

## **Fachtagung „Klimaschutz durch Abwärmenutzung“ des BMUB**

**„Klima- und Prozesskälteerzeugung mit Absorptionskältemaschinen in Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärmenutzung“**

**Berlin 03.11.2016**

**efa Leipzig GmbH  
Dipl.-Ing. Petra Krüger  
Geschäftsführerin**

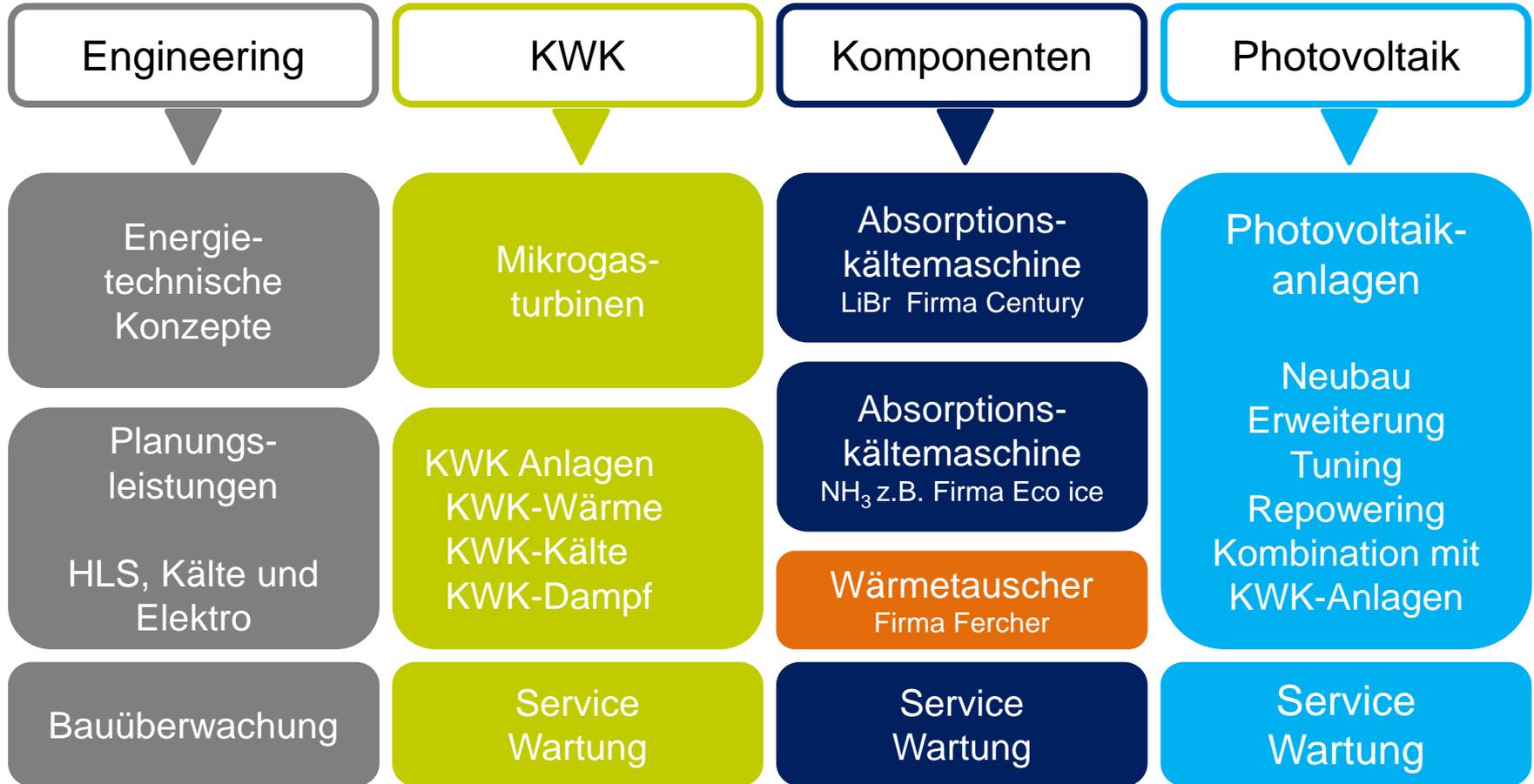
# Die efa Leipzig GmbH



970 m<sup>2</sup> Büroflächen

**zukunftsweisende Energietechnik**  
 bestehend aus Mikrogasturbine C50,  
 Absorptionskältemaschine, 24m<sup>3</sup> Puffer-  
 speicher, 40 m<sup>2</sup> Solarthermie, 27 kWp  
 Photovoltaik, Wärmenetz, Gebäudeleittechnik

# Geschäftsfelder

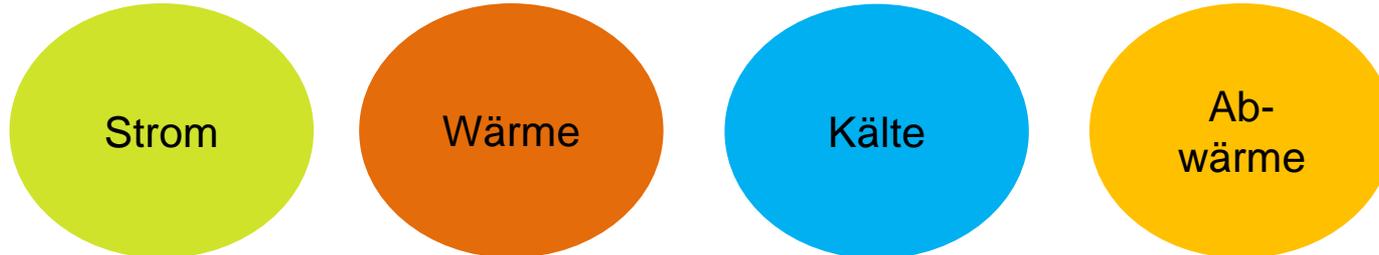


Seminare zum Thema Eigenstromerzeugung



## Wie wir umsetzen

**Bisher:**



**Ziel: Verringerung Strombezug / Energieeffizienz**

**Vorgehensweise:**

Komplexe Betrachtung des Strom- und Wärme- und Kältebedarfs

Kombinieren verschiedener Bedarfe

Eigenstromerzeugung mit KWK / KWKK

Abwärmenutzung

Kälte aus Abwärme

Beeinflussung Netzentgelte, Stromkostenintensität



## (Betriebs-) Kostenvergleich Kälteerzeugung

Art der Kälteerzeugung	Input	Menge für 1 MW Kälte in MW	Kosten in Ct/kWh	COP	Kosten für 1 MW Kälte in Ct/kWh
KKM	Strom	0,33	18,00	3,00	6,00
AKM direkt	Wärme (Gas)	1,50	3,50	0,63	5,20
AKM Abwärme	(Ab-) Wärme	1,50	0,00	0,63	0,00
AKM KWKK	Gas	3,00	3,50	0,63	-9,00*)

\*)

Strom	18,0 Ct/kWh
Gas	3,50 Ct/kWh
Mineralölerstattung	0,55 Ct/kWh
KWK-Vergütung	4,00 Ct/kWh
Wartung KWK	1,80 Ct/kWh
EEG-Umlage	2,24 Ct/kWh

## Produktpalette - Mikrogasturbinen

- **C50/65** Erdgas, LPG, Biogas, Diesel, Kerosin
- **C200** Erdgas, LNG, Biogas, Diesel

