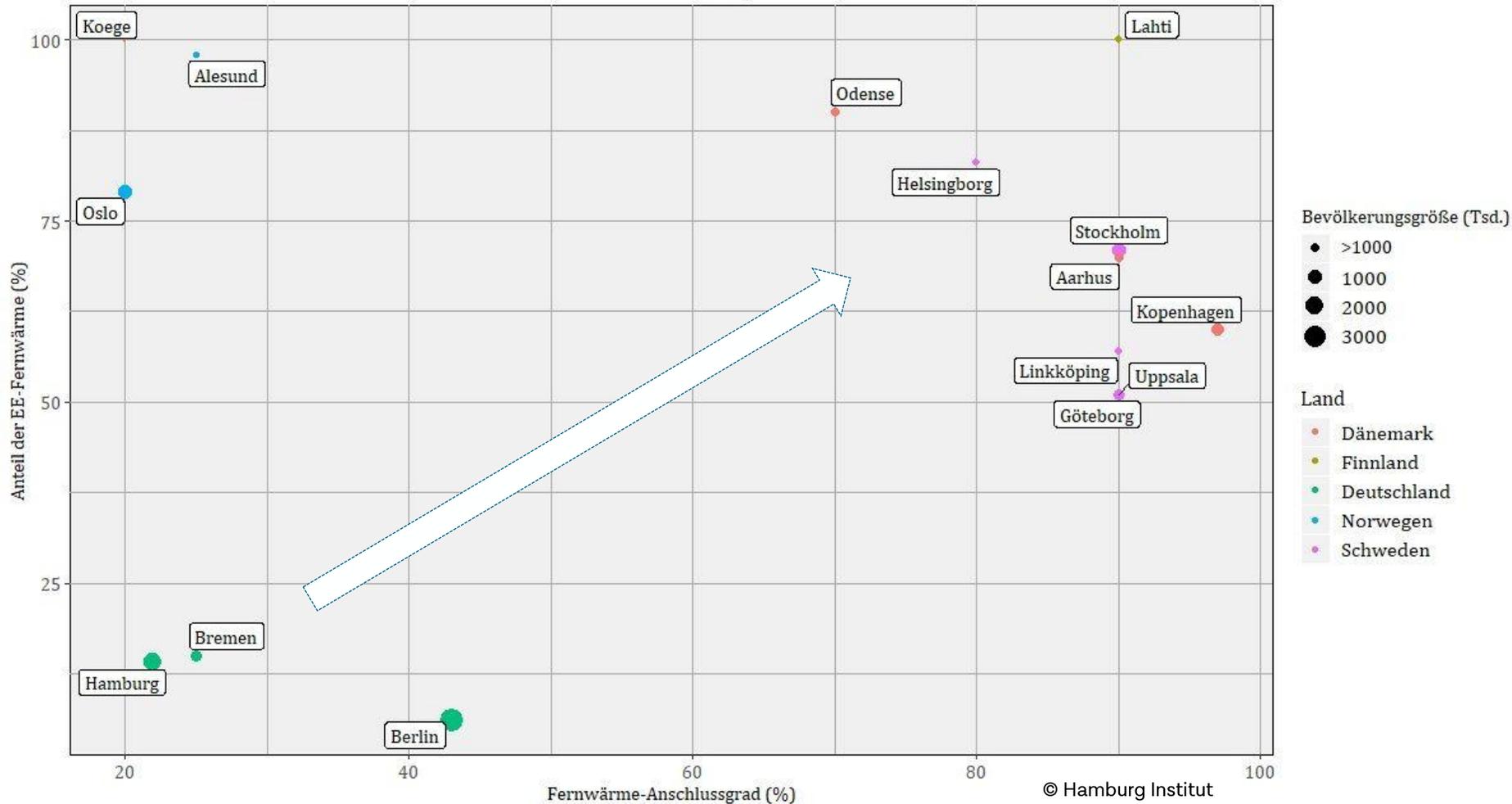
Anteil nach Wohnfläche in %



Quelle: Prognos 2020, *Szenario für Deutschland

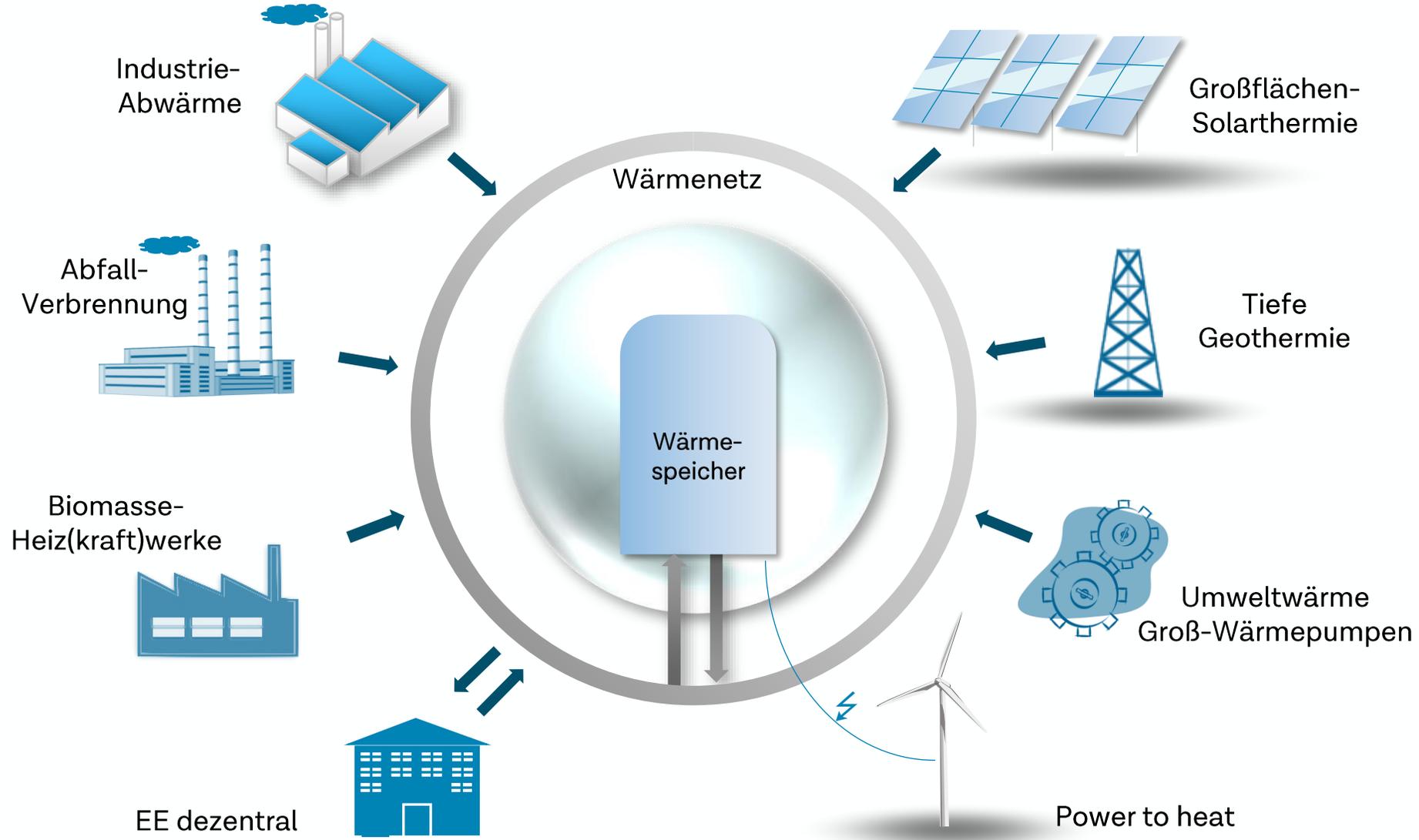
Fernwärme-Anschlussgrad und EE-Anteil in Städten

Erneuerbare Wärme in den ausgewählten Städten
Verhältnis des Fernwärme-Anschlussgrades zum EE-Anteil



