

A large industrial facility with a high ceiling and complex piping. A worker in a yellow safety vest and hard hat is standing in the center, looking at a piece of equipment. The floor is highly reflective, showing the overhead structure and lights. The lighting is a mix of cool blues and warm whites.

uni per

Abwärmennutzung in der Glasindustrie

Schwerpunkt: Abwärme zu Strom

Michael Schmidt, VP Energieeffizienz Uniper Technologies

22. April 2021

Uniper auf einen Blick

Aktivitäten

- Stromerzeugung
- Rohstoffhandel
- Energiespeicherung
- Energievertrieb
- Engineering



¹ Stand 31. Dezember 2020

€ 998 Mio.

Adj. EBIT¹

~11.500

Mitarbeiter

>40

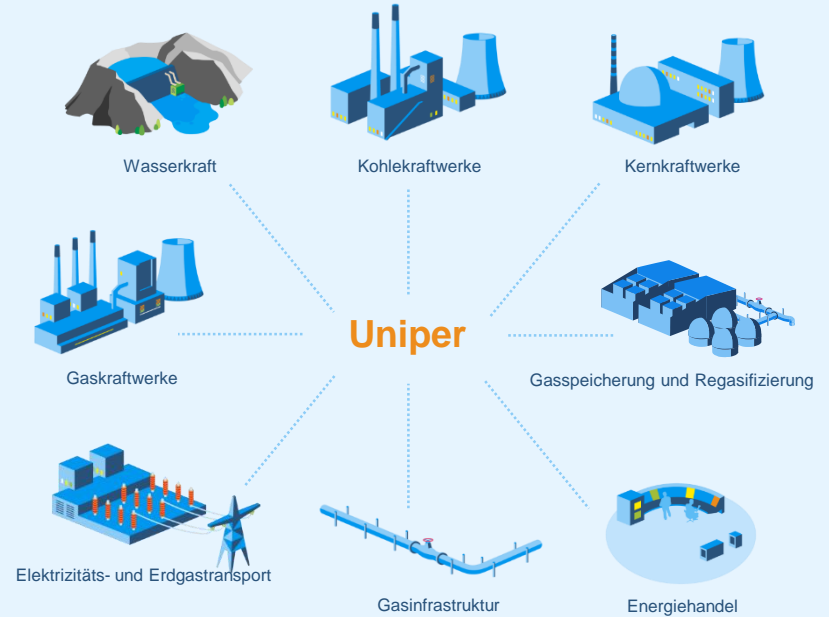
Länder

~35 GW

Erzeugungskapazität¹

100+

Jahre Erfahrung



Leistungen und Lösungen

Für eine CO2-arme Energiewelt



Dekarbonisierung

- Energieeffizienz
- Contracting
- Wasserstoff-Engineering



Dezentralisierung

- Lösungen für elektrische Netze
- Fernwärme
- KWK



Digitalisierung in Anlagen

- Enerlytics
- Künstliche Intelligenz

Über die gesamte Anlagenlaufzeit

Dienstleistungen über die gesamte Laufzeit

- Owner's Engineering
- Technische Beratung
- Projektmanagement
- Lieferantenmanagement
- Compliance-Management
- Handel & Dispatching
- Brennstoffe, Energievertrieb und -lieferung
- Schulung & Entwicklung
- Schadstoff-Management
- Gesundheits- und Sicherheitsmanagement
- Vorschriftenmanagement

Machbarkeit, Konstruktion, Inbetriebnahme

- Machbarkeitsstudien
- Due-Diligence
- Konzeption & Basic Design (FEED)
- Anträge & Genehmigungen
- Technische Spezifikationen
- Ausschreibungen & Beschaffung
- Sicherheitsmanagement
- Reklamationsmanagement
- Inbetriebnahme, Abnahme & Übergabe

Betrieb und Wartung

- Stillstandsmanagement
- Inspektionsmanagement & Analyse
- Laufzeitverlängerung von Komponenten und Anlagen
- Erweitertes Zustands-Monitoring
- Erweitertes Leistungsmanagement
- Reparatur vor Ort und in Werkstatt
- Ursachenanalyse

Anlagenmanagement und Optimierung

- Wartungsstrategie & Optimierung
- Prüfung und Verhandlung von Vereinbarungen mit OEM
- Portfolio-Optimierung
- Bewertung betrieblicher Prozesse
- Anlagenmodifikation & Upgrades
- Benchmarking-Studien

Außerbetriebnahme

- Stilllegungsstrategie und -planung
- Unterstützung bei Außerbetriebnahme
- Demontage
- Stilllegungsmanagement
- Standort- und Sicherheitsmanagement
- Dekontamination & Entsorgung

Digitaler Praxisworkshop Glasindustrie: Perspektiven für eine energieeffiziente und CO2-arme Produktion

NAPE, **Green Deal**,
BEHG, **CO2-Kosten**, EU-
ETS, **Dekarbonisierung**,
Grün-Strom-Zertifikate,
HKN, H2,
Versorgungssicherheit,
EE-G, Fuel-Switch,
EDL-G, **Netzausbau**,
Klimawandel, **Klimaziele**,
Grünstellung....