### Ausführungen:

- Hochdruck, Niederdruck
- Netzparallel, Netzersatz, Inselbetrieb

### 3 bis 5 \* C200 Containeranlage

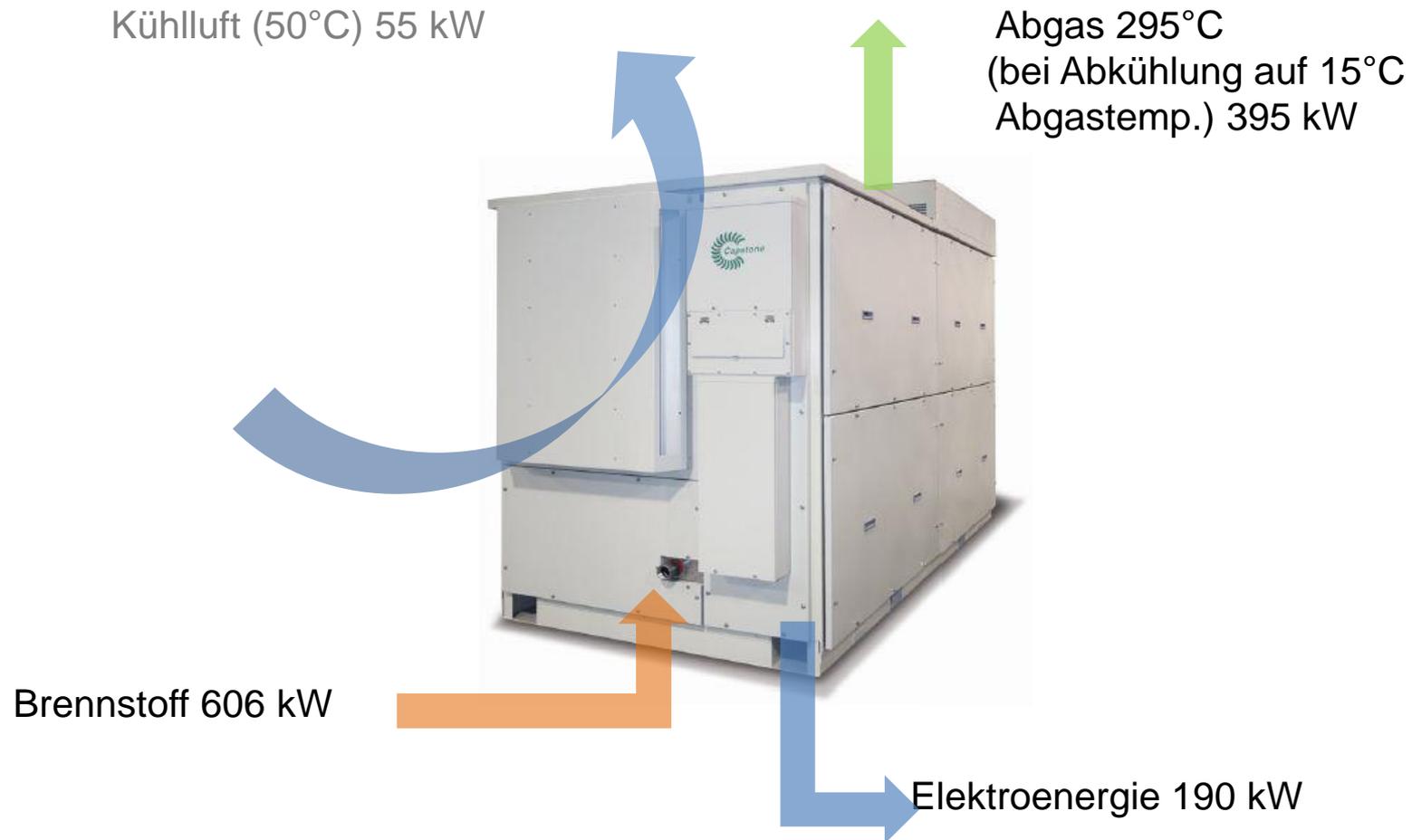
- **C600-C1000** Erdgas / LNG / Biogas



## Technische Daten und KWK-Vergütung (KWK-G 2016)

	C50	C65	2*C50	C200	C600	C800	C1000
<b>elektrische Leistung</b>	50 kW	61 kW	100 kW	190 kW	600 kW	800 kW	1000 kW
<b>Elektrischer Wirkungsgrad</b>	26%	27%	27%	31%	33% (HD)	33% (HD)	33% (HD)
<b>Thermische Leistung (60°C)</b>	110 kW	126 kW	2 *110 kW	290 kW	860 kW	1150 kW	1440 kW
<b>Gesamtwirkungsgrad</b>	83%	83%	83%	79%	81%	81%	81%
<b>Abgasleistung (15°C)</b>	140 kW	144 kW	2*140 kW	395 kW	1040 kW	1380 kW	1740 kW
<b>Gesamtwirkungsgrad</b>	88,5%	91,5%	91,5%	96%	90,2%	90%	90%
<b>Brennstoffeinsatz (Hu)</b>	192 kW	224 kW	2*192 kW	606 kW	1818 kW	2424 kW	3030 kW
<b>Abgastemperatur</b>	294°C	309°C	294°C	280°C	275°C	275°C	275°C
<b>KWK-Vergütung</b>	4,00 Ct/kWh	3,77 Ct/kWh	3,50 Ct/kWh	Nur energieintensive			
<b>Dauer der Zahlung</b>	60.000 Bh	30.000 Bh	30.000 Bh	30.000 Bh			