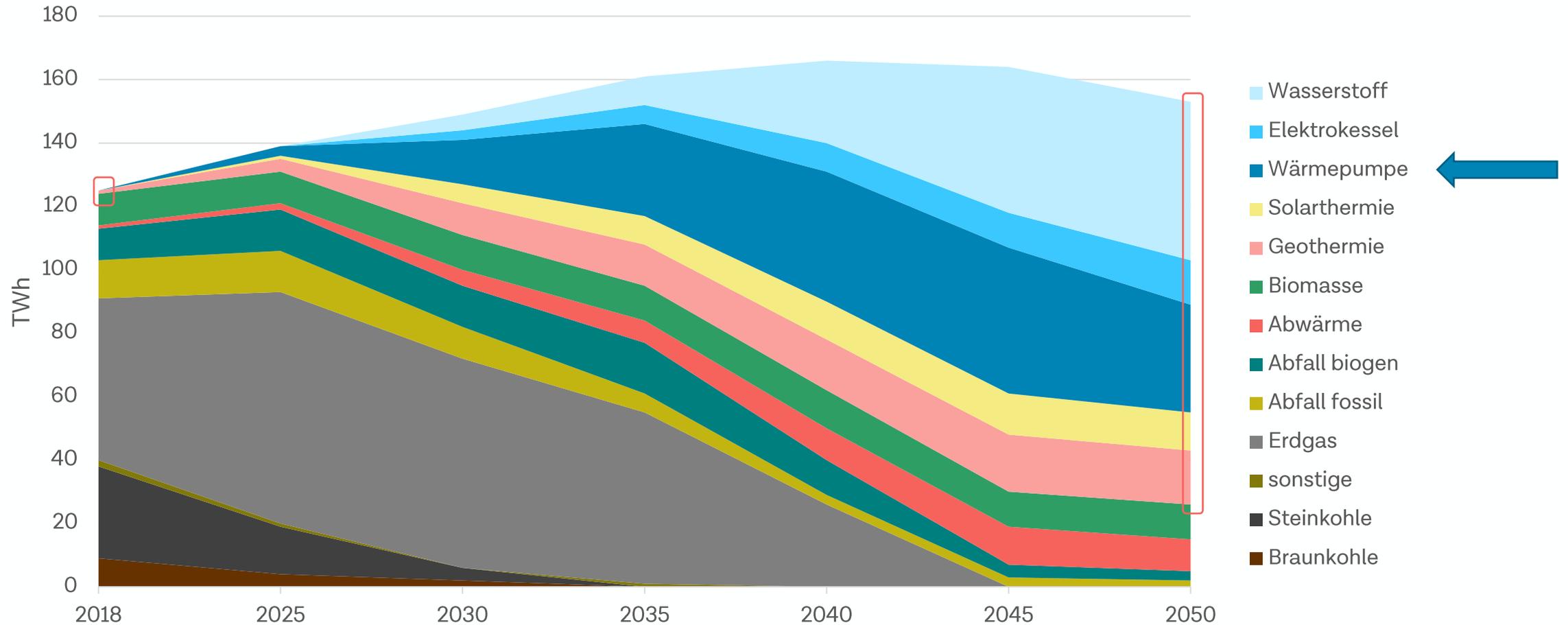
Wenn die energie-
wirtschaftlichen
Rahmenbedingungen
stimmen, sind in den
Städten hohe
Fernwärmequoten bei
gleichzeitig hohem
Anteil an erneuerbaren
Energien möglich.

Integration klimaneutraler Wärme über Fernwärme



Tiefgreifender Strukturwandel in der Fernwärmeerzeugung

Fernwärmeausbau und -dekarbonisierung für die Klimaneutralität in 2045



© Hamburg Institut mit Daten aus Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ Agora Energiewende, Agora Verkehrswende, Stiftung Klimaneutralität, 2021