Wir befinden uns mitten in der
Transformation in Richtung
klimaneutrale und CO2-freie
Energiewirtschaft und Industrie!

Abwärmenutzung zur Strom-
erzeugung bietet **Sparpotential**
vor allem in der **Glasindustrie!**

Warum?

Viele Betriebsstunden, hohe
Temperaturen, hohe Leistungen ...

Der Kostendruck wird steigen!

Folge:

Energieeffizienz wird ein
wesentlicher Beitrag sein, die
Auswirkungen zu vermindern!
Die Energie, die ich nicht mehr
verbrauche, fällt weg und wird
auch nicht mehr teurer!

Unsere Erfahrung:

Es gibt eine Zurückhaltung bzgl.
Abwärmeverstromung,
insbesondere wenn es sich um
ORC handelt.

Ein Weg für die Glasindustrie:

Organic-Rankine-Cycle (ORC)-Anlagen

Der Weg zur kundenspezifischen idealen ORC-Anlage

Welches ORC-System ist das Richtige? Worauf kommt es an?

Wie ist die Wärmequelle beschaffen?

Staub, Säurebildner, Temperaturen, Verfügbarkeit, Volatilität, Volumenstrom, ...

1

2

Welche Kombinationen aus Expansionsmaschine und organischem Fluid ist sinnvoll?

Turbinen, Schrauben- / Kolbenexpander, Silikonöl, R245fa, Ethanol, Hexan, Toluol...

Die **IDEALE** ORC-Anlage:

Eine Interaktion diverser Parameter!

Wie sind die regulatorischen & wirtschaftliche Rahmenbedingungen?

BesAR, EEG, KWKG, Strompreis, CO2-Preis, Förderinstrumente, ISO 50001, CO2- Footprint-Vorgaben...

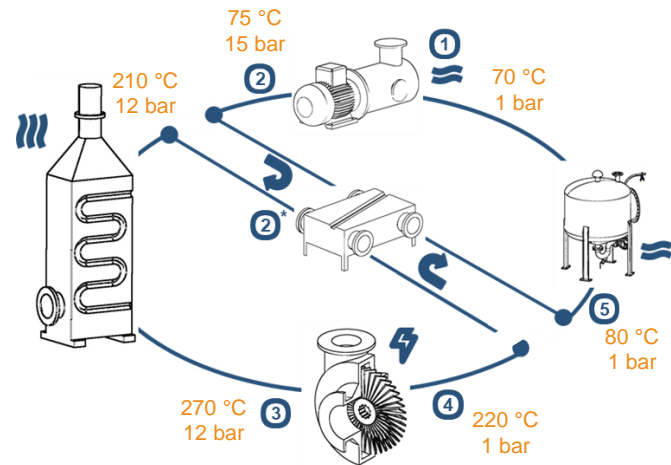
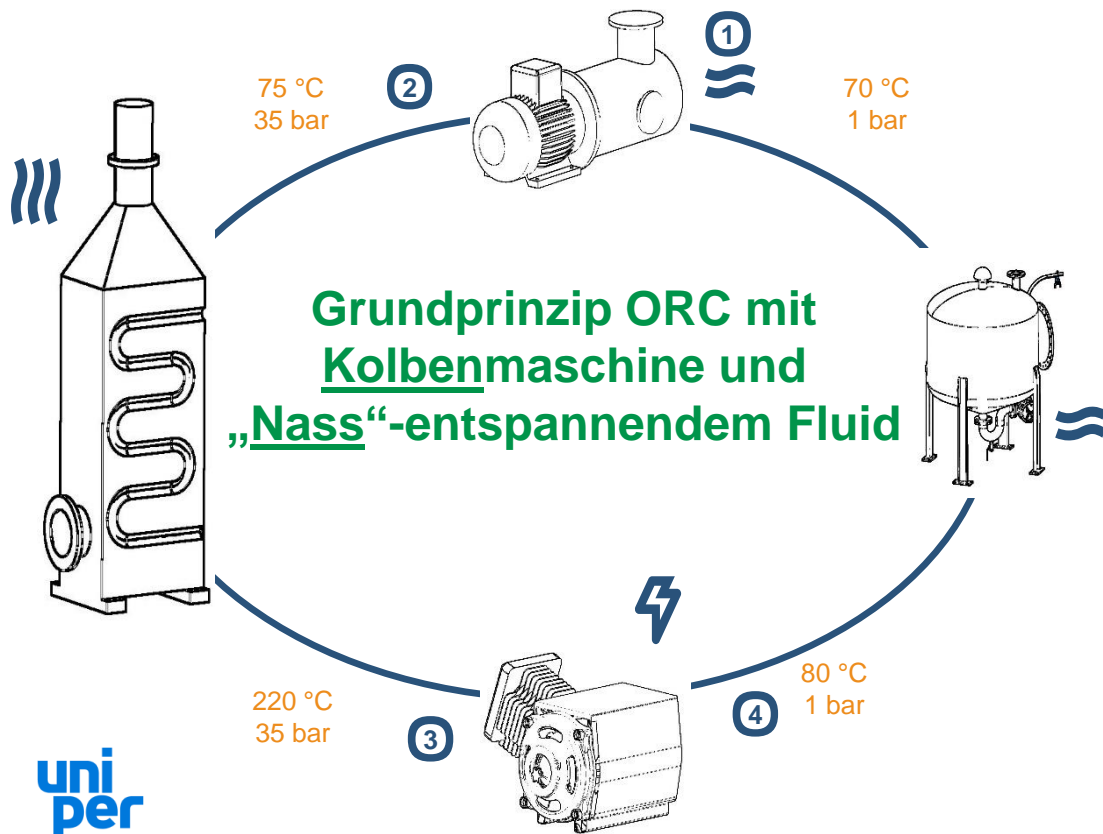
3