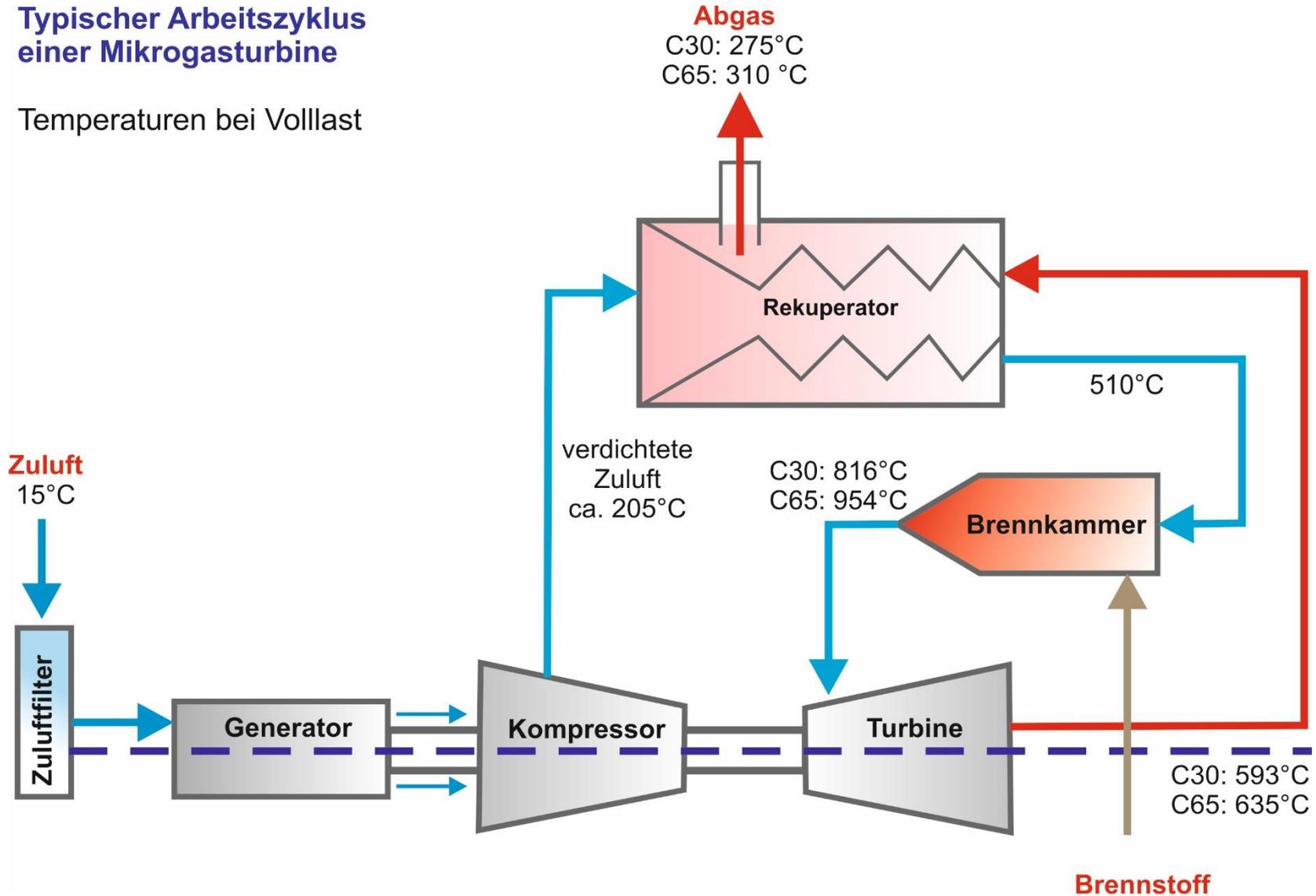
## Beispiel: Mikrogasturbine C200



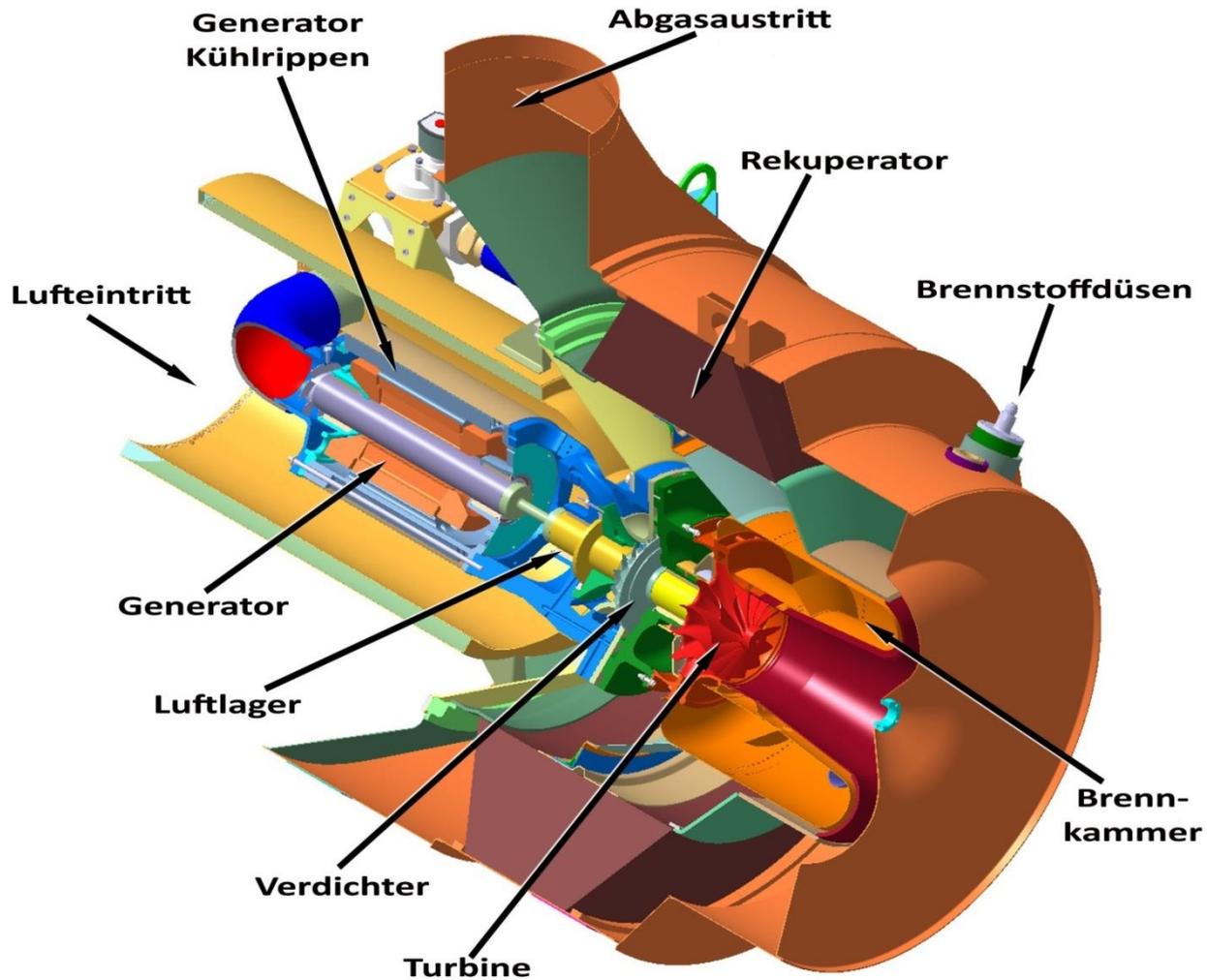
# Aufbauschema und Arbeitsparameter

## Typischer Arbeitszyklus einer Mikrogasturbine

Temperaturen bei Vollast



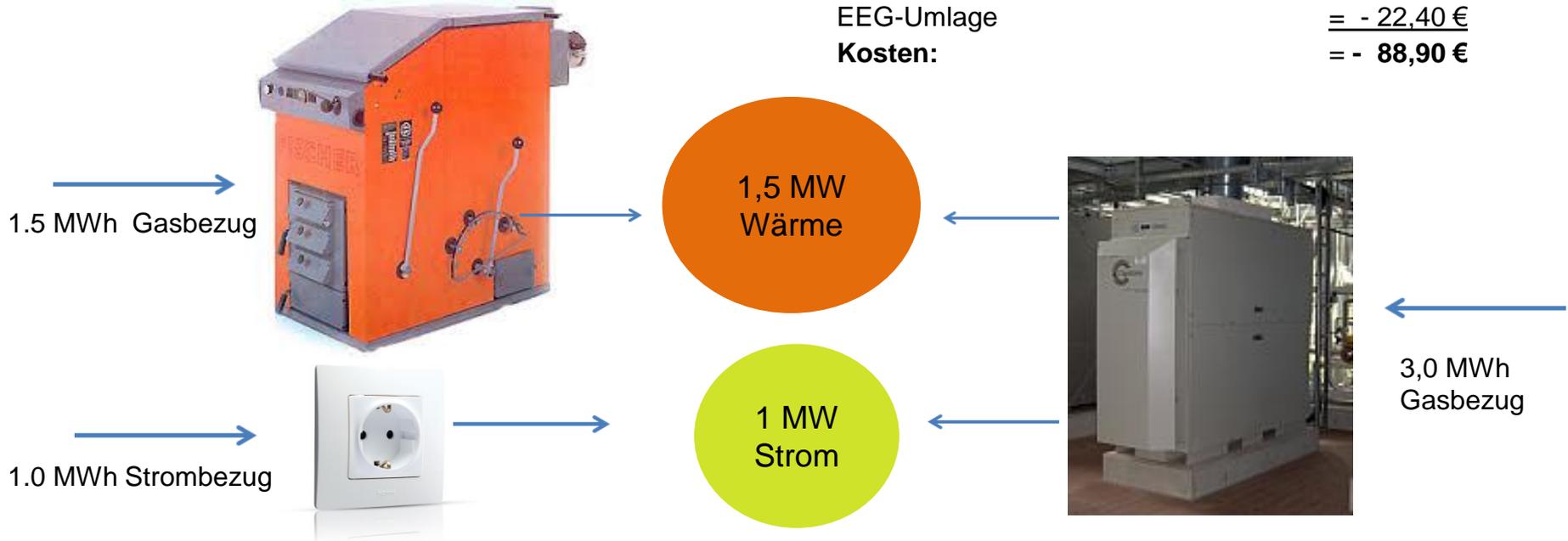
# Schnittbild einer MGT C200



# Warum KWK? – zur Eigenstromerzeugung!

**Bisher:**  
 1.5 MWh Gas a 3,5 Ct/kWh = - 52,50 €  
 1.0 MWh Strom a 18 Ct/kWh = - 180,00 €  
**Kosten:** - **232,50 €**

**Neu: mit Eigenstromerzeugung (KWK-G 2016):**  
 3.0 MWh Gas a 3,5 Ct/kWh = - 105,00 €  
 Mineralölerstattung a 0,55 Ct/kWh = **16,50 €**  
 KWK-Vergütung a 4,0 Ct/kWh = **40,00 €**  
 Wartung KWK = - 18,00 €  
 EEG-Umlage = - 22,40 €  
**Kosten:** = - **88,90 €**