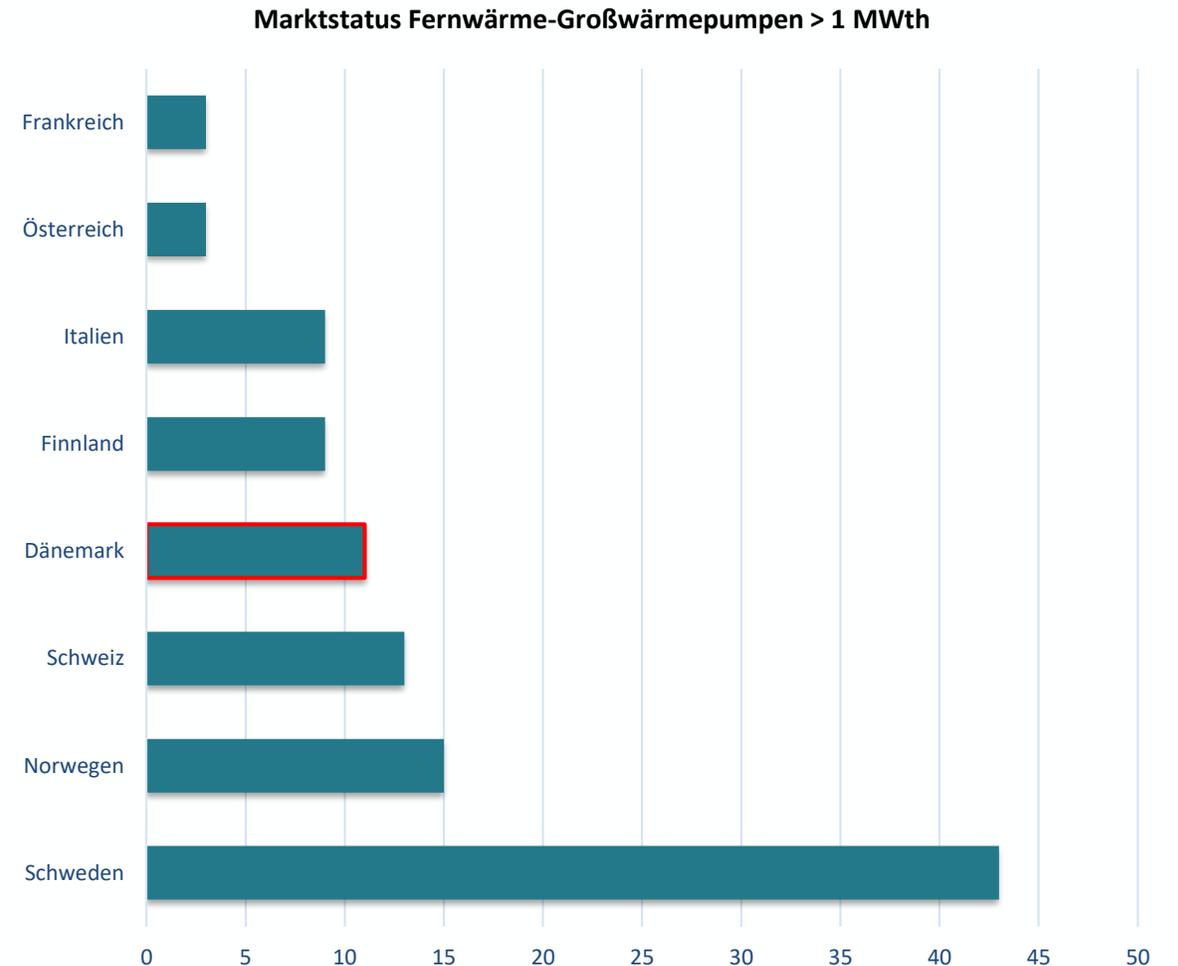
Einführung

Marktübersicht

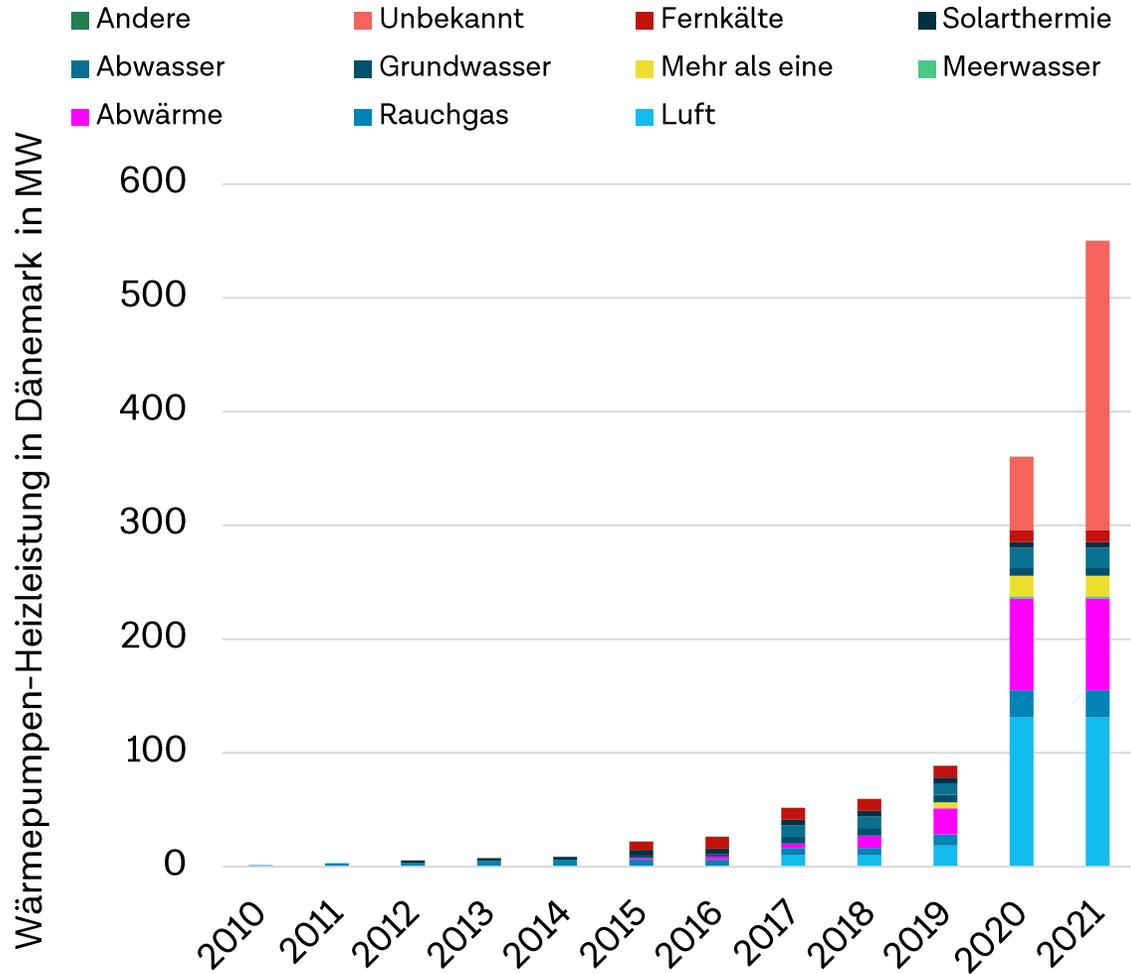
Genehmigungsfähigkeit

Technische Umsetzung

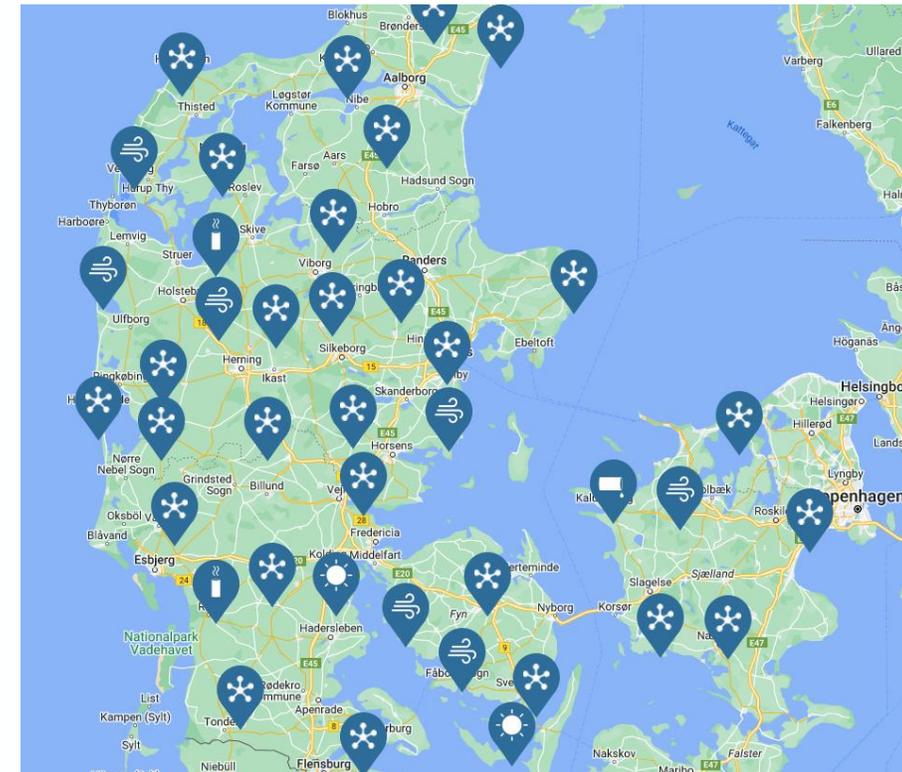
- Die Technik für Großwärmepumpen in der Fernwärme ist langfristig erprobt
- Mehr als 100 Anlagen mit Leistungen von jeweils mehr als 1 MWth sind in Betrieb, insbesondere in Skandinavien
- Referenzen Wärmepumpen mit Oberflächenwasser
 - 9 MW Lysaker (N)
 - 13 MW Drammen (N)
 - 14 MW Fornebu (N)
 - 60 MW Helsinki (FIN)
 - 180 MW Värtan-Stockholm (S)
- Verschiedene Wärmepumpen-Projekte zur Nutzung von Oberflächenwasser in der Fernwärme sind aktuell in Deutschland geplant



Heat Roadmap Europe, 2017



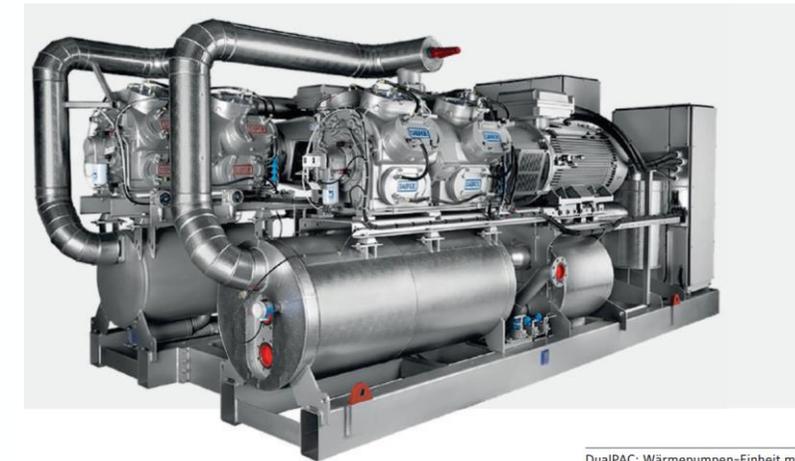
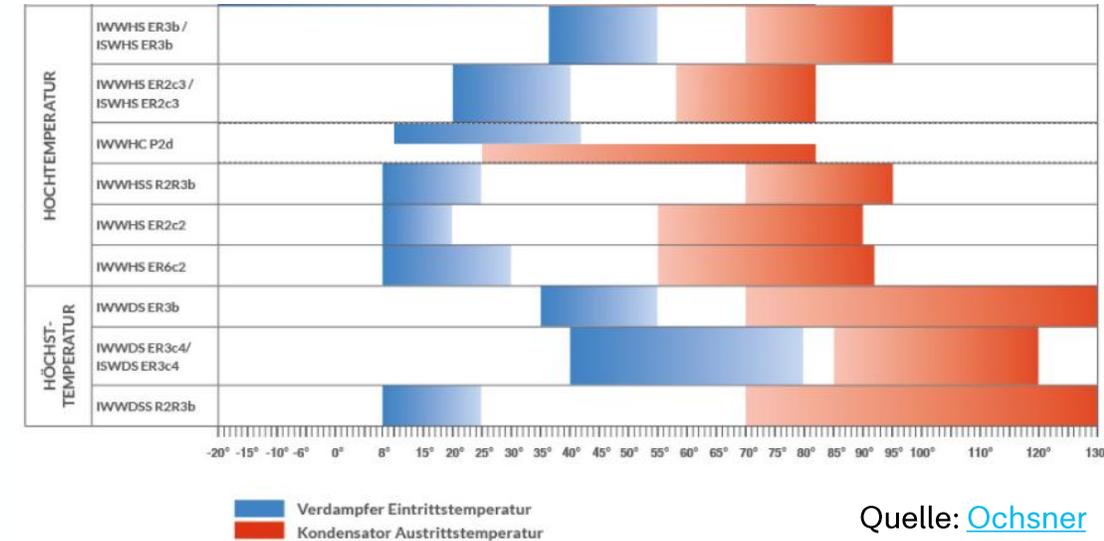
- Mehr als 100 Anlagen mit einer Gesamtleistung von mehr als 500 MW_{th}
- Oberflächengewässer: Esbjerg, Kopenhagen und Aarhus



Eigene Darstellung nach „[PlanEnergi](#): Overview on the large electric (and gas) driven heat pumps supplying heat to the Danish District Heating“

Marktübersicht von Großwärmepumpen für die Nah- und Fernwärme

- Leistungsklasse: wenige **100 kW bis ca. 2.500 kW** mit einer WP-Einheit
- Verdichter: oft Hubkolben oder Schraube
- Max. VL-Temperaturen zwischen **85-95°C**
 - Abhängig von der Quelltemperatur auch niedriger
 - Einbindungskonzept prüfen (direkt oder auftoppen)
- **WP Hersteller:**
 - R1234ze: Carrier, Trane, Swegon, Danfoss, Engie, Ochsner Energietechnik
 - NH₃: GEA, Johnson Controls, Mayekawa
 - CO₂: Engie
 - Propan: Swegon (bisher nur Luft/Wasser-WP)
- Auch andere Kältemittel sind für diesen Leistungsbereich möglich



Quelle: JCI

DualPAC: Wärmepumpen-Einheit mit der im Schaltschrank eingebauten UniSAB Systemsteuerung

- Leistungsklasse: 5 MW bis ca. 15-20 MW mit einer WP-Einheit
 - Anschluss an die Mittelspannung erforderlich
- VL-Temperaturen > 95°C und bis 120°C realisierbar
 - Abhängig von der Quelltemperatur und Kältemittel
 - Einbindungskonzept prüfen (direkt oder auftoppen)
- Eine Handvoll Hersteller:
 - MAN Energy Solutions: CO2 und andere
 - Siemens Energy: R1234ze, R1233yf (Quelle) und andere
 - Friotherm: R1234ze
 - Johnson Controls: R1234ze, NH3
 - Turboden: Kohlenwasserstoffe (Isobutan, N-Pentan), HFO
 - Wenige weitere