4

Besteht die Möglichkeit zur weiteren Wärmenutzung?

Heizung, Dampf, Nah-/Fernwärme, Vorwärmung, Kühlung ...

Zum Einstieg...



Der Weg zur kundenspezifischen idealen ORC-Anlage

Welches ORC-System ist das Richtige? Worauf kommt es an?

Wie ist die Wärmequelle beschaffen?

Staub, Säurebildner, Temperaturen, Verfügbarkeit, Volatilität, Volumenstrom, ...

1

2

Welche Kombinationen aus Expansionsmaschine und organischem Fluid ist sinnvoll?

Turbinen, Schrauben- / Kolbenexpander, Silikonöl, R245fa, Ethanol, Hexan, Toluol...

Die **IDEALE** ORC-Anlage:

Eine Interaktion diverser Parameter!

Wie sind die regulatorischen & wirtschaftliche Rahmenbedingungen?

BesAR, EEG, KWKG, Strompreis, CO2-Preis, Förderinstrumente, ISO 50001, CO2- Footprint-Vorgaben...

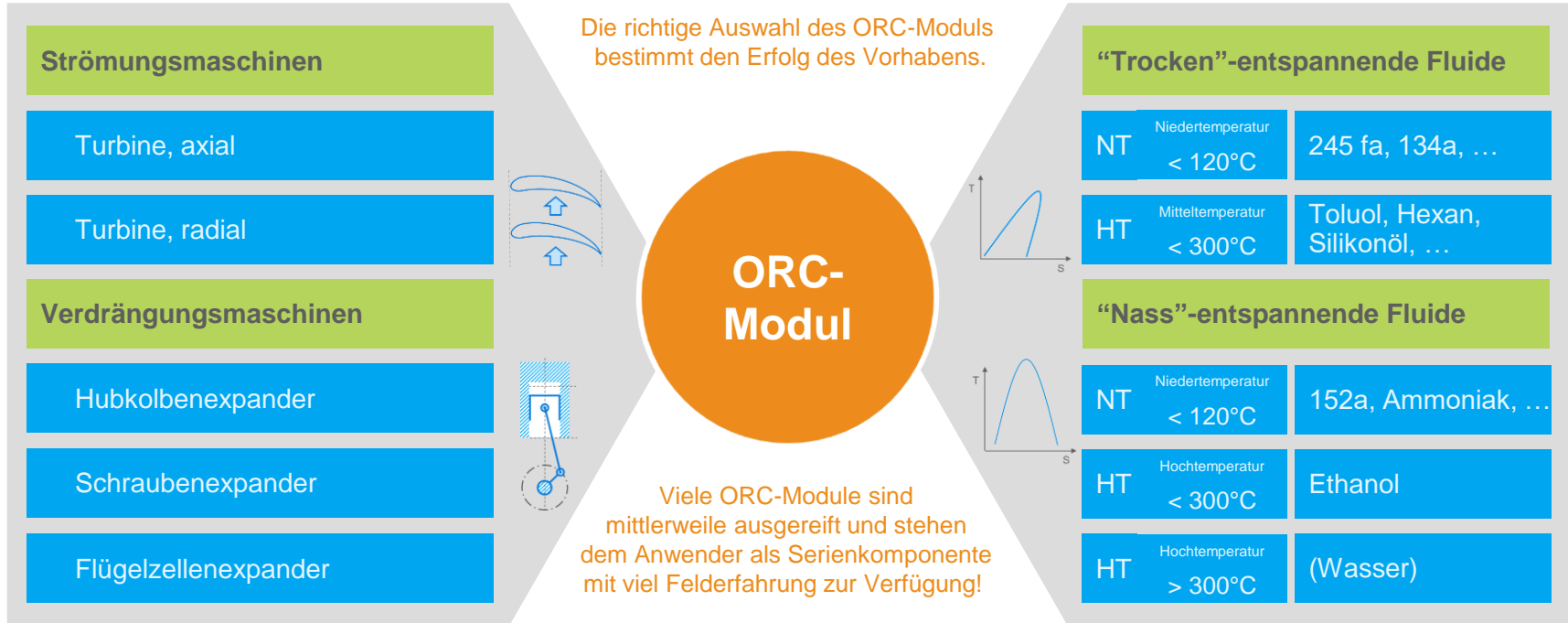
3

4

Besteht die Möglichkeit zur weiteren Wärmenutzung?