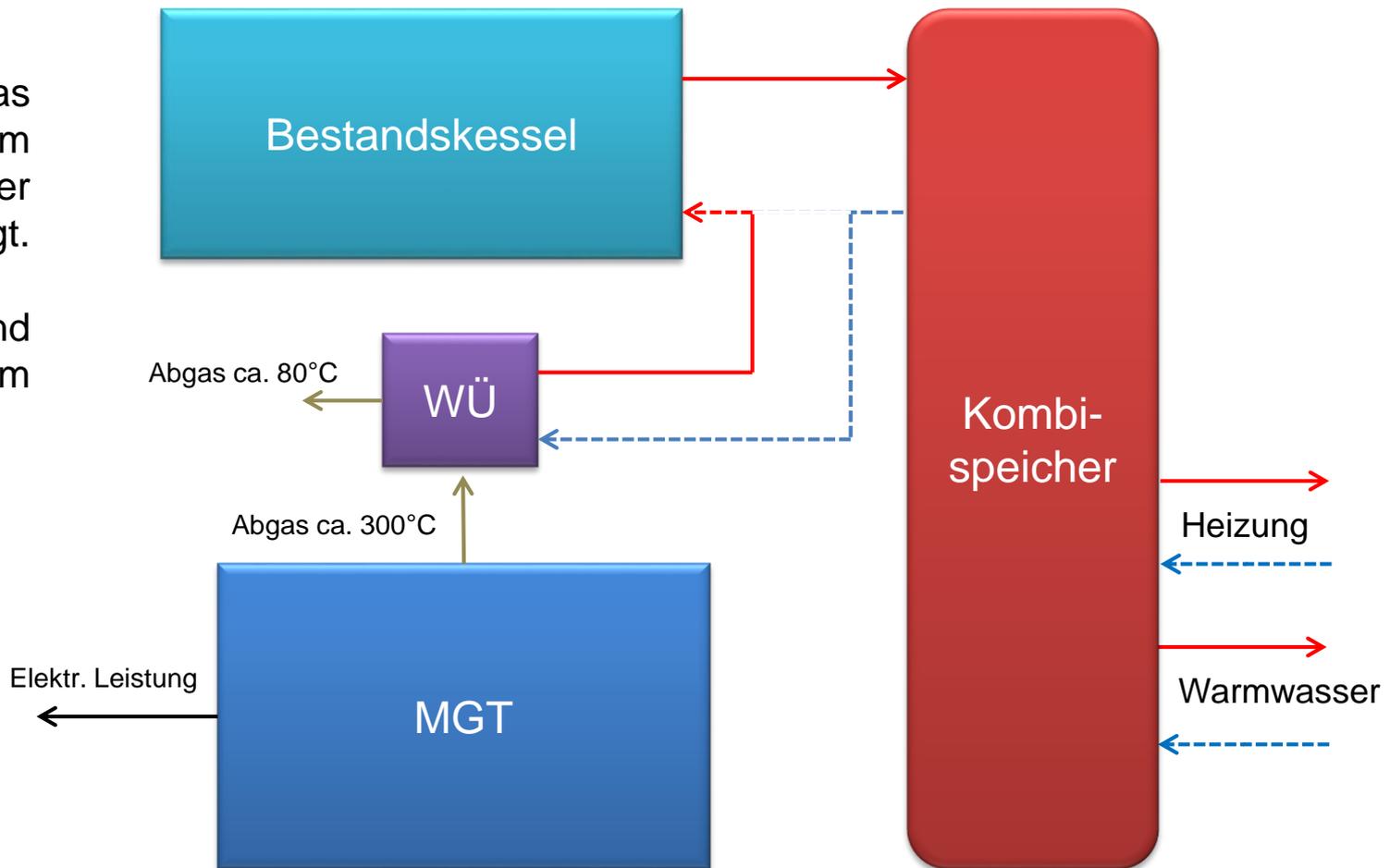
**Pro eigenerzeugter MWh Strom können 144 €\* gespart werden. Dafür müssen aber die Wärmeabnahmen gegeben sein bzw. geschaffen werden!**

**\*) Beispiel für 20 h Betrieb einer MGT C50**

# Anbindungsmöglichkeiten der Mikrogasturbine

## Warmwassererzeugung durch KWK

Mit dem Abgas der MGT wird im WÜ Warmwasser bis 108°C erzeugt. Höhere Temperaturen sind mit druckfestem Wärmetauscher möglich.



# Warmwassererzeugung durch KWK

## Wirtschaftlichkeit Capstone Mikrogasturbine

## KWK-G 2016

Anlage/Projekt

Warmwassererzeugung

Fernwärmeverdrängung

und Heizung

mit Abgaswärmetauscher  Gas-Hochdruck

Turbine auswählen

C50

EEG-Umlage

6,35

Ct/kWh

Anzahl

1

Stk.

EEG-Umlage auf  
eigenerzeugten  
Strom\*

35

%

Strompreis (Netto)

21,00

Ct/kWh

Einspeisepreis

3,20

Ct/kWh

Gaspreis (Netto)

4,50

Ct/kWh

Zusatzinvestitionen

20.000

€

Stromeigenverbrauch

90

%

Fördermittel

-

€

Betriebsstunden

6.000

Bh

Wärmepreis\*\*

-

Ct/kWh

Dollarkurs ( 1 € =

1,10

\$

\* (30% ab 1.08.2014 // 35% ab 1.01.2016 // 40% ab 1.01.2017)

\*\* (falls Abweichend vom Gaspreis)

Abgastemperatur

60

°C

# Warmwassererzeugung durch KWK

## Warmwassererzeugung und Heizung durch KWK

Ist sinnvoll für zu beheizende Objekte mit zusätzlichem Warmwasserbedarf !

Eine Heizung amortisiert sich nie !

Modell	1 Stück C50	Einheit
Anlagenpreis (inkl. Zusatzinvest. & Fördermittel)	152.400	€
<b>Technische Daten</b>		
Brennstoffeinsatz Hi	192	kW
elektr. Leistung	50	kW
therm. Leistung	104	kW
<b>Gesamtwirkungsgrad</b>	<b>80</b>	<b>%</b>
<b>Energieerzeugung</b>		
Strom	300.000	kWh
Eigenverbrauch	270.000	kWh
Wärme	623.200	kWh
<b>Brennstoffdaten</b>		
Brennstoffbezug Hi	1.152.000	kWh
Brennstoffbezug Hs (110% Hi)	1.267.200	kWh
Brennstoffkosten (Hs)	57.000	€/a
Mineralölsteuer (Erstattung 0,55 Ct/kWh)	7.000	€/a
<b>Summe</b>	<b>50.000</b>	<b>€/a</b>
<b>Erlöse</b>		
eingesparte Stromkosten	56.700	€/a
KWK-Vergütung	13.200	€/a
Gutschrift Stromeinspeisung	1.000	€/a
EEG-Umlage auf Eigenstromerzeugung	-6.000	€/a
Wärmegutschrift	31.200	€/a
<b>Summe</b>	<b>96.100</b>	<b>€/a</b>
<b>Fazit</b>		
Brennstoffkosten	50.000	€/a
Vollwartungskosten zzgl. Fahrtkosten	6.000	€/a
<b>Betriebskosten</b>	<b>56.000</b>	<b>€/a</b>
<b>Erlös</b>	<b>96.100</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinn statisch</b>	<b>40.100</b>	<b>€/a</b>
<b>Amortisationszeit statisch</b>	<b>3,8</b>	<b>Jahre</b>
Betriebskosteneinsparung nach 10 Jahren	248.000	€

