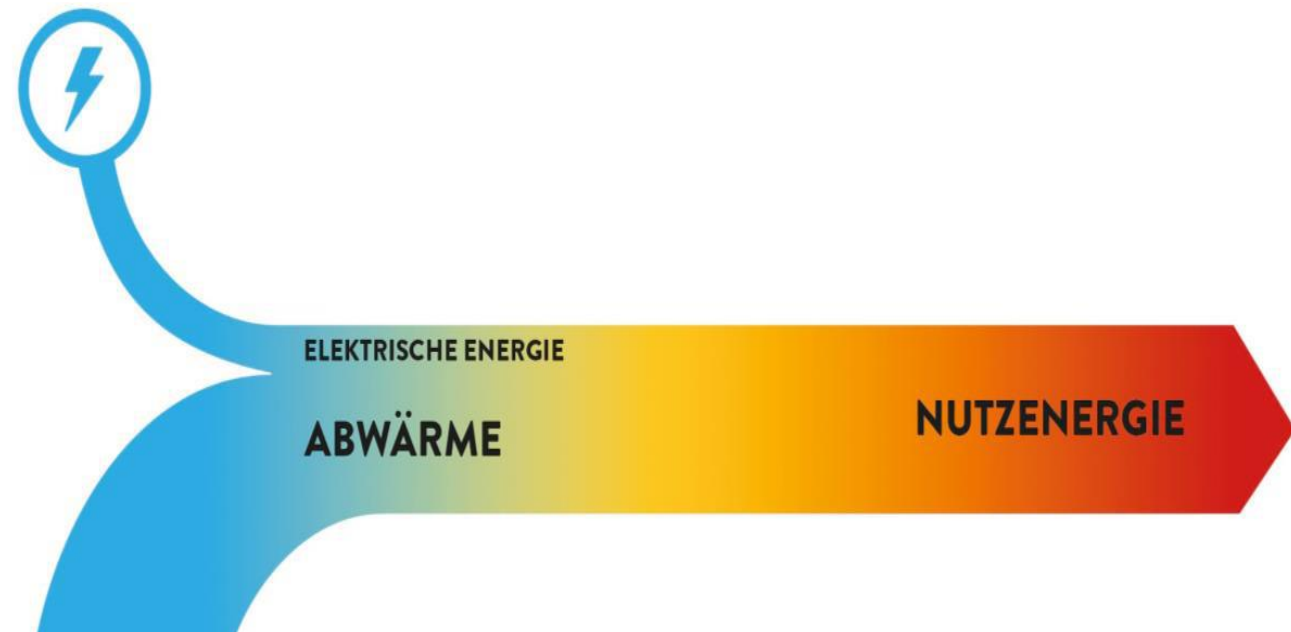


Ökonomische Nutzung von Abwasser und Räumen als CO₂-Senke für Hochtemperatur Wärmepumpen

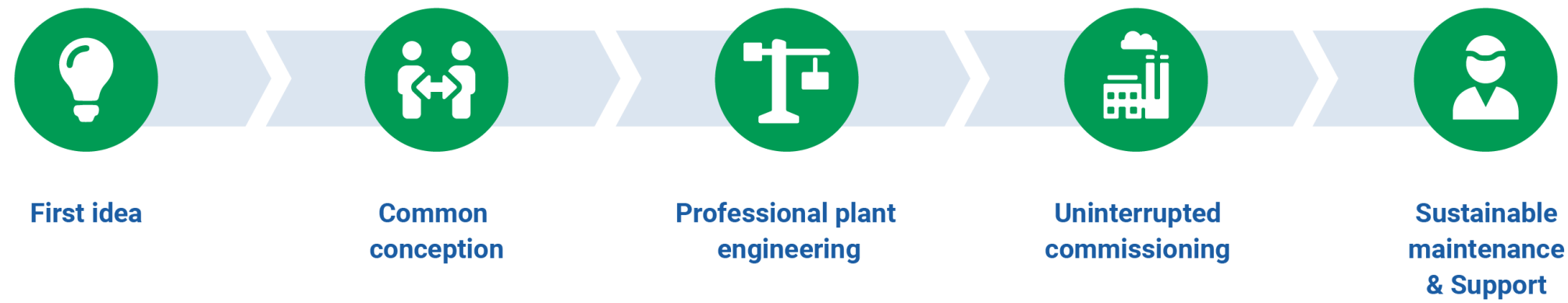
Eberhard Knödler
BM Green Cooling GmbH



33. Internationales Münchner Papier Symposium 26.März 2025



Als Lösungsanbieter begleiten wir Sie von der ersten Idee bis hin zum Service



An abstract of our customers in...