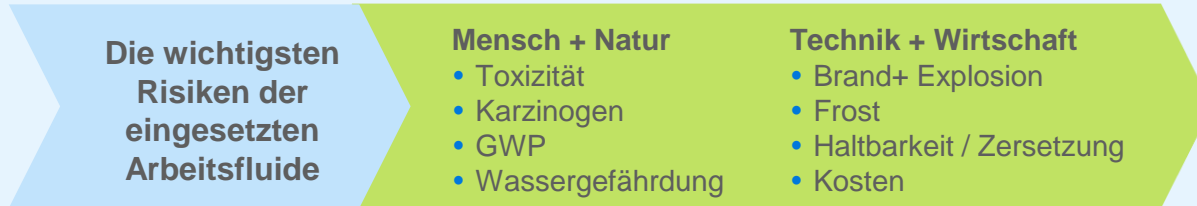
Heizung, Dampf, Nah-/Fernwärme, Kälteerzeugung Vorwärmung, ...

Die zur Anwendung kommenden Arbeitsmaschinen und das passende organische Fluid bestimmen das ORC-Modul



Die Auswahl ist umfangreich!

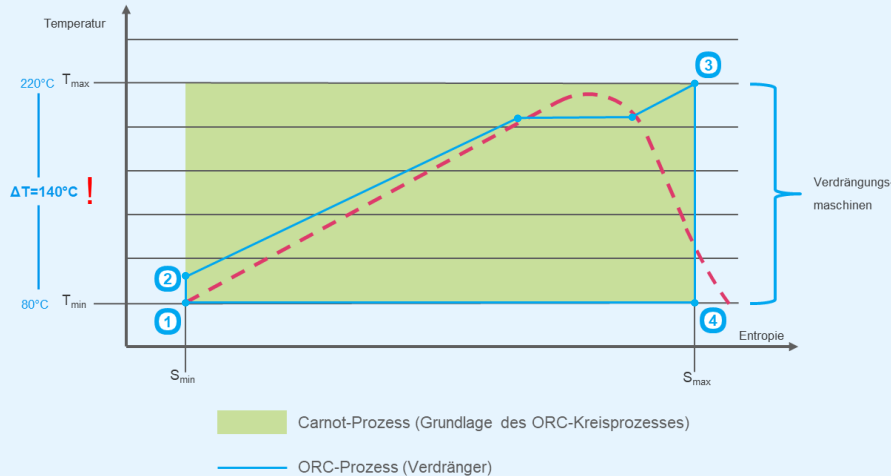
	Niedertemperatur < 120 °C		Hochtemperatur < 300 °C	
	„Trocken“- entspannend	„Nass“- entspannend	„Trocken“- entspannend	„Nass“- entspannend
Strömungsmaschinen	R245fa, 134a HFE7000, R123, R1234yf...	Ammoniak, R744	Toluol, OMTS, HMDS, N- Pentan, Hexane ...	
Verdrängungsmaschinen	R245fa, 134a HFE7000, R123, R1234yf...	Ammoniak, R744 152a	Toluol, OMTS, HMDS, N- Pentan, Hexane ...	Ethanol



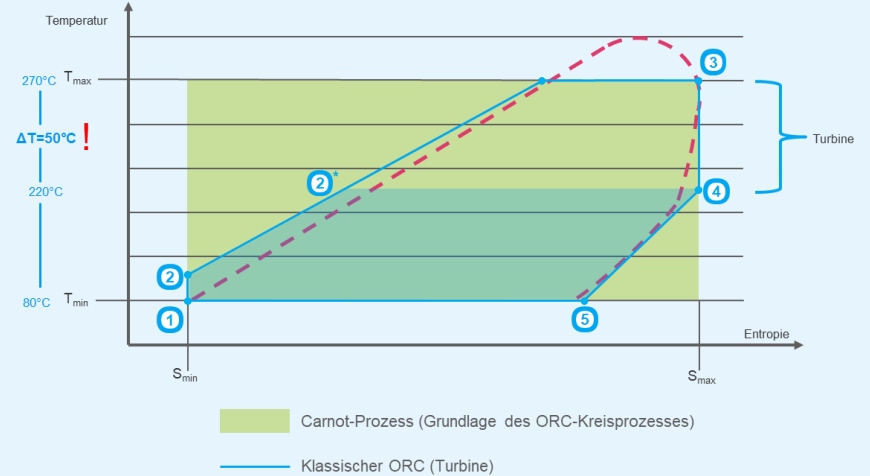
Doch was macht den Unterschied?

Ein Vergleich zweier typischen Systeme gibt Aufschluss.

„Nass“-entspannendes Fluid
in Verbindung mit einer Verdrängungsmaschine



„Trocken“-entspannendes Fluid
in Verbindung mit einer Strömungsmaschine



Der ORC-Wirkungsgrad ist nicht alles!

Der Vergleich der Zahlen macht es deutlich.