# Warum Absorptionskältemaschinen in Verbindung mit KWK ?

## Bisher:

0,3 MWh Strom für Kälte a 18 Ct/kWh = - 54,00 €

1.0 MWh Strom a 18 Ct/kWh= -180,00 €

**Kosten:** - 234,00 €

## Neu: mit Eigenstromerzeugung (KWK-G 2016):

3.0 MWh Gas a 3,5 Ct/kWh =- 105,00 €

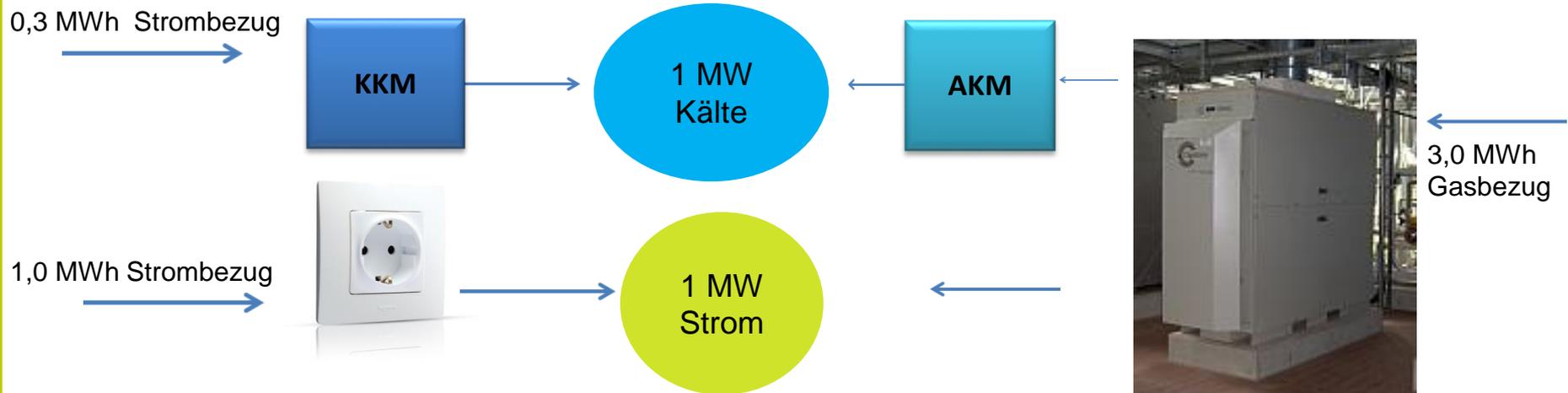
Mineralölerstattung a 0,55 Ct/kWh = 16,50 €

KWK-Vergütung a 4,0 Ct/kWh = 40,00 €

Wartung KWK = - 18,00 €

EEG-Umlage = - 22,40 €

**Kosten:** = - 88,90 €



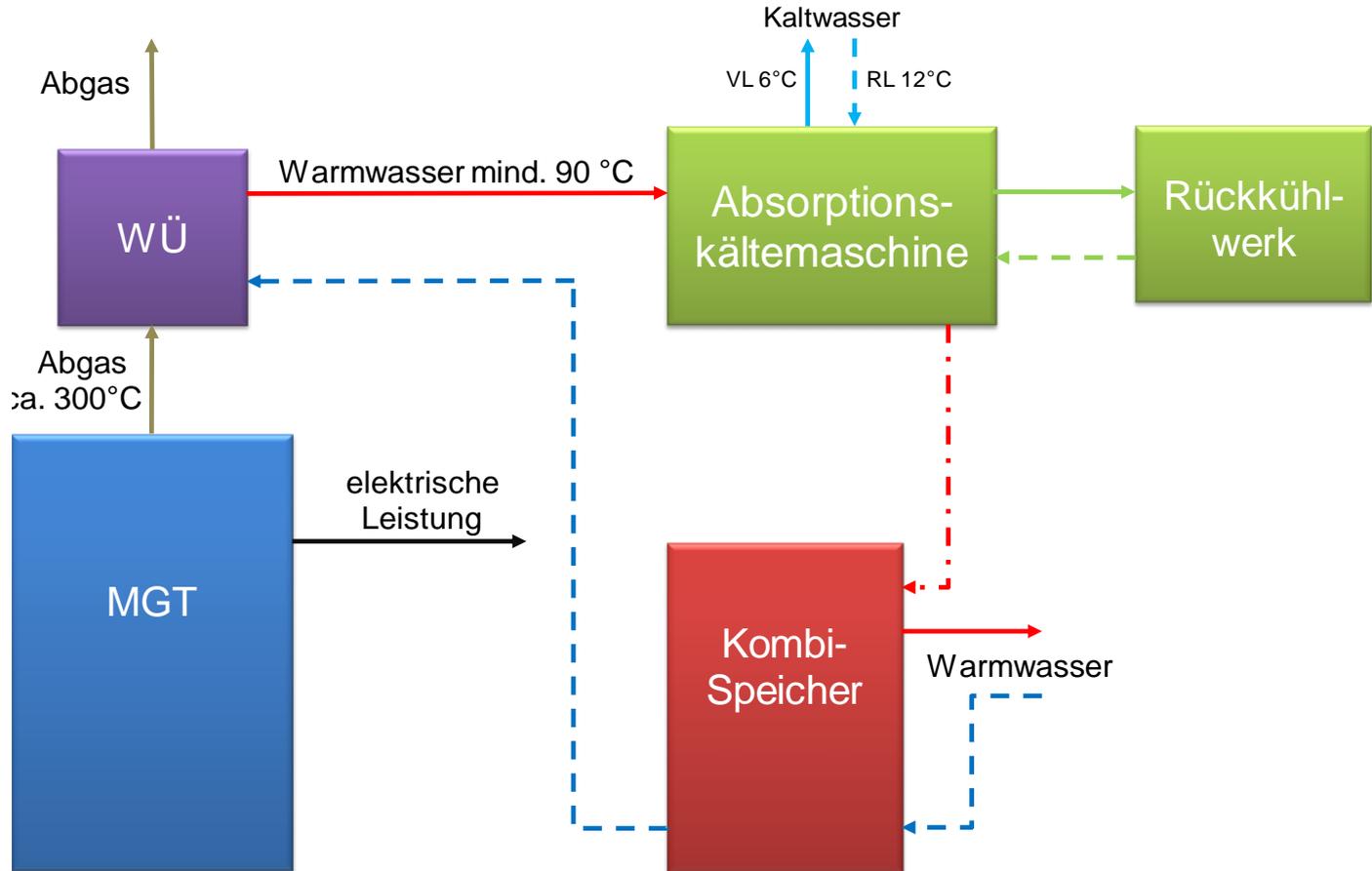
# Anbindungsmöglichkeiten der Mikrogasturbine

## Kälteerzeugung durch KWKK und Absorptionskältemaschinen

Mit dem Abgas der MGT wird im WÜ Warmwasser mit 90°C bereitet.

Das Splitgerät ist zwingend erforderlich.

Der Rücklauf mit etwa 80°C kann für eine Warmwasserbereitung oder auch für Heizzwecke genutzt werden.



# Sorptionskältemaschinen – Begriffsklärung

## Sorptionskältemaschinen

### Adsorptionskältemaschinen

**Feststoff** als  
Sorptionsmittel  
(bspw. Silicagel)

quasistetiger Prozess



nicht ganz so gut geeignet für  
kontinuierlich benötigte Kälte, etwas  
schlechtere Wärmezahlen