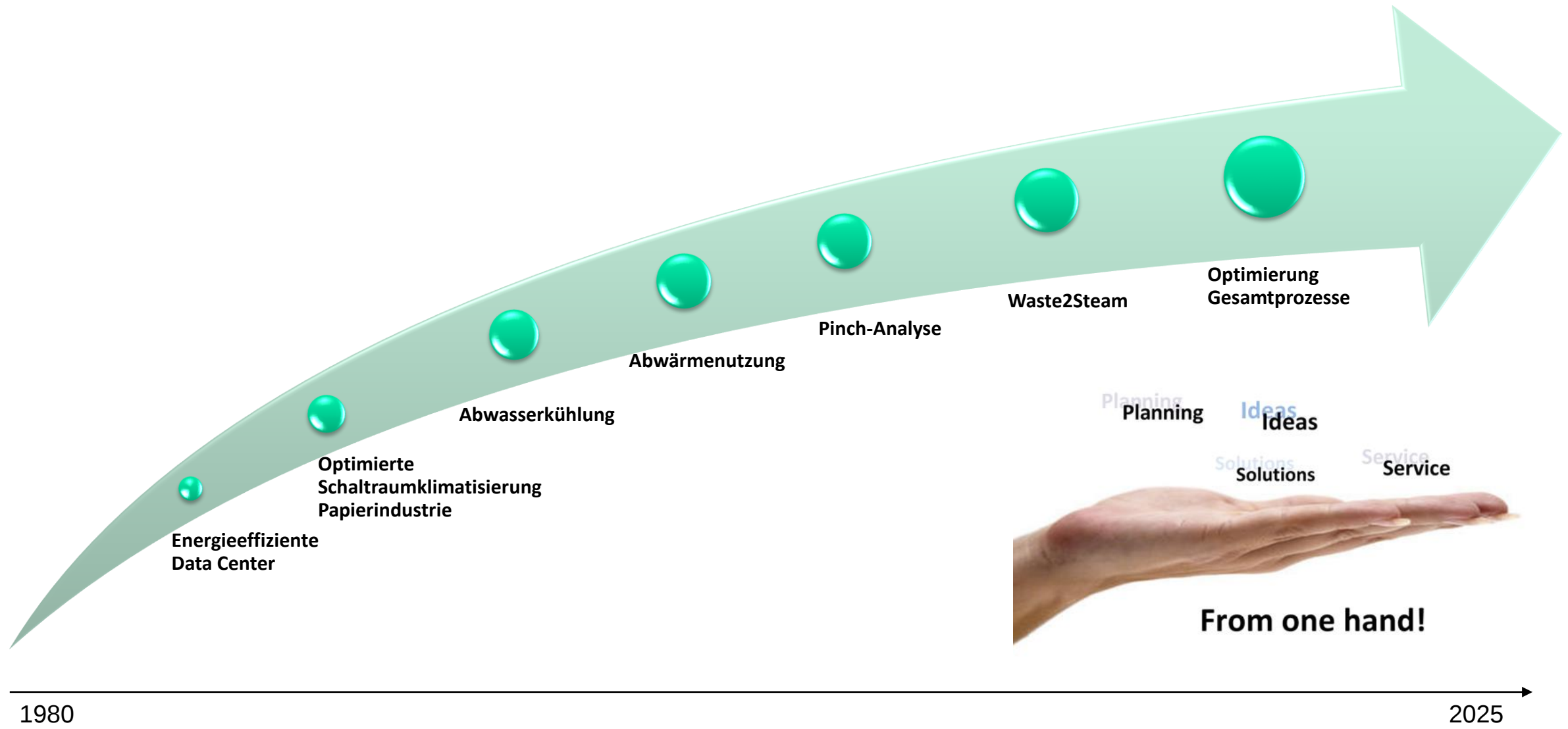
... IT-Cooling



... Paper-Cooling

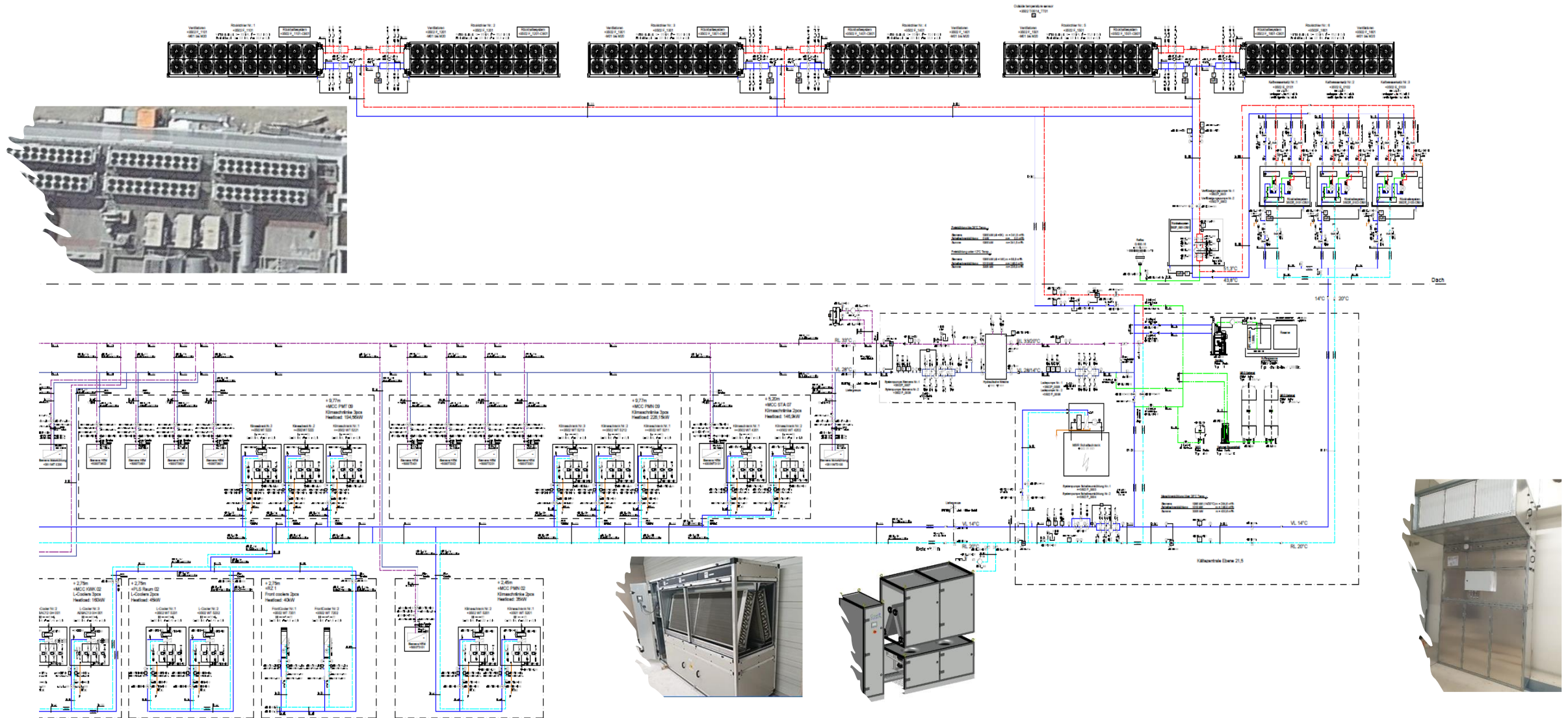


Entwicklung BM Green Cooling in der Papierindustrie



- **Energieeffizienzgesetz 2023 (EnEfG)**
 - Abwärmenutzung
 - Energieeffizienz Kennzahlen
 - Strombezug aus erneuerbaren Energien
 - Meldepflichten der Unternehmen
- **Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Beschaffung klimafreundlicher Leistungen AVV Klima 2022**
 - Negativ Liste Kältemittel und Vorgabe zur Verwendung natürlicher Kältemittel für öffentliche Bauvorhaben
- **F-Gase Verordnung Novellierung 2023**
 - Vorgaben zum Ersatz von synthetischen Kältemittel mit Phase out
- **PFAS**
 - Mit mehr als 4.700 chemischen Stoffen sind per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) eine Gruppe von künstlich hergestellten und in großem Maßstab eingesetzten Chemikalien, die sich im Laufe der Zeit im menschlichen Gewebe und in der Umwelt anreichern.

Energieeffizienz Schaltraumklimatisierung Palm PM5



25–27/03/ 2025
IMPS

6 von 24

Auswertung der Wetterdaten Standort Aalen von 2019-2023 möglicher Freikühlanteil p.a.