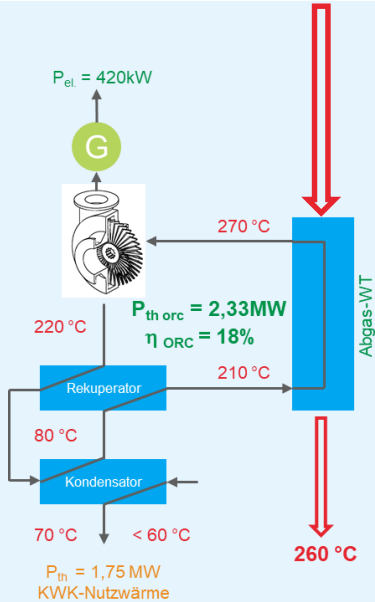
$$P_{th(20^\circ C)} = 7MW \quad T_{in} = 380^\circ C$$

=

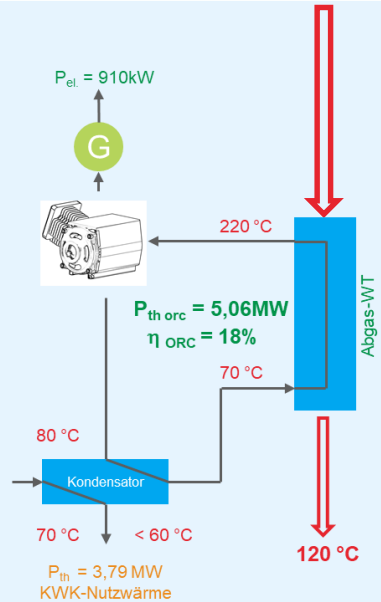
$$P_{th(20^\circ C)} = 7MW \quad T_{in} = 380^\circ C$$

=

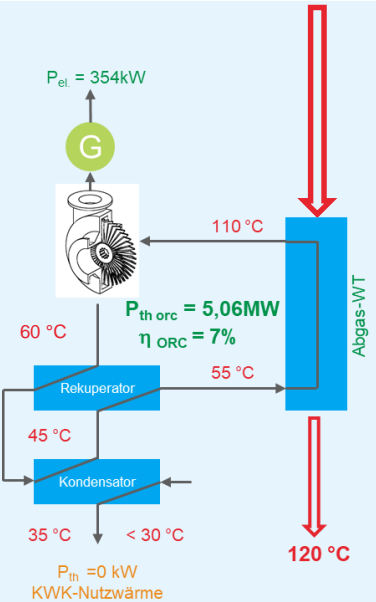
$$P_{th(20^\circ C)} = 7MW \quad T_{in} = 380^\circ C$$



Fall 1
HT - Turbine



Fall 2
HT - Verdrängungsmaschine



Fall 3
NT – Turbine / Verdrängungsmaschine

Der ORC-Wirkungsgrad ist nicht alles!

Der Vergleich der Zahlen macht es deutlich.

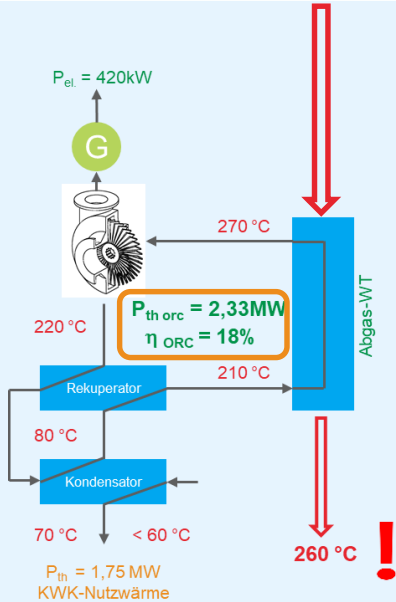
$$P_{th(20^\circ C)} = 7MW \quad T_{in} = 380^\circ C$$

=

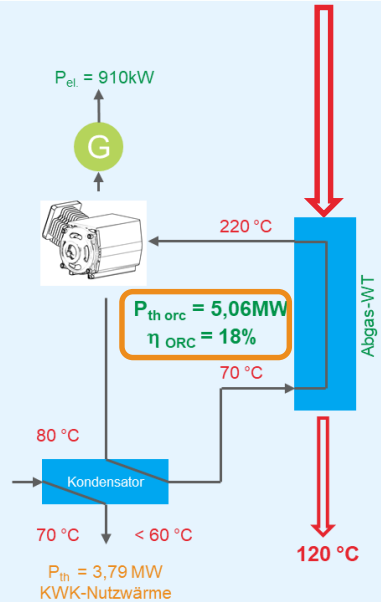
$$P_{th(20^\circ C)} = 7MW \quad T_{in} = 380^\circ C$$