Bis ca. 20 kW

### Absorptionskältemaschinen

**Flüssigkeit** als  
Sorptionsmittel  
(LiBr oder Wasser)

stetiger Prozess



gut geeignet für kontinuierlich  
benötigte Kälte und industrielle Prozesse

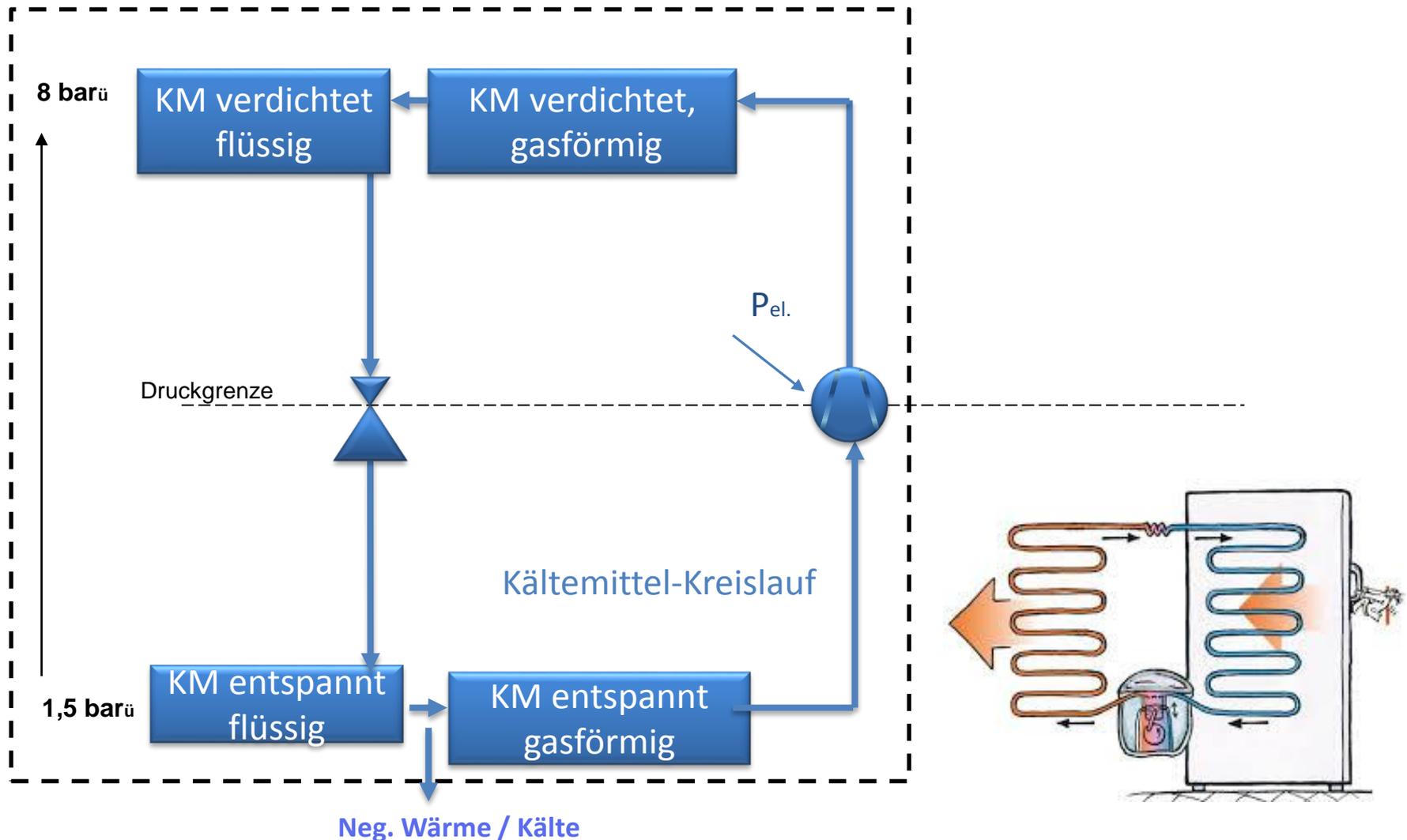
NH<sub>3</sub>

LiBr

**beiderseits: möglichst kontinuierlicher Bedarf bei KWKK-Anwendungen!\***  
**Rückkühlwerk/ Kondensator wie gewohnt notwendig**

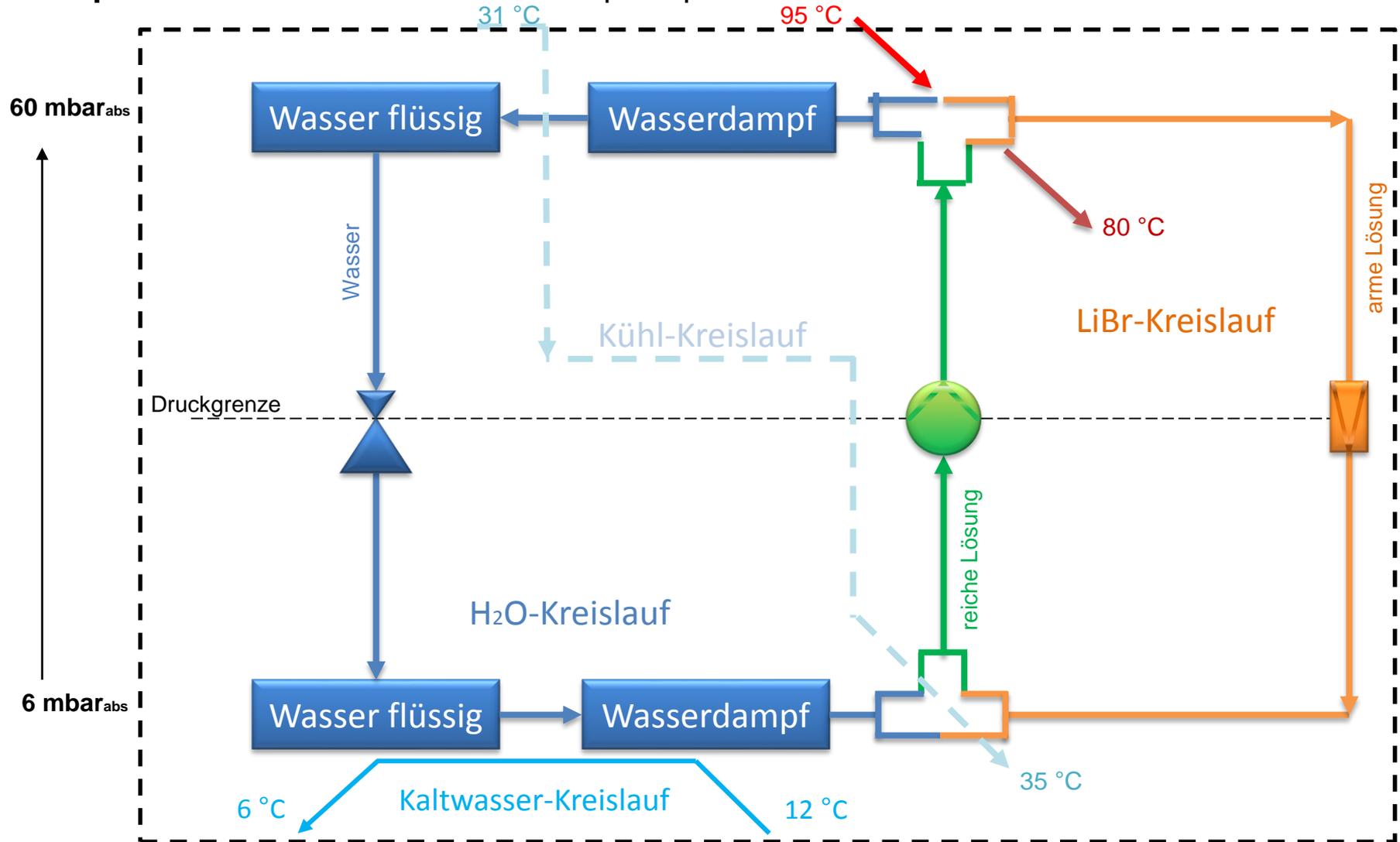
# Theorie Kälteerzeugung – KKM

## Kompressionskältemaschine – typischer Kälte-Kreisprozess (Kühlschrank)



# Theorie Kälteerzeugung – AKM (LiBr)

Absorptionskältemaschine – Funktionsprinzip stark vereinfacht:



## Absorptionskältemaschinen – NH<sub>3</sub> und LiBr

	LiBr - AKM	NH <sub>3</sub> - AKM
Kältemittel	Wasser	Ammoniak
Kaltwassertemperaturen	min. 6°C	min. -10°C
Warmwasser	95°C	95°C
COP	0,73	0,5



## Absorptionskältemaschinen – typische Werte

### ▪ überschlägige Bilanz $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$



### ▪ überschlägige Bilanz $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$



# Absorptionskältemaschinen – H<sub>2</sub>O/LiBr



- Arbeitsstoffpaar H<sub>2</sub>O/LiBr

## CENTURY ABSORPTIONSKÄLTEMASCHINEN



**AR-D einstufig, WW-betrieben**  
von 35 bis 4.200 kW,  
COP > 0.72



**zweistufig, dampfbetrieben**  
von 280 bis 5.275 kW,  
COP > 1.2



**zweistufig, direktbefeuert  
(Erdgas)**  
von 140 bis 5.275 kW,  
COP > 1.2

## Bsp. 1 – Produktionsstätte für Leiterplatten



kombiniertes Konzept:

**PV & KWKK**

PV–Fassadenanlage mit 22 kW<sub>peak</sub>

= Minderung  
 ... der **el. Grundlast**  
 ... der **Kühllast durch Verschattung**