T in °C	<9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
h/a	3.754	366	371	354	356	356	361	324	328	305	267	237	230
kum h/a	3.754	4.120	4.490	4.844	5.200	5.556	5.917	6.242	6.570	6.875	7.142	7.379	7.609
%kum a	43%	47%	51%	56%	60%	64%	68%	72%	75%	79%	82%	85%	87%

Möglicher FK Anteil bei Medientemp 14/20 °C

Möglicher FK Anteil bei Medientemp 17/23 °C

Möglicher FK Anteil mix Luft- und Flüssigkeitskühlung

Medium 17/23 °C:

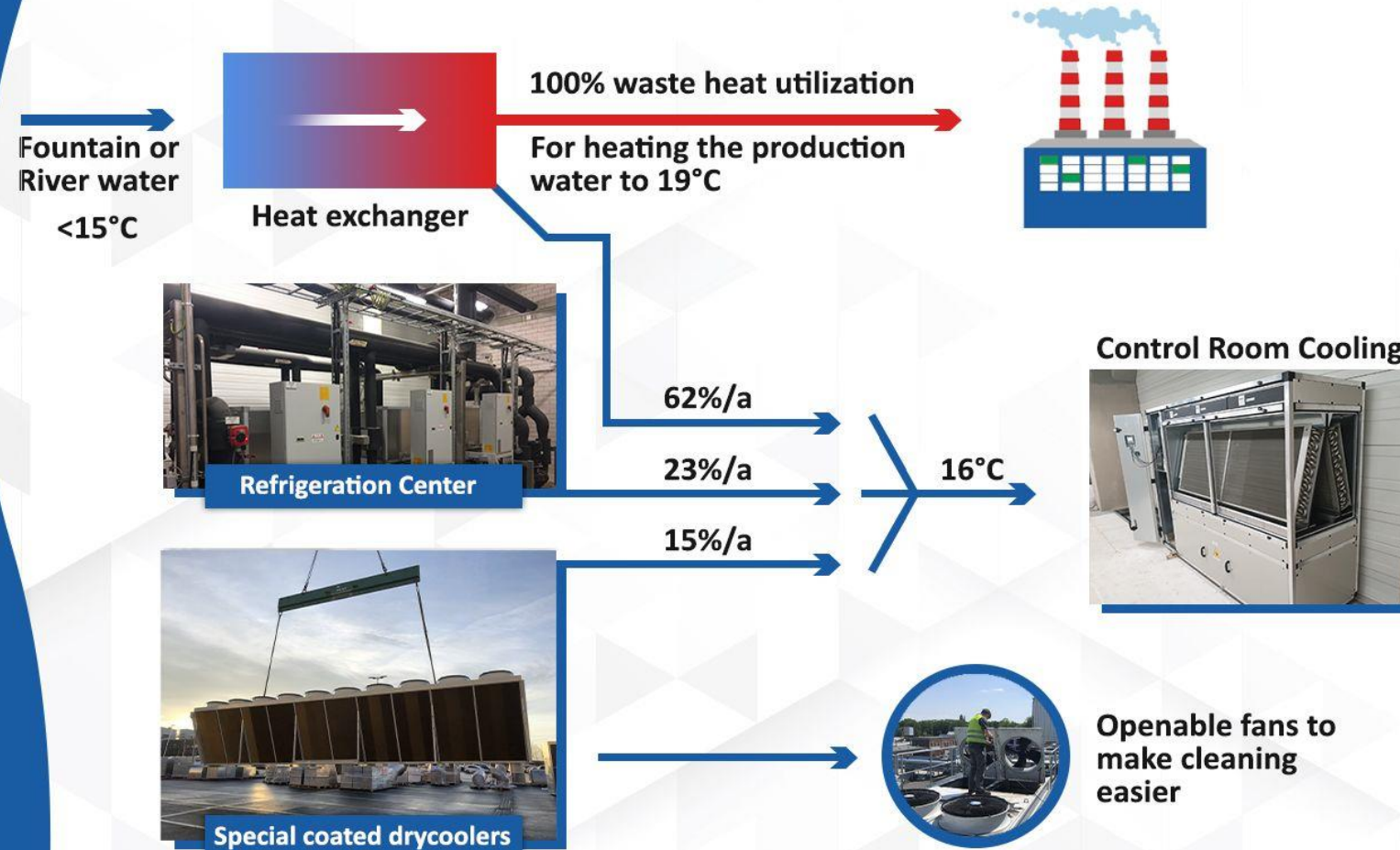
Eingesparte Stunden Kompressor:	6.242	
El. Leistung Kompressoren:	500	[kW]
Durchschnittliche Auslastung:	90	[%]
Eingesparte Energie p.a.:	2.808.810	[kWh]
Stromkosten pro kWh:	0,10	[€/kWh]
Eingesparte Stromkosten p.a.:	280.881	[€]
Strommix:	428	[g/kWh]
Eingespartes CO2 Äquivalent p.a.:	1.202.171	[kg]

Mix Luft- und Flüssigkeitskühlung

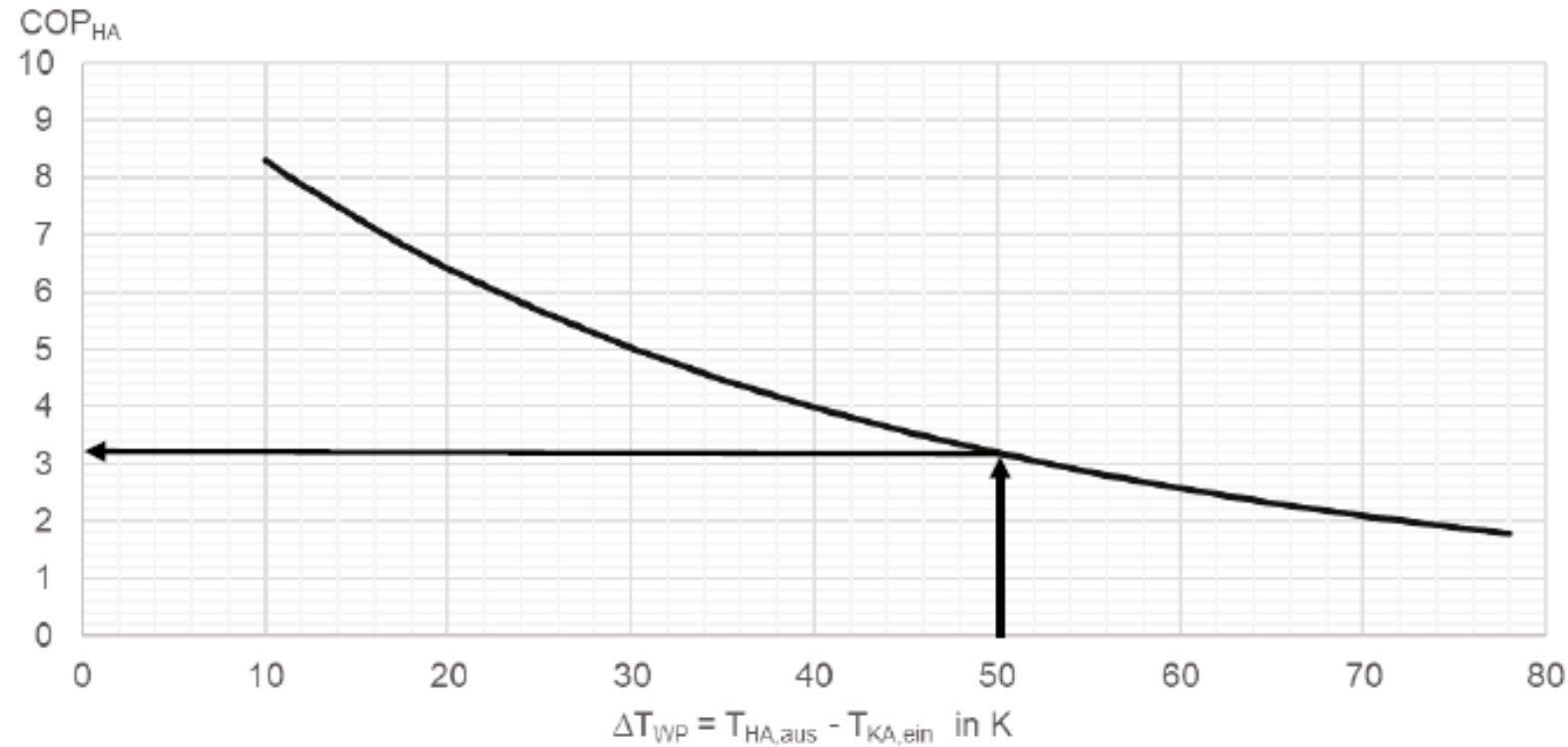
Eingesparte Stunden Kompressor:	7.379	
El. Leistung Kompressoren:	500	[kW]
Durchschnittliche Auslastung:	90	[%]
Eingesparte Energie p.a.:	3.320.550	[kWh]
Stromkosten pro kWh:	0,10	[€/kWh]
Eingesparte Stromkosten p.a.:	332.055	[€]
Strommix:	428	[g/kWh]
Eingespartes CO2 Äquivalent p.a.:	1.421.195	[kg]