=

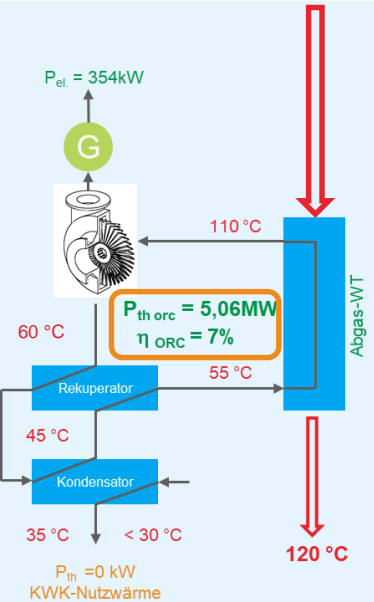
$$P_{th(20^\circ C)} = 7MW \quad T_{in} = 380^\circ C$$



Fall 1
HT - Turbine



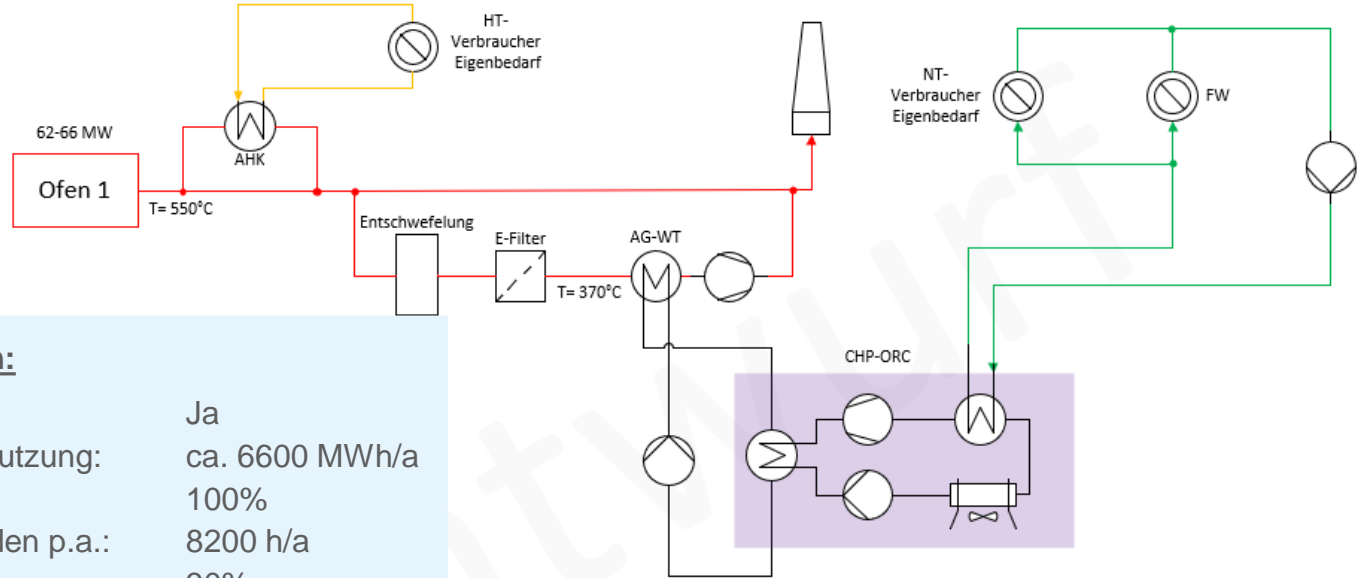
Fall 2
HT - Verdrängungsmaschine



Fall 3
NT – Turbine / Verdrängungsmaschine

Sind ORC-Anlagen wirtschaftlich zu betreiben?

Ein fiktives Beispiel orientiert an der Praxis kann helfen sich einen Überblick zu verschaffen.



Rahmenbedingungen:

BesAR:	Ja
Nachgelagerte Wärmenutzung:	ca. 6600 MWh/a
Stromeigenverbrauch:	100%
Effektive Betriebsstunden p.a.:	8200 h/a
Förderhöhe:	30%
Abwärme- Leistung (380-20°C)	7 MW
Strompreis:	68 € / MWh
Wärmeerlöse:	20 € / MWh

Beispielrechnung verschiedener ORC- Varianten

Zahlen machen es transparenter...

HT „trocken“ -entspannendes Fluid
in Verbindung mit einer Strömungsmaschine (z.B. Turbine)

Wirtschaftlichkeit Abwärmekraftwerke: Vorauslegung/Prognose mit/ohne BesAR		uni per	Energieeffizienz Team
Übertragbare th. Leistung (# Abwärmeleistung)			
2,33 MW		Wärme- Einsparung p.a.	133.742 €
η el. 18%	η th. (>60°C) 70%	EEG-Umlage p.a.	0 €
Betriebstunden p.a. 8200 h	Nutzungsgrad th. 50%	Betriebskosten p.a.	-41.000 €
P el. 419 kW	P th. 1631 kW	Erlös p.a.	326.599 €
Strommenge p.a. 3439 MWh	Genutzte Wärmemenge p.a. 6687 MWh	Kapitalwert	3.288.992 €
Gesamtkosten ca. 2.300.000 €	Förderung 30%	Invest 1.610.000 €	Interner Zinsfuß 18,74%
Strompreis 68,00 €/MWh	Wärmelöse 20,00 €/MWh	Payback statisch	CO2-Einsparung ges. 2864 t CO2
EEG-Umlage 67,56 €/MWh	EEG-Anteil 0%	4,93 Jahre	Uniper Technologies GmbH Alexander-von-Humboldt-Str. 1 45896 Gelsenkirchen michael.schmidt@uniper.energy
Wartungskosten 5,00 €/Bh	Zinssatz 0%	CO2-Einsparung Strom indirekt 1379 t CO2	
CO2 Emissionsfaktor Strommix 401 g CO2/kWh	CO2 Emissionsfaktor Gas 222 g CO2/kWh	CO2-Einsparung Gas direkt 1485 t CO2	

