

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**

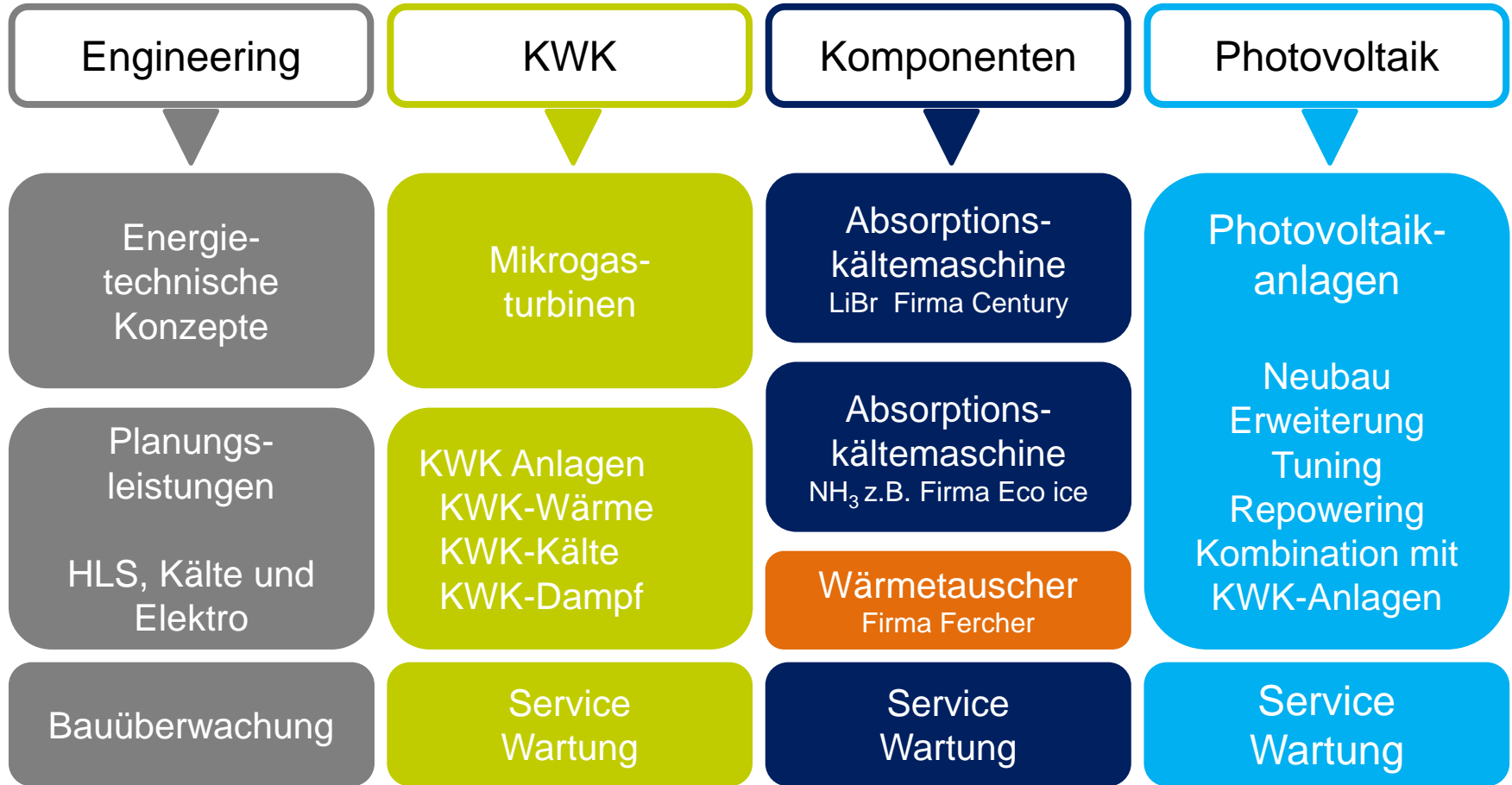
Die efa Leipzig GmbH



970 m² Büroflächen

zukunftsweisende Energietechnik
 bestehend aus Mikrogasturbine C50,
 Absorptionskältemaschine, 24m³ Puffer-
 speicher, 40 m² Solarthermie, 27 kWp
 Photovoltaik, Wärmenetz, Gebäudeleittechnik