- 1. Erheblicher Freikühlanteil ohne Maschinenbetrieb**
- 2. Innerhalb der Schalträume Sonderlösungen mit Deckeninstallation**
- 3. Keine Kältezentrale benötigt-> Ausschließliche Dachinstallation der Kälteerzeugung**
- 4. Siemens S7 als Regelfabrikat des MSR-Schranks und Kaltwassererzeugung**
- 5. Spezialklimaschränke ohne eigene Regelung > Valmet DNA**
- 6. Korrosionbeständiges Equipment**
- 7. Redundante Installation in den Schalträumen und der Kaltwassererzeugung**
- 8. Speziell entwickelte Lösungen für niedrigen Schallpegel**
- 9. Dokumentation in Tiaportal und Eplan**

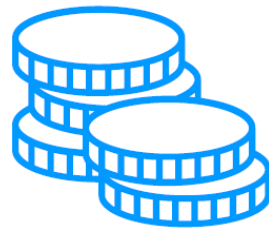
✓ Well- and riverwater used in cooling projects



Verhältnis von COP und Temperaturhub bei Wärmepumpen

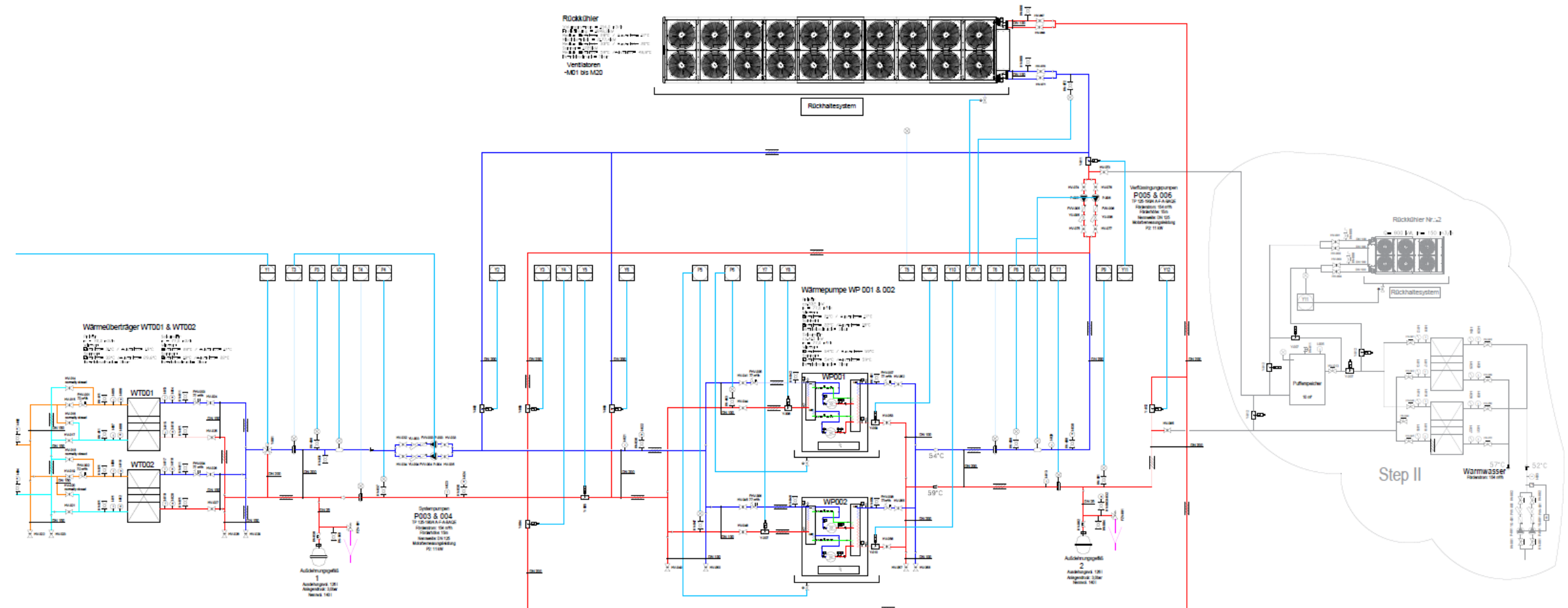


Entwurf VDI 4646 2025

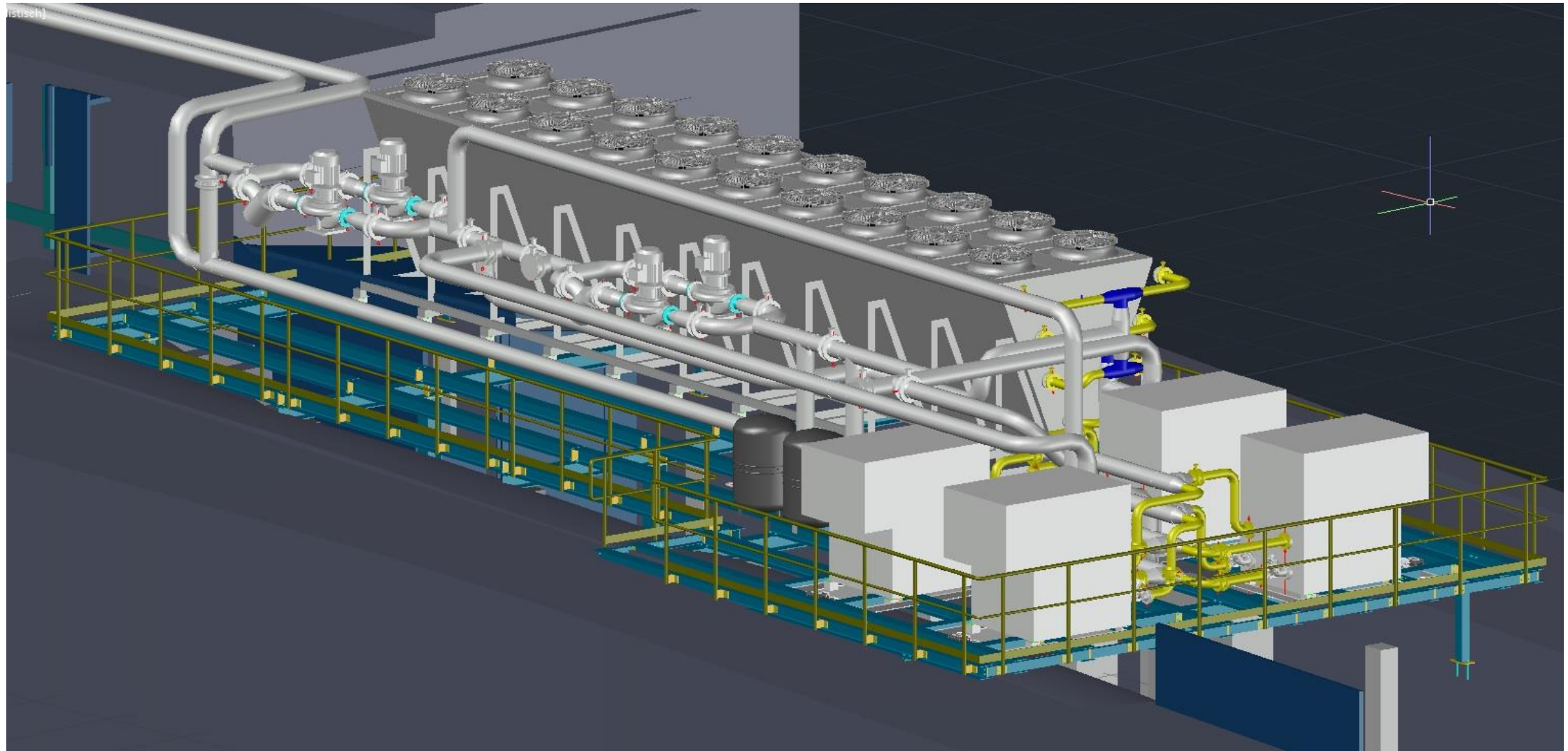


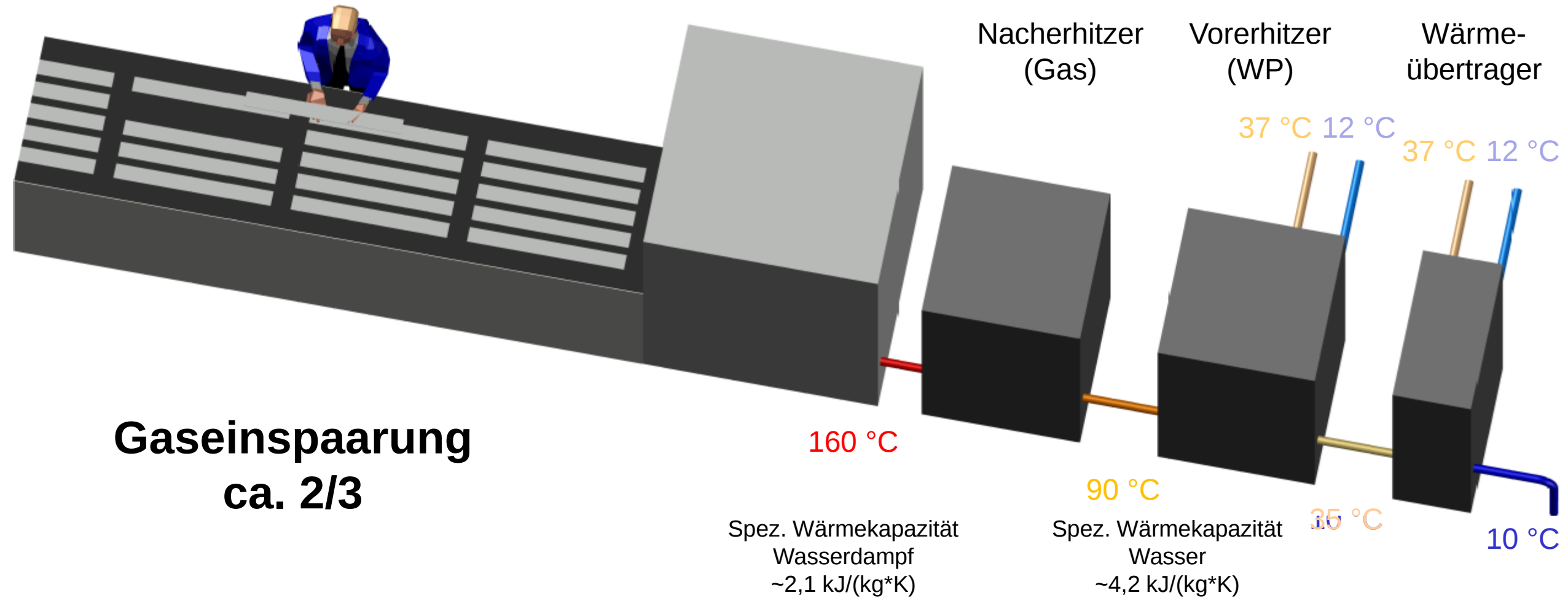
$$\frac{\text{Strompreis}}{\text{Gaspreis}} < \text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{Heiz}}}{P_{\text{el}}}$$