Quelle: LinkedIn Johnson Controls 20MW WP

- Die Kältemittelwahl stellt Sicherheitsanforderungen an den Maschinenraum (Sicherheitsklasse)
- **F-Gase-Verordnung**: Begrenzung und Phase-down von klimaschädlichen Kältemitteln
- Sicherheitsgruppen nach DIN EN 378-1 und 3 (2016)
 - Separater Maschinenraum
 - Notbelüftung u. Beleuchtung mit separater Stromversorgung
 - Gaswarnanlage mit unabh. Stromversorgung
 - Explosionsschutz für elektrische Komponenten (nicht für CO₂)
 - Leckage-Überwachungssystem
 - Für Ammoniak außerdem:
 - Sicherheitsventilausblaseleitung
 - PSA (Schutzhandschuhe, Augenschutz, Vollmasken)
 - Waschbecken, Notfalldusche
- Sicherheitskonzept zur **Leckagedetektion**
 - Kältemitteldetektion und Schieber

Klassische Kältemittel Low-GWP Kältemittel

| Kältemittel | GWP | SK | Kältemittel | GWP | SK |
|-------------|------|-----|---------------|-----|-----|
| R410A | 2088 | A1 | R1234ze | 7 | A2L |
| R407C | 1744 | A1 | R1234yf | 4 | A2L |
| R134a | 1430 | A1 | Propan (R290) | 3 | A3 |
| R32 | 677 | A2L | NH3 (R717) | 0 | B2L |
| R454B | 466 | A2L | CO2 (R744) | 1 | A1 |

GWP: Treibhausgaspotential, GWP=1430 entspricht 1430 kg CO₂

| Sicherheitsklasse (SK) | | |
|------------------------|-------------------|--------------------|
| A3 | B3 | Hoch entzündlich |
| A2 | B2 | Entzündlich |
| A2L | B2L | Schwer entzündlich |
| A1 | B1 | Unbrennbar |
| Geringe Toxizität | Erhöhte Toxizität | |

- Das am 7. Februar vorgestellte geplante Verbot der **PFAS-Stoffgruppe** in der EU würde bis auf wenige Ausnahmen (im Bild "not in scope") sämtliche fluorierten Kältemittel betreffen.
- In praktisch allen Kältemitteln kommt zumindest eines der in der Liste aufgeführten Kältemittel als Bestandteile vor und sie fallen somit unter das angedachte Verbot.
- Voraussichtlich 2025 kann mit einer Entscheidung der Europäischen Kommission über diesen Vorschlag gerechnet werden.
- Danach würde der übliche Prozess eines Verordnungsverfahrens in der EU beginnen. Wie diese ausgehen wird, ob das Verbot tatsächlich kommt und ob ggf. die Anwendungen in der Kälte-/Klimatechnik hiervon ausgenommen werden, ist noch offen.
- Den Vorschlag finden Sie hier: <https://lnkd.in/euMTeYPm>
Das Bild ist dem Annex A, S. 259 entnommen.

Table A.96. List of specific fluorinated gas substances identified in different commercial applications.

| Entry | Substance | Code | Structure |
|-------|-------------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | Fluoroform (trifluoromethane) | HFC-23 (not in scope) | CHF3 |
| 2 | Difluoromethane | HFC-32 (not in scope) | CH2F2 |
| 3 | 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-Decafluoropentane | HFC-43-10mee | CF3-CF2-CHF-CHF-CF3 |
| 4 | Pentafluoroethane | HFC-125 | CF3-CHF2 |
| 5 | 1,1,1,2-Tetrafluoroethane | HFC-134a | CF3-CH2F |
| 6 | 1,1,1-Trifluoroethane | HFC-143a | CF3-CH3 |
| 7 | 1,1-Difluoroethane | HFC-152a (not in scope) | CHF2-CH3 |
| 8 | 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane | HFC-227ea | CF3-CHF-CF3 |
| 9 | 1,1,1,3,3,3-Hexafluoropropane | HFC-236fa | CF3-CH2-CF3 |
| 10 | 1,1,1,3,3-Pentafluoropropane | HFC-245fa | CF3-CH2-CHF2 |
| 11 | 1,1,1,3,3-Pentafluorobutane | HFC-365mfc | CF3-CH2-CF2-CH3 |
| 12 | 1-Chloro-1,2,2,2-tetrafluoroethane | HCFC-124 | CHClF-CF3 |
| 13 | 1,1-Dichloro-1-fluoroethane | HCFC-141b (not in scope) | CCl2F-CH3 |
| 14 | 3,3-Dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane | HCFC-225ca/cb | CF3-CF2-CHCl2 |
| 15 | 1,1,-Difluoroethylene | HFO-1132a (not in scope) | CH2=CF2 |
| 16 | 1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene | HFO-1224yd(Z) * | CHCl=CF-CF3 |
| 17 | 1-Chloro-3,3,3-trifluoro-1-propene | HFO-1233zd(E) ** | CHCl=CH-CF3 |
| 18 | 2,3,3,3-Tetrafluoropropene | HFO-1234yf | CH2=CF-CF3 |
| 19 | Trans-1,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene | HFO-1234ze(E) *** | CHF=CH-CF3 |
| 20 | 1,3,3,3-Tetrafluoropropene | HFO-1234ze(E) *** | CHF=CH-CF3 |
| 21 | Trans-1,1,1,4,4,4-hexafluorobut-2-ene | HFO-1336mzz(E) | CF3-CH=CH-CF3 |
| 22 | Cis-1,1,1,4,4,4-Hexafluoro-2-butene | HFO-1336mzz(Z) | CF3-CH=CH-CF3 |
| 23 | (Z)-1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene | HCFO-1224yd * | CHCl=CF-CF3 |
| 24 | Trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene | HCFO-1233zd(E) ** | CHCl=CH-CF3 |
| 25 | 2-Bromo-3,3,3-trifluoroprop-1-ene | BTP, 2-BTP, Halotron BrX | CH2=CBr-CF3 |

Einführung

Marktübersicht

Genehmigungsfähigkeit

Technische Umsetzung

- **Wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich:**
 - Nach § 9 WHG stellt die Entnahme von Wasser aus einem Küstengewässer keine Benutzung dar, jedoch
 - Wiedereinleiten des Wassers ist als Einbringen von Stoffen zu werten
 - Wasserrechtliche Genehmigung nach § 23 LWG, falls Anlage im oder am Gewässer errichtet wird
- **Ggf. Beschränkungen bzgl.:**
 - Entnahme- und Einleitungsmenge
 - Temperaturveränderung
 - Gewässerökologie
- **Weitere Genehmigungen**
 - Strom- und schifffahrtspolizeiliche Genehmigung nach §31 WaStrG
 - Eingriff in eine Küstenschutzanlage
- **Umnutzung vorhandener Entnahmen sowie wasserrechtlicher Erlaubnisse möglich?**
- **Abstimmung vorab empfehlenswert:**
 - Untere Wasserbehörde
 - Untere Naturschutzbehörde sowie darüber
 - LLUR Abt. 3 Fischerei
 - LLUR Abt. 51 Biodiversität und Artenschutz
 - Ggfls. mit dem Hafenamt oder anderen Anrainern
 - Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ostsee
- **Antragsunterlagen:**
 - Erläuterungsbericht über das Vorhaben und vsl. eingesetzte Technik
 - Lagepläne über das Gebiet
 - Baupläne über das Vorhaben
 - Mögliche Auswirkungen der Wassernutzung
 - Hydrologische und genehmigungsrechtliche Voreinschätzungen

- **Prüfung im Rahmen wasserrechtlicher Erlaubnisverfahren**
- **Schutzgebiete**
 - FFH und Vogelschutz
 - Nationalparks
 - Naturschutz
 - Auch indirekte Schädigung relevant (z.B. Fischzug)
- **Artenschutzrecht**
 - Besonders geschützte Arten?
 - Laich- und Wanderungszeit?
 - Biotopschutz
 - Brutzeiten
- **Eingriffsregelung (Ausgleich)**
- **Wirkprozesse und Auswirkungsprognose**
 - Ansaugung
 - Abkühlung
 - Stoffliche Emissionen
 - Temporäre Lärmemission
 - Flächeninanspruchnahme
- **Bodensee-Richtlinie Kap. 5 ([IGKB](#)):**
 - Rückgabetemperatur $\leq 20^{\circ}\text{C}$
 - Reduzierung der Gewässertemperatur $<1\text{K}$ gewässerökologisch unbedenklich (20x20x10m)

- Modellprojekt für die Transformation der Wärmeversorgung in Küstenlage
- Gefördert mit rund 1,18 Mio. Euro
- Ziel: 70% CO₂ Einsparungen
- Deckungsanteil von bis zu 70%
- Projektzeitraum: 2021 – 2024
- Begleitung des Projektes seit der Konzeptphase über Genehmigungsmanagement hin zur Fachplanung

Gefördert durch:

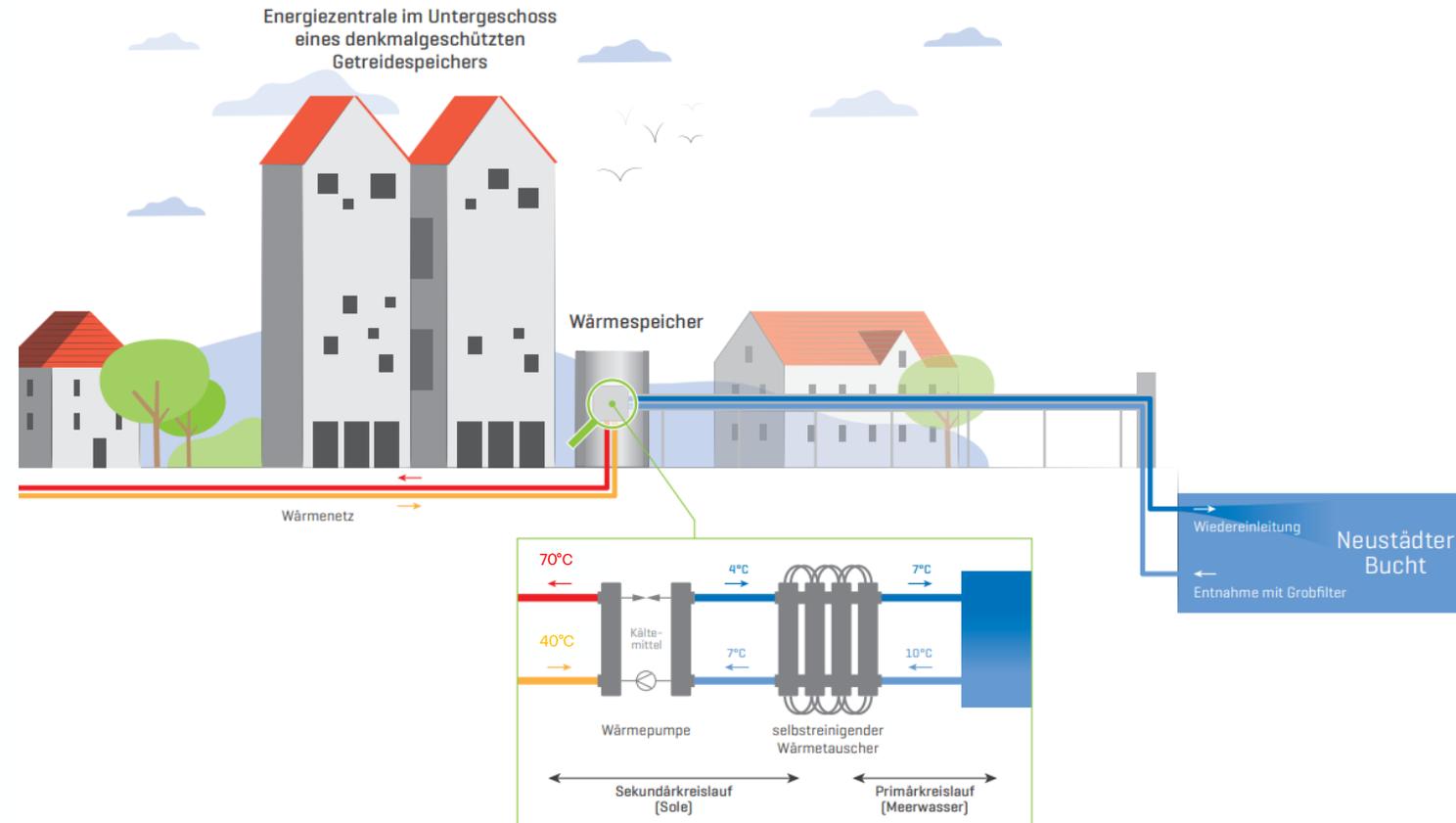


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

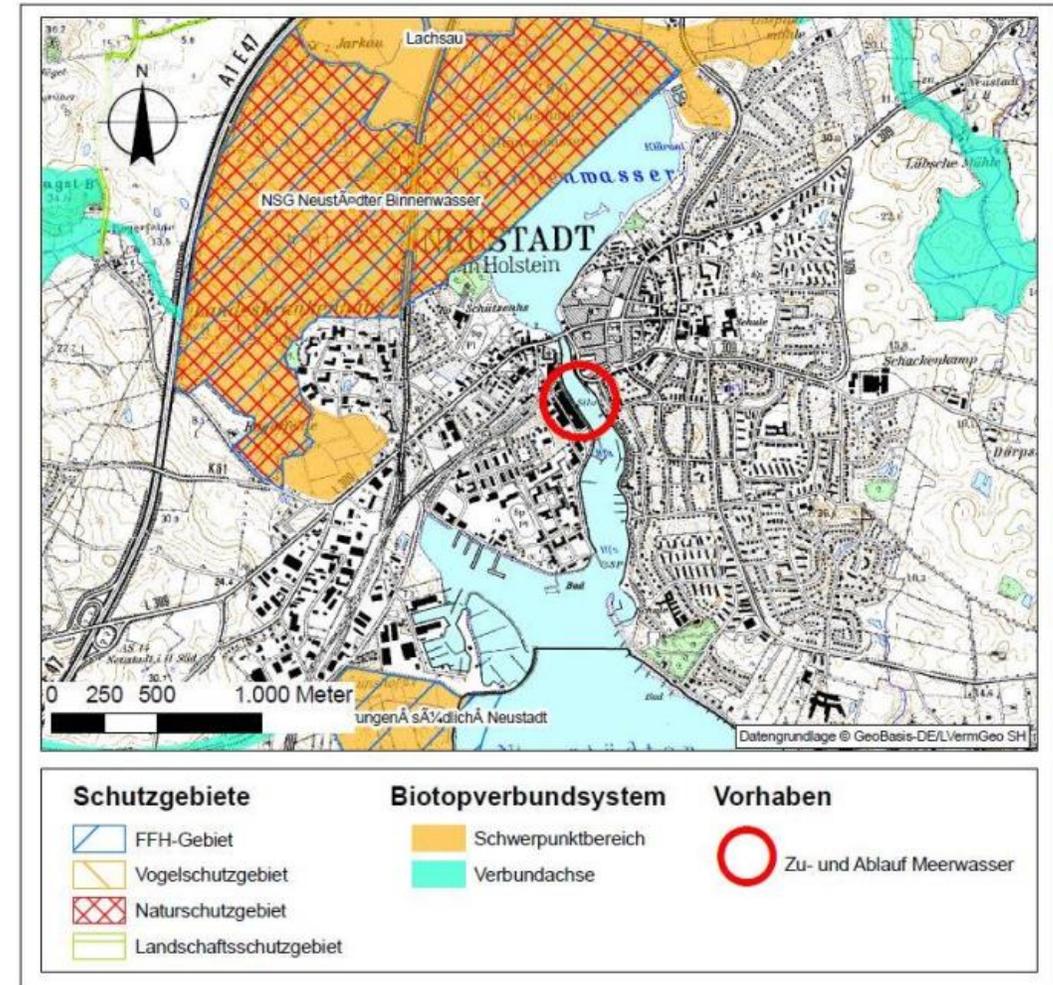


NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Erwirkung der wasserrechtlichen Genehmigung
 - Hydrologische Voruntersuchung
 - Vorprüfung Genehmigungsfähigkeit
- Ansaugung
 - Rechen: ungewollte Gegenstände und größere Objekte
 - Grobfilter (<3mm): Fische und andere Kleinsttiere
 - Feinfilter (0,3 mm): Eier und Larven, Organismen
 - Ansauggeschwindigkeit < 0,5 m/s
- Stoffliche Emissionen
 - **Zwischenkreislauf** vorteilhaft, da mögliche wassergefährdete Stoffe (Kältemittel, Öl) vom Wasserkreislauf getrennt sind
 - Ohne Zwischenkreislauf Vorsichtsmaßnahmen erforderlich
 - **Mechanische Reinigungsmechanismen** mit geringem Stoffeintrag empfehlenswert



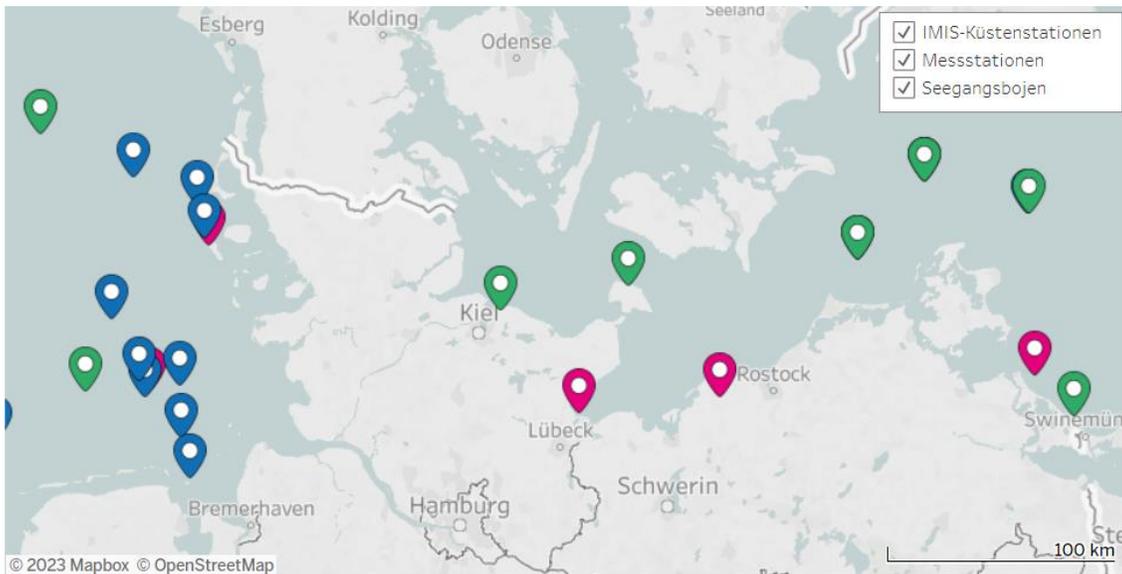
Einführung

Marktübersicht

Genehmigungsfähigkeit

Technische Umsetzung

- Meerwassertemperaturen online abrufbar
- GeoSeaPortal bzw. BSH Messnetz MARNET
 - Messdaten vers. Station vorhanden
 - Bsp.: kein WP-Einsatz, wenn $<4^{\circ}\text{C}$
 - in 1.200 Std (50 Tagen)



Für mehr Informationen zu den Stationen klicke auf den Infobutton.