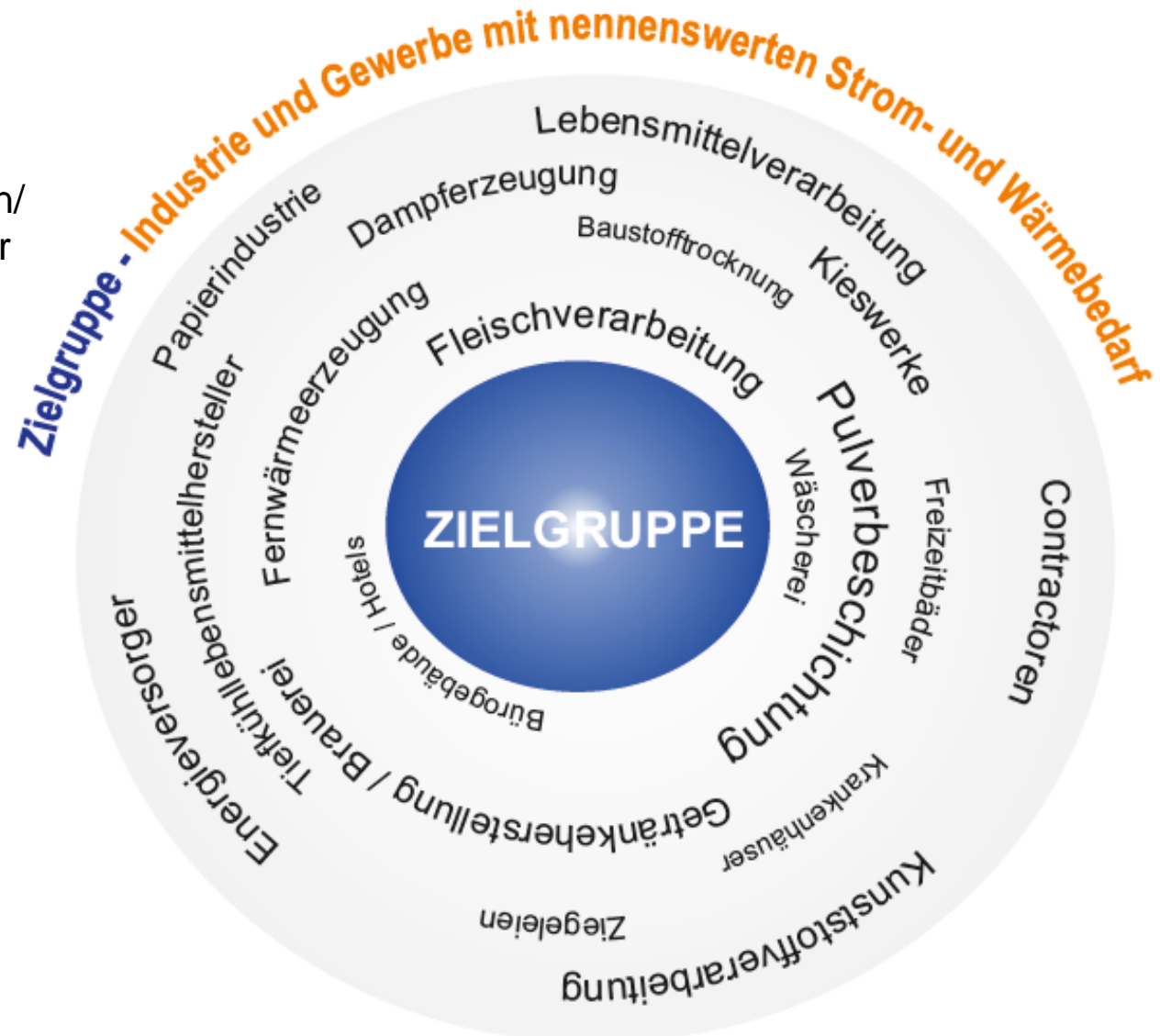
Geschäftsfelder



Seminare zum Thema Eigenstromerzeugung

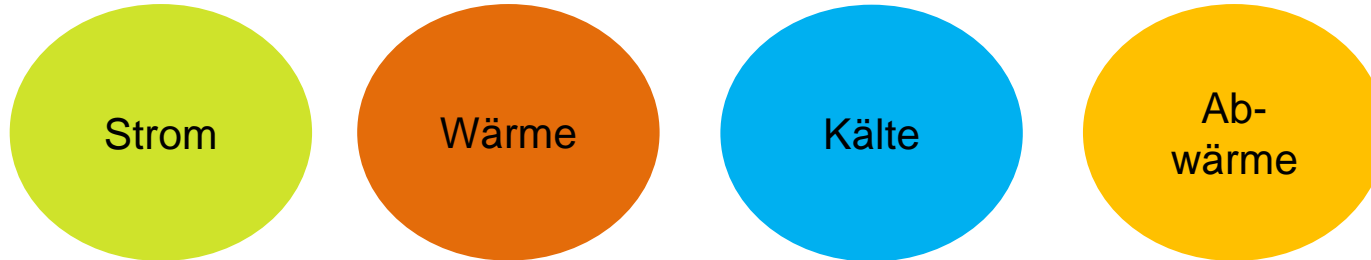
Zielgruppen

- alle Unternehmen mit nennenswertem Strom-, Kälte- und Wärmebedarf
- bspw. ab 50.000 € Kosten/ 150 T kWh Strom pro Jahr