Fallbeispiel Wärmerückgewinnung und Abwasserkühlung mit Wärmepumpen



Fallbeispiel Abwasserkühlung mit Abwärmenutzung und Dampferzeugung



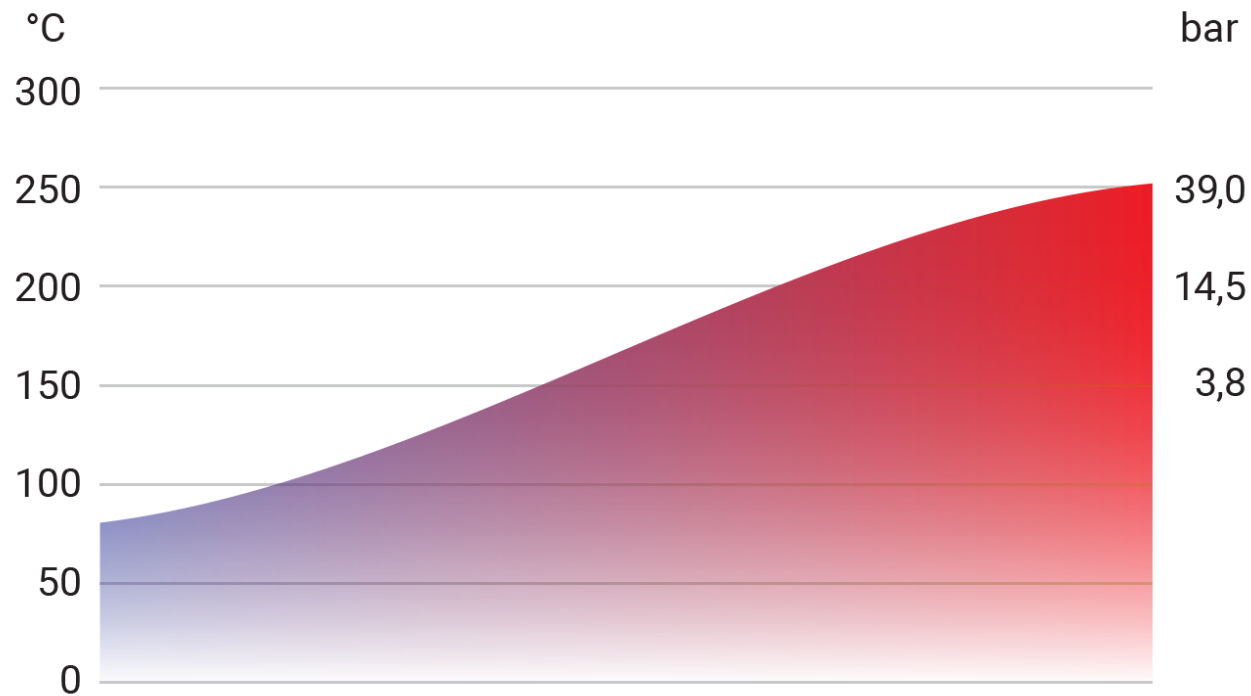


Waste2Heat & Waste2Steam with HTHP & BM Green Cooling

Wärmepumpentechnologien Einsatzbereiche

Temp. Level	Ziel Temperatur Senke[C°]	Hydraulik System	Quelle Temperatur VL Bsp.[C°]	Quellen Temperatur RL Bsp. [°C]	Leistung /Stück [kW]	Kältemittel	Brand-klasse	Entwicklungs Phase	Verfügbar	Platz-bedarf	Capex	Opex	Gefährdung
HTHP Low Level	110	geschlossen	20-80	25-85	100-500	R600a Isobutan	A3	Produktion	Ja	klein	klein	klein	Brennbar
HTHP Low Level	120	geschlossen	20-80	25-85	250-600	R1233zd	A2L	Produktion	Ja	klein	klein	klein	PFAS
HTHP Low Medium Level	135	geschlossen	20-80	25-85	100-500	R601	A3	Produktion	2025	klein	klein	klein	Brennbar
HTHP Medium Level	135-150	geschlossen	>=70	>=65	200-500	R717 NH3 Ammoniak	B2L	Pilot	ja	mittel	mittel	mittel	Giftig + entflammbar
HTHP Medium Level	155	geschlossen	>=80	>=75	> 1MW	R601 Pentan	A3	Produktion	2025	mittel	mittelhoch	mittelhoch	Brennbar
HTHP Hig Level	220	geschlossen	>=85	>=80	> 1MW	Verschiedene	A3	Pilot	2025	mittel	hoch	hoch	Brennbar
HTHP Level MVR	300	offen	>=90	>=85	> 2MW	R718 Wasser	A1	Produktion + Pilot	Ja	groß	hoch	klein-mittel	keine

Lösungen für jedes Temperaturniveau



R290, R600
80 - 130 °C
100 - 400 kW



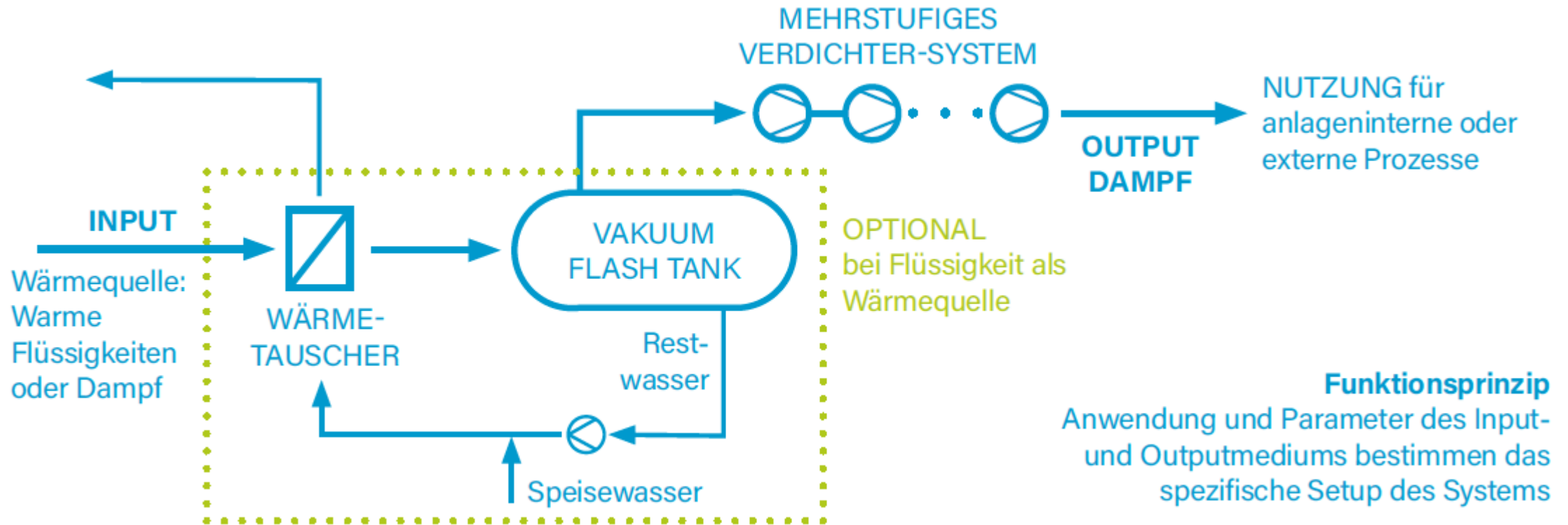
NH3, R601
135 - 155 °C
200 - 1.000 kW



MVR- Technologie
>140 °C
> 1.000 kW



Dampfverdichtungstechnologie MVR (Mechanical Vapor Recompression)



Delivering steam, recovering waste heat

Case Highlights	Values
COP	3.9
Power output	1.38 MW
Steam output	2.2 tons/h
Operating hours	8,000 h/year
CO ₂ savings	2,624 tons/year
Working fluid	Butane