## Bsp. 1 – Produktionsstätte für Leiterplatten

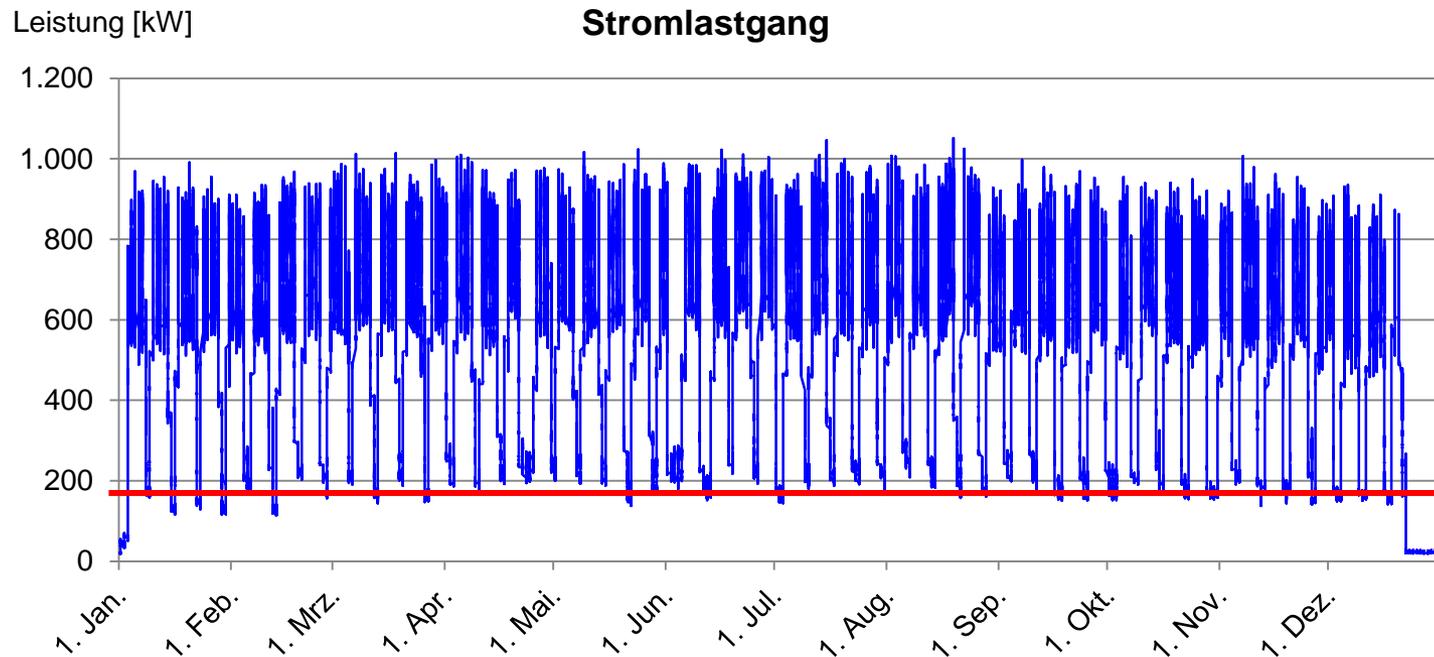
### Bestandskälte:

3 Stk. Bestands-Kompressionskälteanlagen auf Dach zur Bereitstellung von Prozesskaltwasser (max. 440 kW Kaltwasser, 180 kW el.)



## Bsp. 1 – Produktionsstätte für Leiterplatten

- Ermittlung Grundlast el. Ca. 200 kW und Kälte ca. 190 kW
- **KEIN** Wärmebedarf (**Fernwärme**)
- Entscheidung für **190 kW AKM** (LiBr) und MGT C200
- Bestehende Kälteanlagen bleiben erhalten, liefern Spitzenlast und Redundanz



## Bsp. 1 – Produktionsstätte für Leiterplatten

### Planung:

- Platznot, kein Speicher aufstellbar, kein Wärmebedarf
- Kopplung über **leistungsgeführten Kälte-Verteiler**, welcher höchsten Rücklauf bevorzugt & Volumenströme berücksichtigt
- *dynamische* Verteilung der produzierten Kälte

### dadurch:

- ✓ Grundlast Kälte 190 kW durch KWKK erzeugt, dann erst gehen KKM in Betrieb
- ✓ Strombezug sinkt um 75 kW wegen weniger Betrieb der KKM
- ✓ Eigenerzeugung 190 kW el.
- ✓ Absenkung der Grundlast um 265 kW el.

dafür nur EIN größerer Kälteerzeuger (AKM)

- ✓ KEIN zusätzlicher Anfall von Wärme im Objekt
- ✓ Gewährleistung hoher Laufzeiten von MGT C200 und AKM

## Bsp. 4 – Abwärmenutzung bei der Glasherstellung

In einem Glaswerk werden 12 Schmelzwannen betrieben. Die Abluft der Wannen wird bisher mit einer Temperatur von 130°C über einen Wäscher geschickt und verlässt dann über einen Filter die Anlage. Parallel werden mit KKM erhebliche Mengen Kaltwassers produziert. Ziel ist, aus der Abwärme mittels AKM Kaltwasser zu generieren und den Strombezug der KKM zu reduzieren.

Abwärmepotential: 12\* ca. 180 kW = 2,2 MW

Kälte aus Abwärme: 12\* ca. 115 kW = 1,4 MW

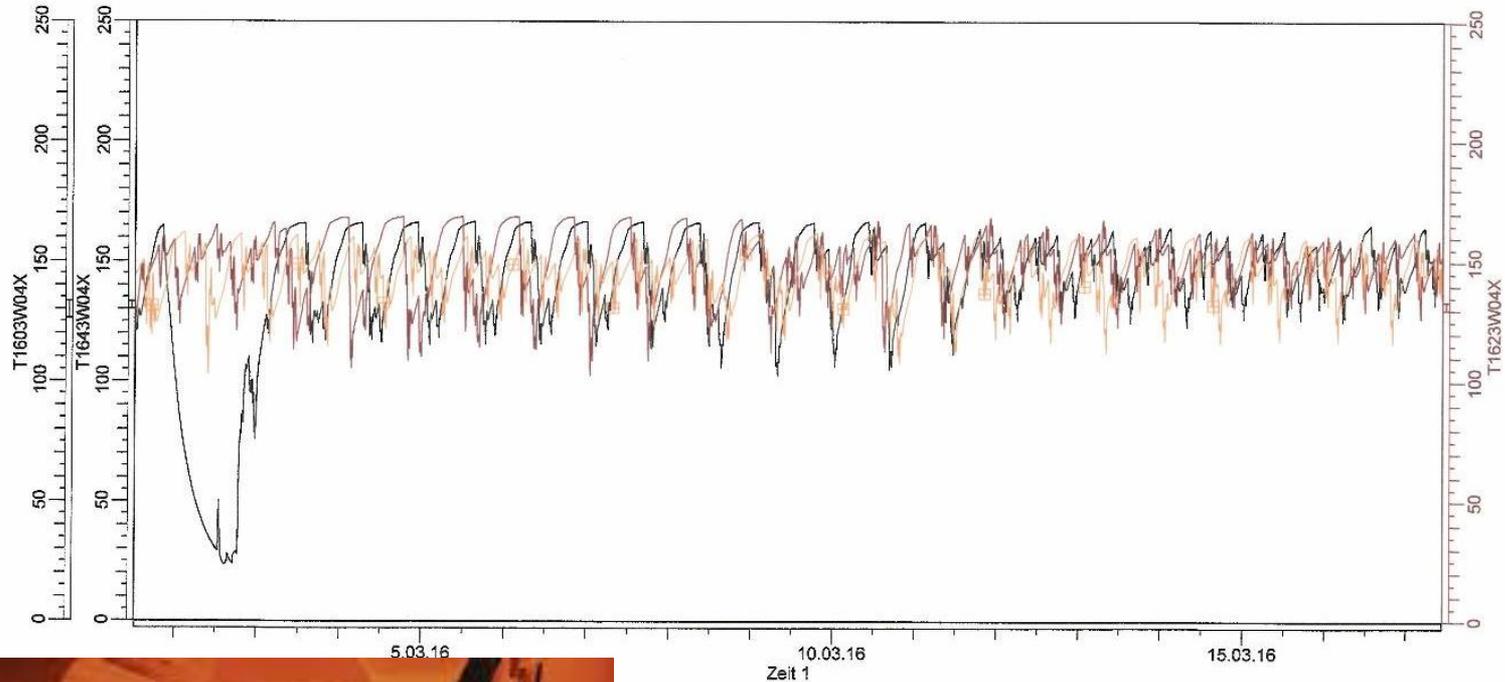
vermiedener Strombezug für KKA ca. 500 kW

vermiedene Strombezugskosten ca. 480 T€/a

### mögliche Wärmesenken:

- Winter Heizungsunterstützung
- Sommer Kälteeintrag für Klimatisierung des Reinraumes
- ganzjährig Unterstützung der Prozesswärme (Zulufterhitzung der Aufbauanlagen ca. 40 °C im VL)