Fall 1

HT „trocken“ -entspannendes Fluid
in Verbindung mit einer Verdrängungsmaschine (z.B. Hubkolbenexp.)

Wirtschaftlichkeit Abwärmekraftwerke: Vorauslegung/Prognose mit/ohne BesAR		uni per	Energieeffizienz Team
Übertragbare th. Leistung (# Abwärmeleistung)			
5,06 MW		Wärme- Einsparung p.a.	133.604 €
η el. 18%	η th. (>60°C) 70%	EEG-Umlage p.a.	0 €
Betriebstunden p.a. 8200 h	Nutzungsgrad th. 23%	Betriebskosten p.a.	-41.000 €
P el. 911 kW	P th. 3542 kW	Erlös p.a.	600.466 €
Strommenge p.a. 7469 MWh	Genutzte Wärmemenge p.a. 6680 MWh	Kapitalwert	6.486.995 €
Gesamtkosten ca. 3.600.000 €	Förderung 30%	Invest 2.520.000 €	Interner Zinsfuß 22,72%
Strompreis 68,00 €/MWh	Wärmelöse 20,00 €/MWh	Payback statisch	CO2-Einsparung ges. 4478 t CO2
EEG-Umlage 67,56 €/MWh	EEG-Anteil 0%	4,20 Jahre	Uniper Technologies GmbH Alexander-von-Humboldt-Str. 1 45896 Gelsenkirchen michael.schmidt@uniper.energy
Wartungskosten 5,00 €/Bh	Zinssatz 0%	CO2-Einsparung Strom indirekt 2995 t CO2	
CO2 Emissionsfaktor Strommix 401 g CO2/kWh	CO2 Emissionsfaktor Gas 222 g CO2/kWh	CO2-Einsparung Gas direkt 1483 t CO2	

Fall 2

Die diesen Berechnungen zugrunde gelegten Annahmen orientieren sich an Erfahrungswerten. Insbesondere die Investitionskosten können sehr unterschiedlich ausfallen da jede ORC-Anlage einen individuellen Anlagenbau beinhaltet der je nach Örtlichkeit und Anwendungsfall deutlich variieren kann.

Beispielrechnung verschiedener ORC- Varianten

Zahlen machen es transparenter...

NT „trocken“ -entspannendes Fluid
in Verbindung mit einer Verdrängungsmaschine (z.B. Schraubenexp.)

HT/NT „nass“ -entspannendes Fluid
in Verbindung mit einer Strömungsmaschine (z.B. Turbine.)

**Wirtschaftlichkeit Abwärmekraftwerke:
Vorauslegung/Prognose mit/ohne BesAR**

Übertragbare th. Leistung (# Abwärmeleistung)		Strom- Einsparung p.a.	
5,06 MW		197.502 €	
η el. 7%	η th. (>60°C) 0%	Wärme- Einsparung p.a.	
		0 €	
Betriebstunden p.a. 8200 h	Nutzungsgrad th. 0%	EEG-Umlage p.a.	
		0 €	
P el. 354 kW	P th. 0 kW	Betriebskosten p.a.	
		-41.800 €	
Strommenge p.a. 2904 MWh	Genutzte Wärmemenge p.a. 0 MWh	Erlös p.a.	
		156.502 €	
Gesamtkosten ca. 2.200.000 €	Förderung 30%	Kapitalwert	
Invest 1.540.000 €		807.529 €	
Strompreis 68,00 €/MWh	Wärmelöse 20,00 €/MWh	Interner Zinsfuß	
		5,80%	
EEG-Umlage 67,56 €/MWh	EEG-Anteil 0%	Payback statisch	
		9,84 Jahre	
Wartungskosten 5,00 €/Bh	Zinssatz 0%	CO2-Einsparung ges.	
		1165 t CO2	
CO2 Emissionsfaktor Strommix 401 g CO2/kWh	CO2 Emissionsfaktor Gas 222 g CO2/kWh	CO2-Einsparung Strom indirekt	
		1165 t CO2	
		CO2-Einsparung Gas direkt	
		0 t CO2	

uni per
Energieeffizienz Team

Fall 3

Uniper Technologies GmbH
Alexander-von-Humboldt-Str. 1
45896 Gelsenkirchen
michael.schmidt@uniper.energy