Waste heat source



Hot water at 77 °C

Hot water at 84 °C



Process heat sink



Steam at 128 °C

Condensate at 110 °C

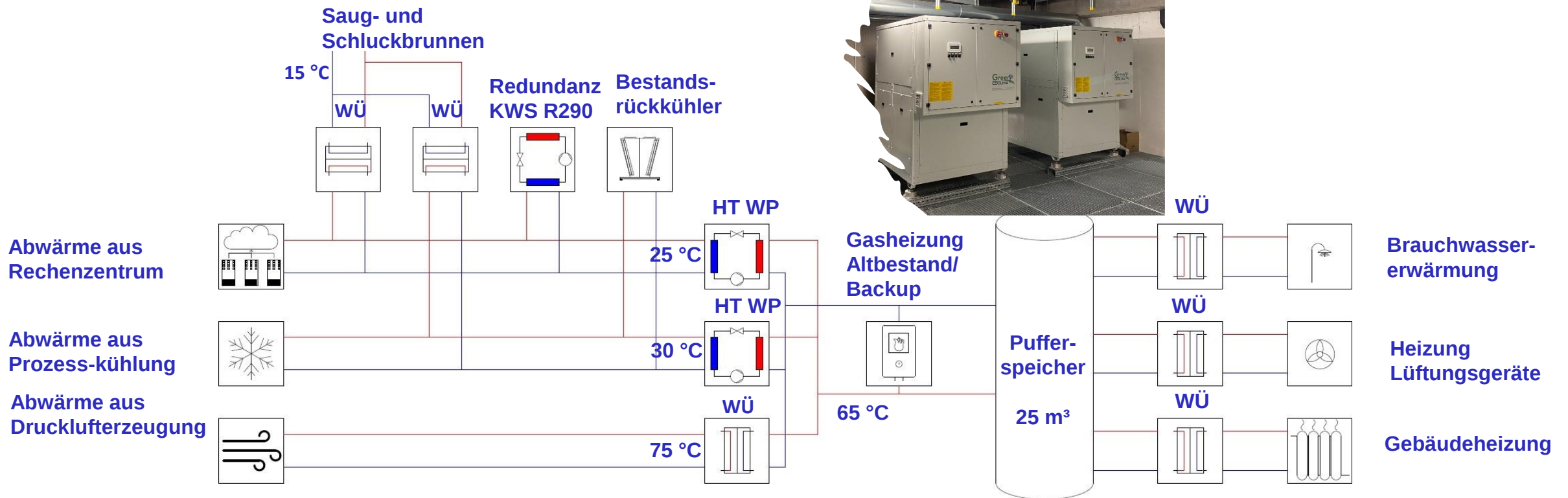


Delivering steam for distillation and process

Die existierende Gasheizung von 1,5 MW Heizleistung wird durch Hochtemperaturwärmepumpen ersetzt, welche die vorhandene Heizinfrastruktur mit 65 °C ohne große Umbauten weiter nutzt.

Als Quelle wird der warme Wasserrücklauf aus dem Rechenzentrum, die Abwärme aus der Produktion, die Abwärme der Druckluftherzeugung und ein bereits existierendes Schluck- und Saugbrunnensystem zur besonders energieeffizienten Heizung und Kühlung verwendet.

Fossile Energien oder elektrische Verdichter für die Kühlung werden zukünftig nicht mehr benötigt.



Kühlen und Heizen gleichzeitig mit WP ROI Berechnung

Cool & Heat

Amortisationszeiten überschlägig

Heizen und Kühlen gleichzeitig

Heating

Gasheizung	
Heating need	8.760.000 kWh/a
Gas / Pellets	0,09 €/kWh
Yearly costs	788.400 €
Wärmepumpe Heizung	
Heating need	8.760.000 kWh/a
Heatpump COP	3,9
El. Need	2.246.154 kWh/a
El. Costs	0,11 €/kWh
Yearly costs	247.077 €
Savings potential	541.323 €

Grob ROI Berechnung:

Invest [€] grob geschätzt	1.700.000
Total savings potential €/a	709.854
ROI [a]	2,39
ROI [%]	0,42

Cooling

Kühlung	
Cooling need	6.513.846 kWh/a
Chiller EER	4
El. Need	1.628.462 kWh/a
El. Costs	0,11 €/kWh
Yearly costs	179.131 €
Kalte Seite Wärmepumpe	
Cooling need	6.513.846 kWh/a
Pumps el. Need (WP)	11 kW
El. Need	96.360 kWh/a
El. Costs	0,11 €/kWh
Yearly costs	10.600 €
Savings potential	168.531 €

Heiz- und Kühllast:

Jahrestemperaturstunden [h]	Durchschnittliche Heizlast [kW]	Heizenergie p.a. [kWh]
--------------------------------	------------------------------------	---------------------------

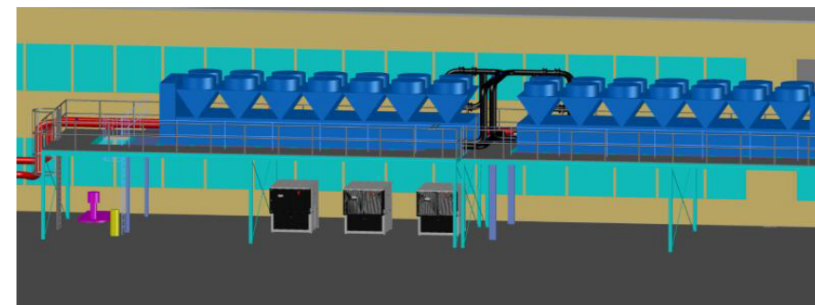
8.760	1.000	8.760.000	Heizung
-------	-------	-----------	---------

8.760	744	6.513.846	Kühlung
-------	-----	-----------	---------

Achtung, dies sind geschätzte Werte, welche noch verifiziert werden müssen

Projektparameter:

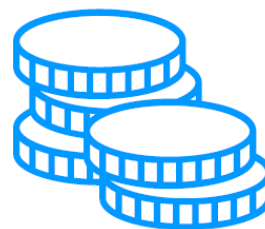
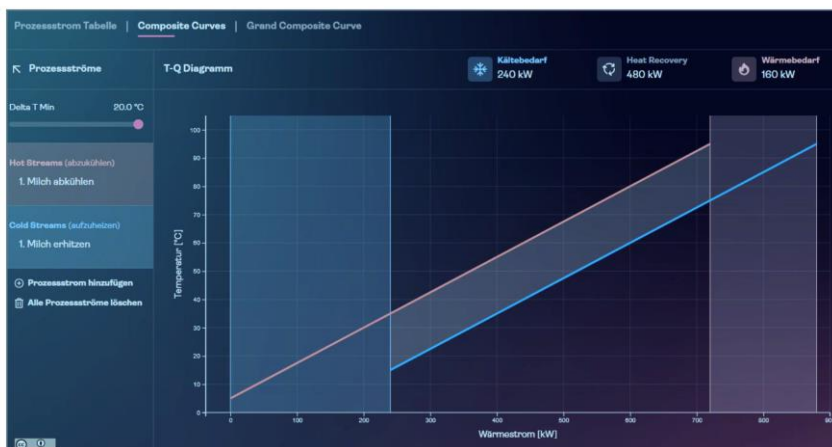
Stromkosten kalkulatorisch [€/kWh]:	0,11
Heizkosten kalkulatorisch [€/kWh]:	0,09
COP WP	3,9
EER Bestandskaltwassersätze durchschnittlich	4