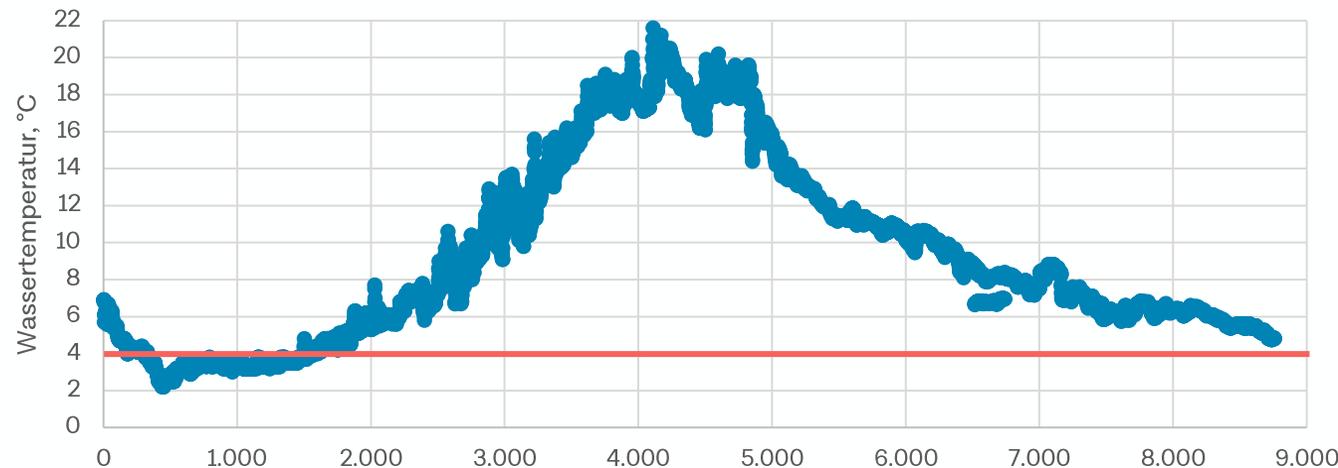
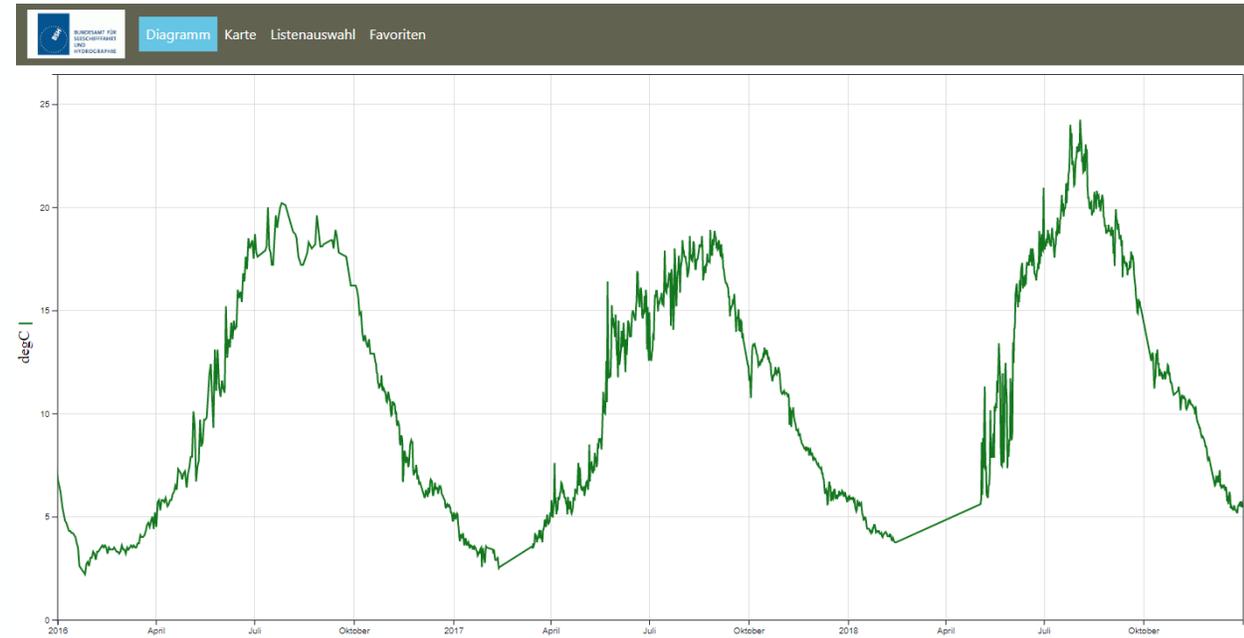
Messnetz



Seegang



IMIS-Küstenstationen



- Messungen in vers. Tiefe
 - 2,5m, 3,5m u. 4,5m
 - Hafenbecken
- Tiefere Entnahme
 - Längere Einsatzzeit
 - Höheren COP
 - Höhere Investitionen
- Kleine Spreizung
 - Größere Volumenströme
 - Geringere Abkühlung
 - Längere Einsatzzeit
 - Höherer COP
 - Höhere Investitionen
 - Größerer Flächenbedarf



Jaske & Wolf

- Selbstreinigendes DUPUR System
- Verwendung hochwertiger Materialien in Offshore-Qualität & Lebensmittelindustrie
- Reinigungsmolche mit geringem Abrieb und Material aus der Lebensmittelindustrie
- Hoher Platzbedarf

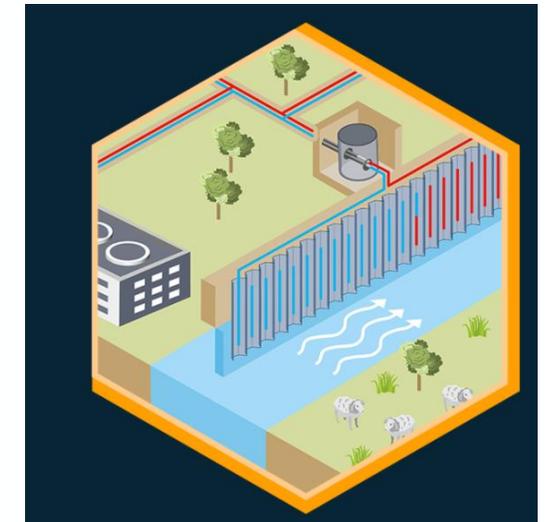
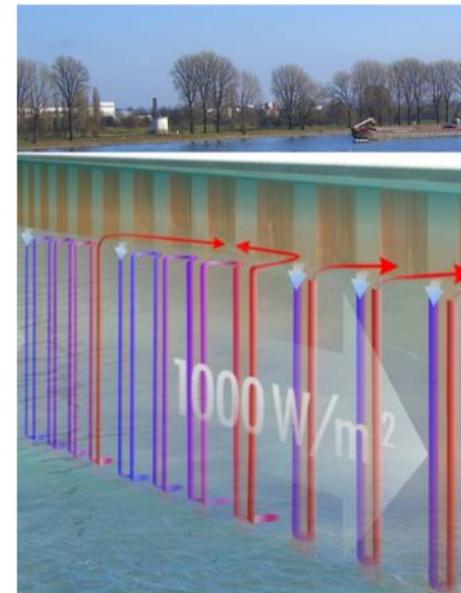