## Bsp. 4 – Abwärmennutzung bei der Glasherstellung

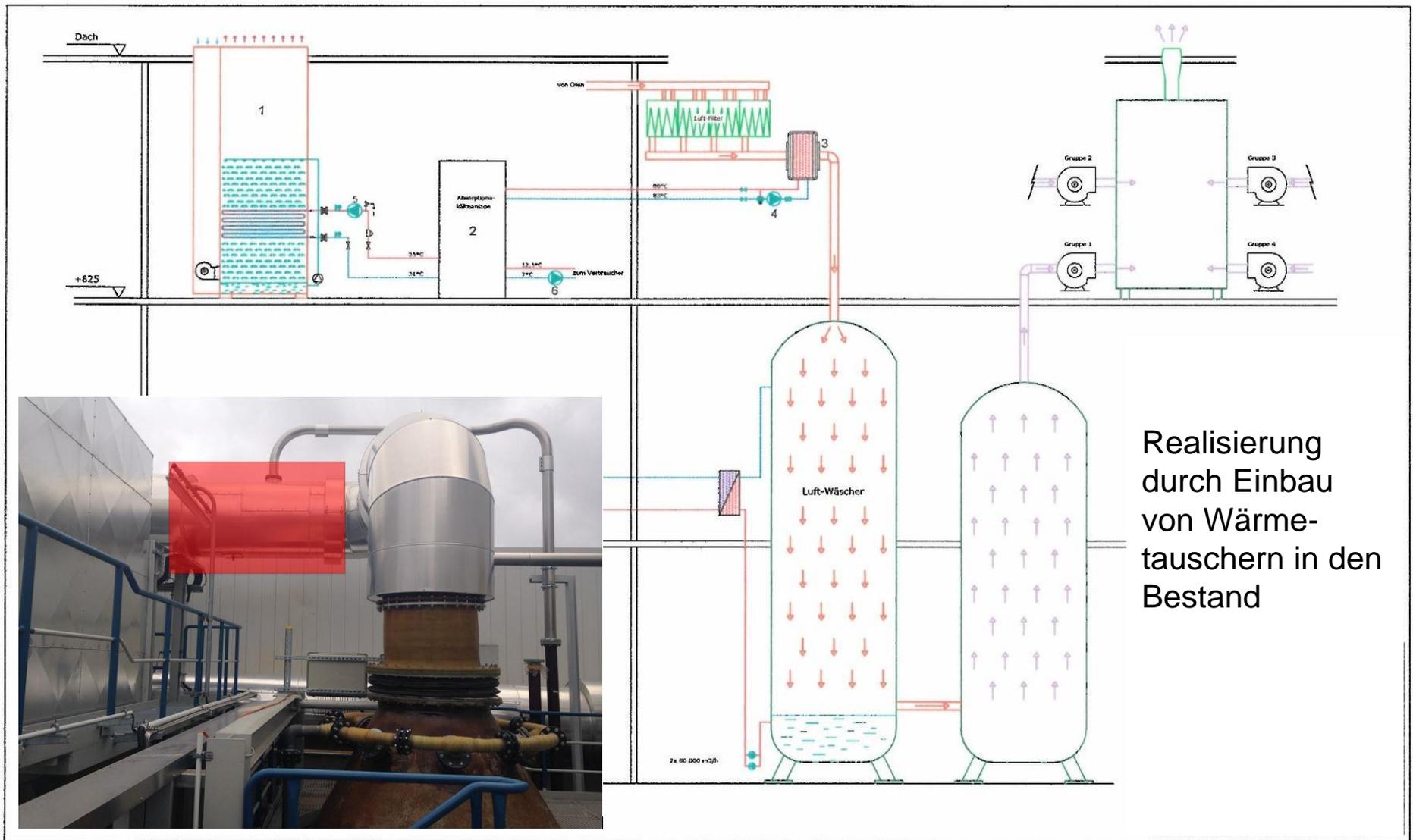


Abgasvolumenstrom: 12\* ca. 22.000 Nm<sup>3</sup>/h

Abgastemperatur: ca. 130 °C

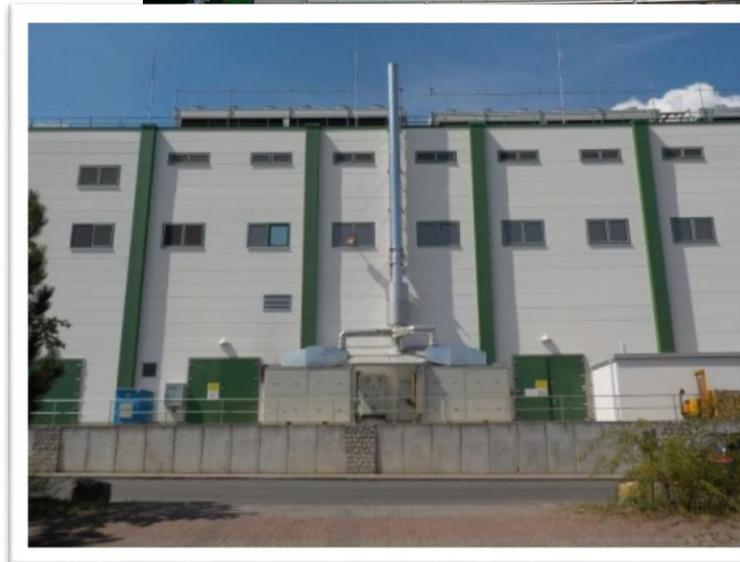
Druckverlust: max. 5 mbar

# Bsp. 4 – Abwärmenutzung bei der Glasherstellung



## Beispielanlagen in der Lebensmittelindustrie

Anlage: 2 x C200 (290 kW<sub>th</sub>)  
Betreiber: Ospelt Food Apolda  
Inbetriebnahme: Dezember 2014  
Anwendung: zur Kälteerzeugung  
(380 kW Kälte) zur  
Herstellung von  
Tiefkühlpizza



**Ospelt**  
food · pet food

## Kälteerzeugung mit AKM - Zusammenfassung

- Eigenstromerzeugung mit KWK(K) ist meist wirtschaftlich!
- Bei KWKK ist die Kälte die zur Eigenstromerzeugung notwendige Wärmesenke  
(Einfluss auf bezogene Leistung und bezogene Strommenge)
- Beim direkten Vergleich von Kompressionskälteerzeugung und Sorptionskälteerzeugung schneidet die AKM oft schlecht ab
- Sorptionskälteerzeugung zur Abwärmenutzung hat die Input-Energie gratis!
- Bei Sorptionskälteerzeugung entfällt Strombezug für KKM (Einfluss auf bezogene Leistung und bezogene Strommenge)
- Sorptionskälte im Vergleich zu freier Kühlung ist meist unwirtschaftlich!

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Erdgas- u. Biogas Turbinen in den neuen Bundesländern

**Vielleicht sind Sie ja demnächst auch eines unserer Pünktchen?**



Dipl.-Ing. Petra Krüger

efa Leipzig GmbH  
 Bucksdorffstraße 43  
 04159 Leipzig  
 krueger@efa-leipzig.com  
 www.efa-leipzig.com