Pinsch Analyse zur Strukturierung von Energieprojekteten

Die Analyse gliedert sich in folgende Schritte:

- ✓ Erfassung und Analyse aller Prozessströme
- ✓ Erstellung Verbundkurven und Bestimmung des Pinch-Points
- ✓ Prozessintegration mittels Wärmeübertrager, Speicher und Wärmepumpen
- ✓ Überprüfung auf technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit



1. Voranalyse

$$\frac{\text{Strompreis}}{\text{Gaspreis}} < \text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{Heiz}}}{P_{\text{el}}}$$

Auswertetools <https://pinch-analyse.ch>

1. Konzeptionsgespräch vor Ort

2. Pirsch Analyse

3. Prozesse mit dem Kunden zusammen analysieren

4. Gemeinsame Prozessoptimierung

4a. Abwärmenutzung über Wärmeüberträger (WT) nutzen

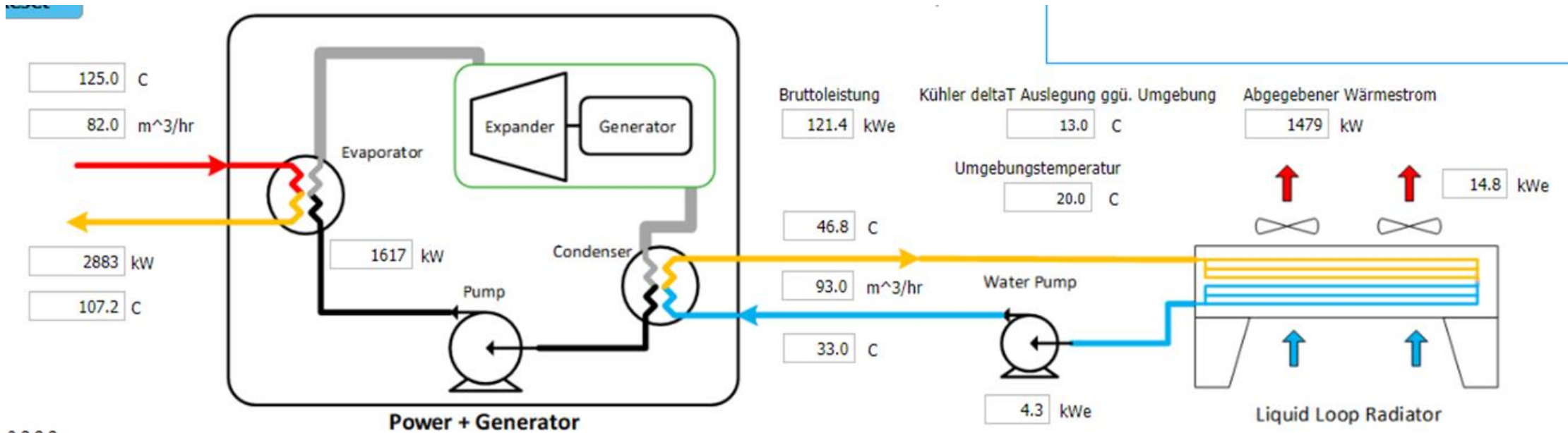
4b. Kälteerzeugung auf Freikühlung und WP bis 130 °C umstellen

4c. Dampf mit Dampfverdichtung oder weiterhin mit Verbrennung bis 250/ 350 °C erzeugen

Quantity of Chillers		Nombre d'unités		1	
Cooling Demand		kW	Demande de froid	800,0	
Power	Supply	V-Hz-P	Voltage, F�quence, phase	380V, 50Hz, 3P	
	Demand	kW	Puissance �lectrique n�cessaire	10,7	
Operation Weight		Ton	Poids en op�ration	18,0	
Cooling Water / Condensing Water					Notes
Heat Rejection		kW	Rejet de chaleur	-	2 178,0
Temperature	Outlet	�C	Temp. sortie	33,0	33,0
	Inlet	�C	Temp. entr�e	26,0	26,0
Flowrate		m3/h	D�bit	-	268,8
Max Static Pressure		MPaG	Max Pression statique	-	0,80
Chilled Water					Notes
Cooling Capacity		kW	Capacit� froid		800,0
Temperature	Outlet	�C	Temp. sortie	14,0	14,0
	Inlet	�C	Temp. entr�e	19,0	19,0
Flowrate		m3/h	D�bit		137,7
Max Static Pressure		MPaG	Max Pression statique	-	0,80
Hot Source Water					Notes
Heat of Source		kW	Chaleur de la source		1 378,0
Temperature	Outlet	�C	Temp. sortie	52,0	52,0
	Inlet	�C	Temp. entr�e	70,0	70,0
Flowrate		m3/h	D�bit	-	67,0
Max Static Pressure		MPaG	Max Pression statique	-	0,80
Cooling	Rated COP	COP	COP nominal		0,58

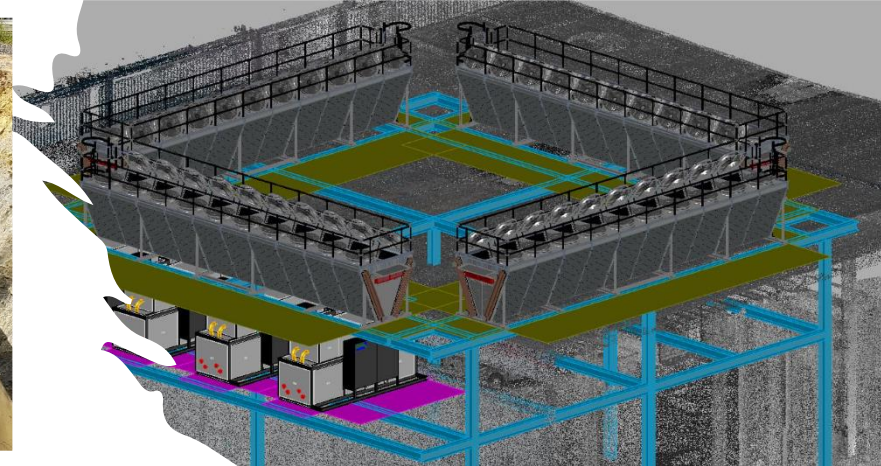


OCR Waste2power



3.2.2.2





Schauen Sie mal rein →

ICS 27.080	VDI-RICHTLINIEN		Januar 2024
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Anwendung von Großwärmepumpen	VDI 4646	
		Entwurf	
Application of high-power heat pumps		<i>Einsprüche bis 2024-04-30</i> • vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal http://www.vdi.de/4646 • in Papierform an VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt Fachbereich Energie- und Umwelttechnik Postfach 10 11 39 40002 Düsseldorf	

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!