**Wirtschaftlichkeit Abwärmekraftwerke:
Vorauslegung/Prognose mit/ohne BesAR**

Übertragbare th. Leistung (# Abwärmeleistung)		Strom- Einsparung p.a.	
5,06 MW		648.935 €	
η el. 23%	η th. (>60°C) 0%	Wärme- Einsparung p.a.	
		0 €	
Betriebstunden p.a. 8200 h	Nutzungsgrad th. 0%	EEG-Umlage p.a.	
		0 €	
P el. 1164 kW	P th. 0 kW	Betriebskosten p.a.	
		-41.800 €	
Strommenge p.a. 9543 MWh	Genutzte Wärmemenge p.a. 0 MWh	Erlös p.a.	
		583.335 €	
Gesamtkosten ca. 3.200.000 €	Förderung 30%	Kapitalwert	
Invest 2.240.000 €		6.510.023 €	
Strompreis 68,00 €/MWh	Wärmelöse 20,00 €/MWh	Interner Zinsfuß	
		25,14%	
EEG-Umlage 67,56 €/MWh	EEG-Anteil 0%	Payback statisch	
		3,84 Jahre	
Wartungskosten 8,00 €/Bh	Zinssatz 0%	CO2-Einsparung ges.	
		3827 t CO2	
CO2 Emissionsfaktor Strommix 401 g CO2/kWh	CO2 Emissionsfaktor Gas 222 g CO2/kWh	CO2-Einsparung Strom indirekt	
		3827 t CO2	
		CO2-Einsparung Gas direkt	
		0 t CO2	

uni per
Energieeffizienz Team

(Fall 4)

Uniper Technologies GmbH
Alexander-von-Humboldt-Str. 1
45896 Gelsenkirchen
michael.schmidt@uniper.energy

Die diesen Berechnungen zugrunde gelegten Annahmen orientieren sich an Erfahrungswerten. Insbesondere die Investitionskosten können sehr unterschiedlich ausfallen da jede ORC-Anlage einen individuellen Anlagenbau beinhaltet der je nach Örtlichkeit und Anwendungsfall deutlich variieren kann.

Beispielrechnungen im Überblick!

	HT-Turbine	HT- Verdrängungsmaschine	NT-Turbine/ Verdrängungsmaschine	HT/NT-Turbine
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
$P_{th.in\ Wärmequelle}$	7,00 MW	7,00 MW	7,00 MW	7,00 MW
T_{in}	380 °C	380 °C	380 °C	380 °C
T_{out}	260 °C	120 °C	120 °C	120 °C
$P_{th.in\ ORC}$	2,33 MW	5,06 MW	5,06 MW	5,06 MW
η_{ORC}	18%	18%	7%	23%
$P_{el.}$	420 kW	910 kW	354 kW	1163 kW
$P_{th. Nutz}$	2 MW	4 MW	0 MW	0 MW
Invest	2,3 Mio. €	3,6 Mio. €	2,2 Mio. €	3,2 Mio. €
Förderung	30%	30%	30%	30%
Payback _{statisch}	4,93 Jahre	4,20 Jahre	9,84 Jahre	3,84 Jahre
Interner Zinsfuß	18,74 %	22,72 %	5,80 %	25,14 %
Kapitalwert	-2.864 t CO ₂ 3,3 Mio. €	-4.478 t CO ₂ 6,5 Mio. €	-1.165 t CO ₂ 0,8 Mio. €	-3.827 t CO ₂ 6,5 Mio. €

Die diesen Berechnungen zugrunde gelegten Annahmen orientieren sich an Erfahrungswerten. Insbesondere die Investitionskosten können sehr unterschiedlich ausfallen da jede ORC-Anlage einen individuellen Anlagenbau beinhaltet der je nach Örtlichkeit und Anwendungsfall deutlich variieren kann.

Fazit: Die Unterschiede sind erheblich!

Organic-Rankine-Cycle in Kürze

- ORC-Systeme sind vielfältig.
- ORC-Module sind ausgereift.
- ORC-Module sind Serienprodukte.
- Die richtige Auswahl ist entscheidend.
- **Der spezifische Anlagenbau zur Integration ist die Herausforderung!**
- Der richtige Partner an Ihrer Seite zur Planung und Umsetzung ist ausschlaggebend.

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Uniper Engineering
Michael Schmidt, VP Energieeffizienz

michael.schmidt@uniper.energy

engineering.uniper.energy



Diese Präsentation enthält möglicherweise bestimmte in die Zukunft gerichtete Aussagen, die auf den gegenwärtigen Annahmen und Prognosen der Unternehmensleitung der Uniper SE und anderen derzeit für diese verfügbaren Informationen beruhen. Verschiedene bekannte wie auch unbekannt Risiken und Ungewissheiten sowie sonstige Faktoren können dazu führen, dass die tatsächlichen Ergebnisse, die Finanzlage, die Entwicklung oder die Performance der Gesellschaft wesentlich von den hier abgegebenen Einschätzungen abweichen. Die Uniper SE beabsichtigt nicht und übernimmt keinerlei Verpflichtung, derartige zukunftsgerichtete Aussagen zu aktualisieren oder an zukünftige Ereignisse oder Entwicklungen anzupassen.