Quelle: Jaske & Wolf



Aktivierung der Spundwand

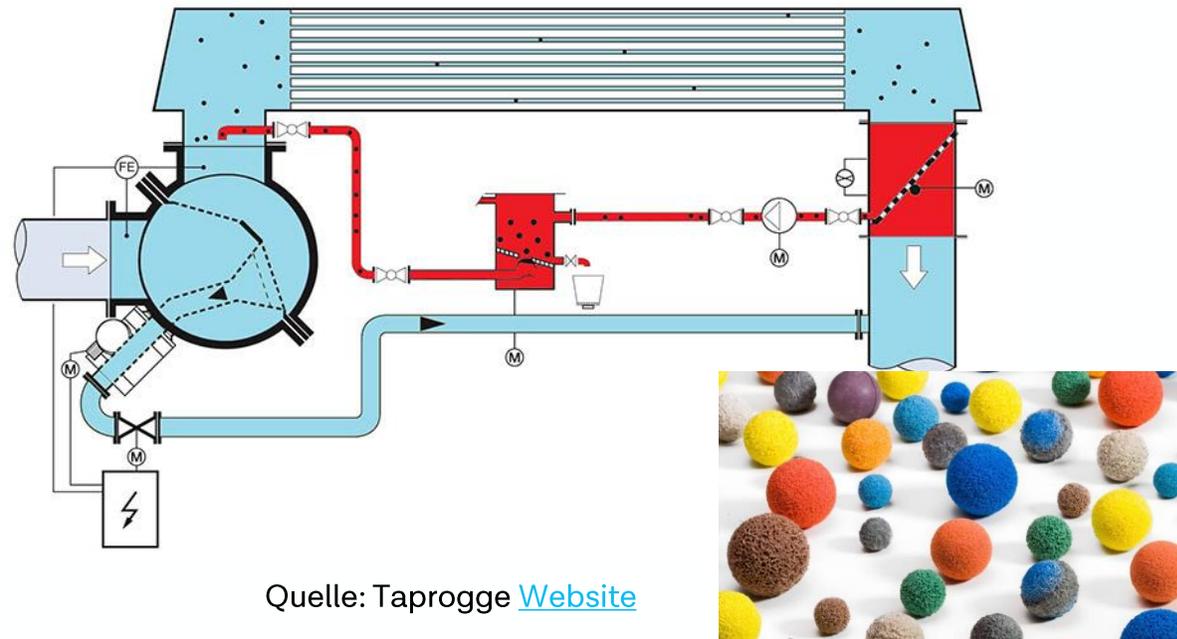
- Alternativ zur direkten Wasserentnahme können Absorberrohre in Uferbauwerke integriert werden
- Besonders bei notwendiger Sanierung (oder Neuerrichtung) wirtschaftlich interessant



Quelle: [Energie Spundwand](#)

Taprogge

- Reinigungskugeln
- In WP Verdampfer integrierbar
- Anwendung auch/gerade bei sehr großen Leistungen möglich



• Falling film Verdampfer

- Wasser fließt von außen über den Wärmetauscher
- Leichter Zugriff für Reinigung
- Schutz bei Eisbildung
- Wasser erhält Sauerstoffzufuhr
- Bei Quelltemperaturen $< 5^{\circ}\text{C}$ empfohlen



Quelle: Siemens Energy

- Biologie: Muschellarven durchdringen die Filtersysteme und setzen sich an den Rohrwänden fest und wachsen
- Lösungsansätze:
 - 4 Leiter statt 2 Leiter System (Kappung der Sauerstoffzufuhr bei Wechselbetrieb)
 - Cleaning Pig
 - UV-Desinfektion
 - Manuelle Reinigung



Quelle: [Rosen](#)



Quelle: [xylem](#)



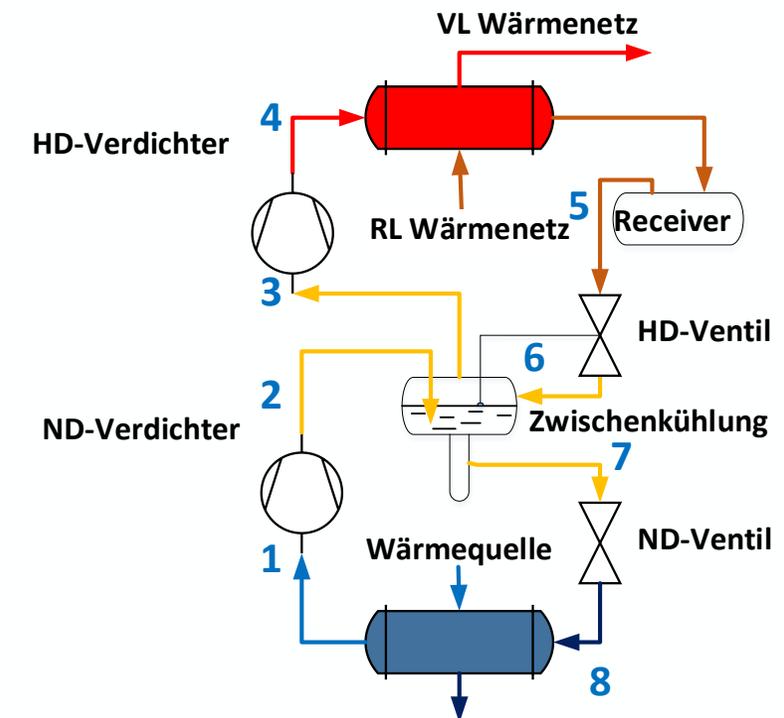
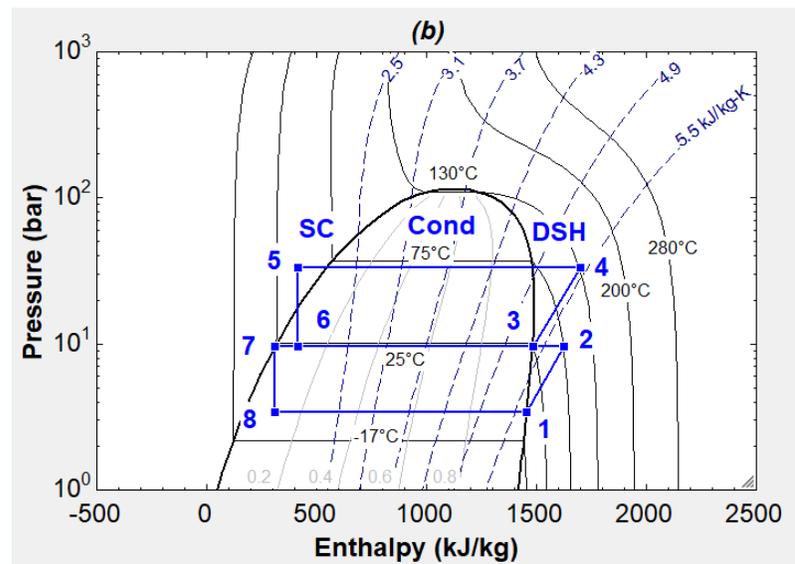
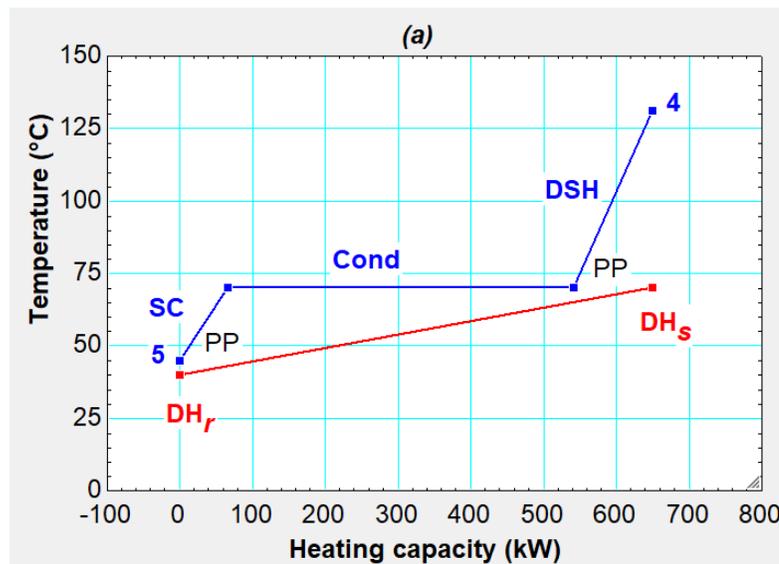
Quelle: [Bollfilter](#)



Quelle: Added Values

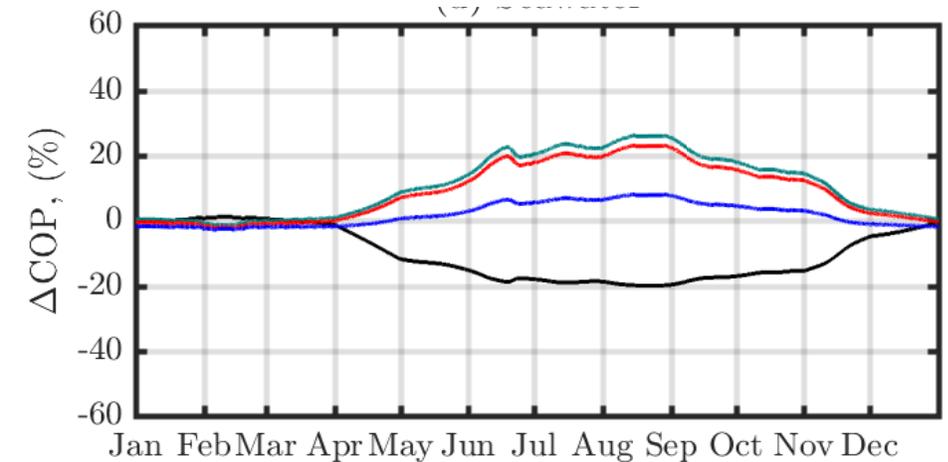
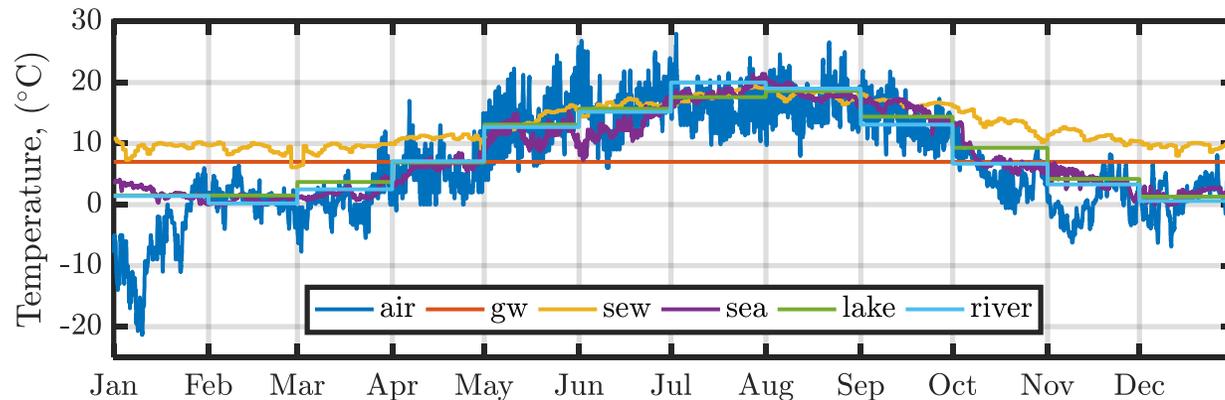
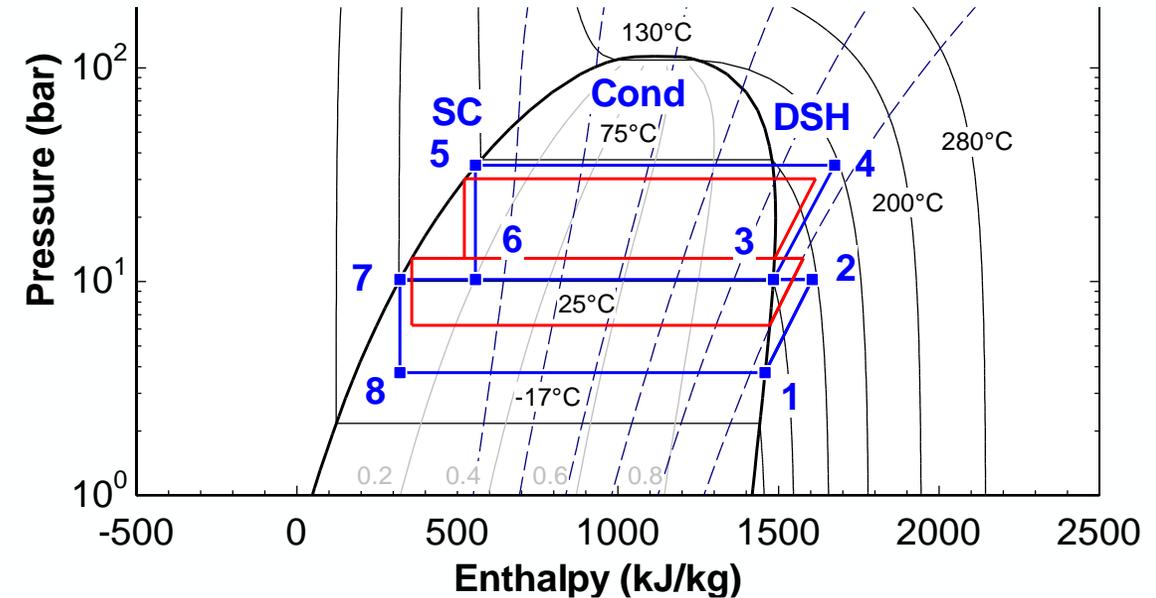
Großwärmepumpen: Leistungen und Know-how vom Hamburg Institut

- Mehrjährige Erfahrung und umfangreiches Wissen
- Austausch mit Herstellern
- Auslegung und Modellierung von Wärmepumpen
- Erstellung von COP-Funktionen für Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Systemsimulation der Wärmepumpe im Energiesystem

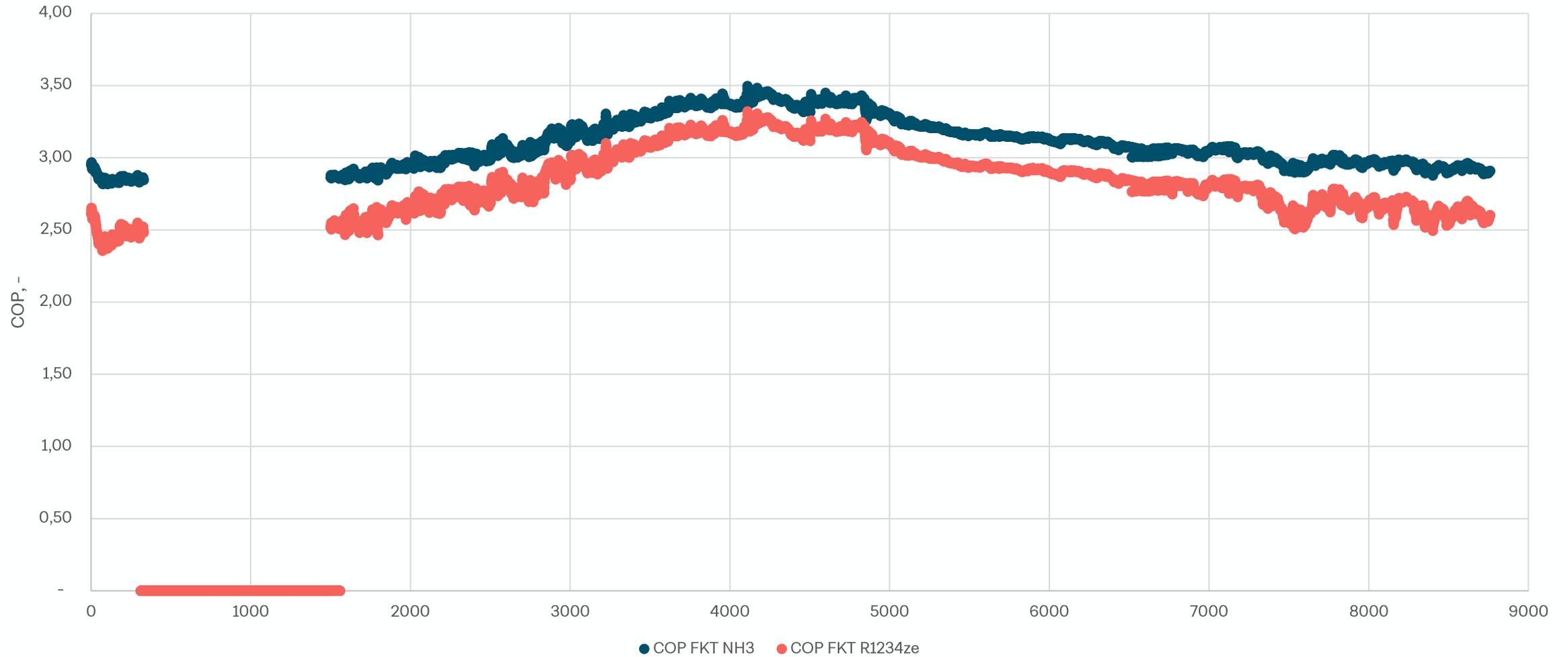


Teillastverhalten – Warum und wann wichtig?

- Auslegung gewöhnlich für:
 - Höchsten Wärmebedarf
 - Kälteste Quelltemperatur
 - Höchste VL-Temperaturen
 - Niedrige RL-Temperaturen
- Deutlich unterschiedliche Betriebsbedingungen im Jahr möglich
 - Auswirkungen auf Auslegung der WP
 - Auswirkungen auf COP
 - Übliche Annäherungen nicht ausreichend



COP Funktion im Jahresverlauf



Über das Hamburg Institut

- Wir bieten **Beratung, Strategieentwicklung und interdisziplinäre Forschungsarbeit** mit Schwerpunkt im Energie- und Umweltsektor.
- Seit 2012 unterstützen wir **Ministerien, Kommunen, Unternehmen der Energiewirtschaft, Verbände** sowie andere Akteure im In- und Ausland bei der erfolgreichen Umsetzung der Energiewende.
- In unserem rund **30-köpfigen Team** bündeln wir langjähriges Know-how aus Politik, Wirtschaft, Technologie, Wissenschaft, Verwaltung und Recht.



Unsere Themen

Klimastrategien für
Unternehmen

Klimaaktionspläne
für Kommunen

Erneuerbare Wärme:

grüne Fernwärme
Wärmeconzepte
Wärmenetze
Wärmespeicher
Großwärmepumpen
Kommunale
Wärmeplanung
Transformationspläne

Herkunftsnachweise
in allen Sektoren

Klimapolitik und
Gesetzgebung

Sektorenkopplung

Nachhaltige
Energieversorgung

Ökostrommarkt

Simulation &
Modellierung /
Szenarienrechnung

Wir sind gern für Sie da.



Dr. Henrik Pieper

Senior Berater

Tel. +49 (0)40 3916 989-42

pieper@hamburg-institut.com

[Zum Profil](#)