Wie wir umsetzen

Bisher:



Ziel: Verringerung Strombezug / Energieeffizienz

Vorgehensweise:

Komplexe Betrachtung des Strom- und Wärme- und Kältebedarfs

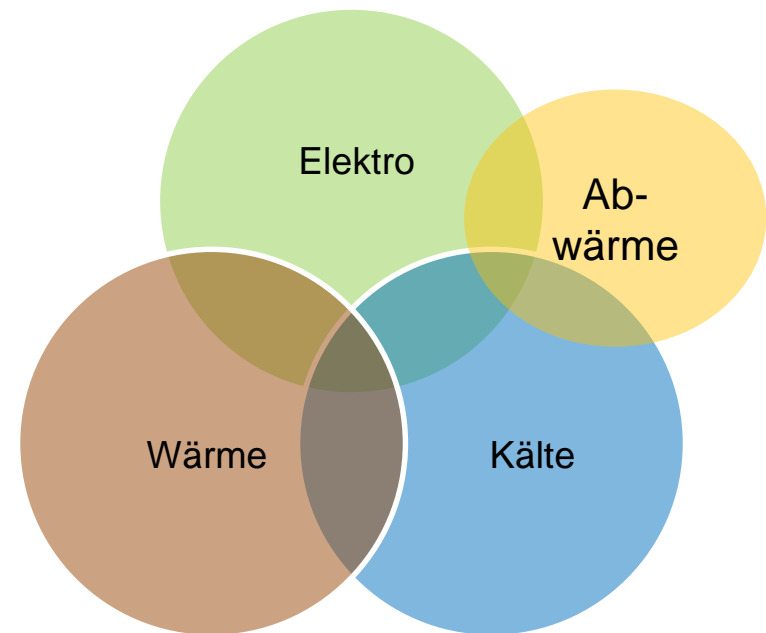
Kombinieren verschiedener Bedarfe

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

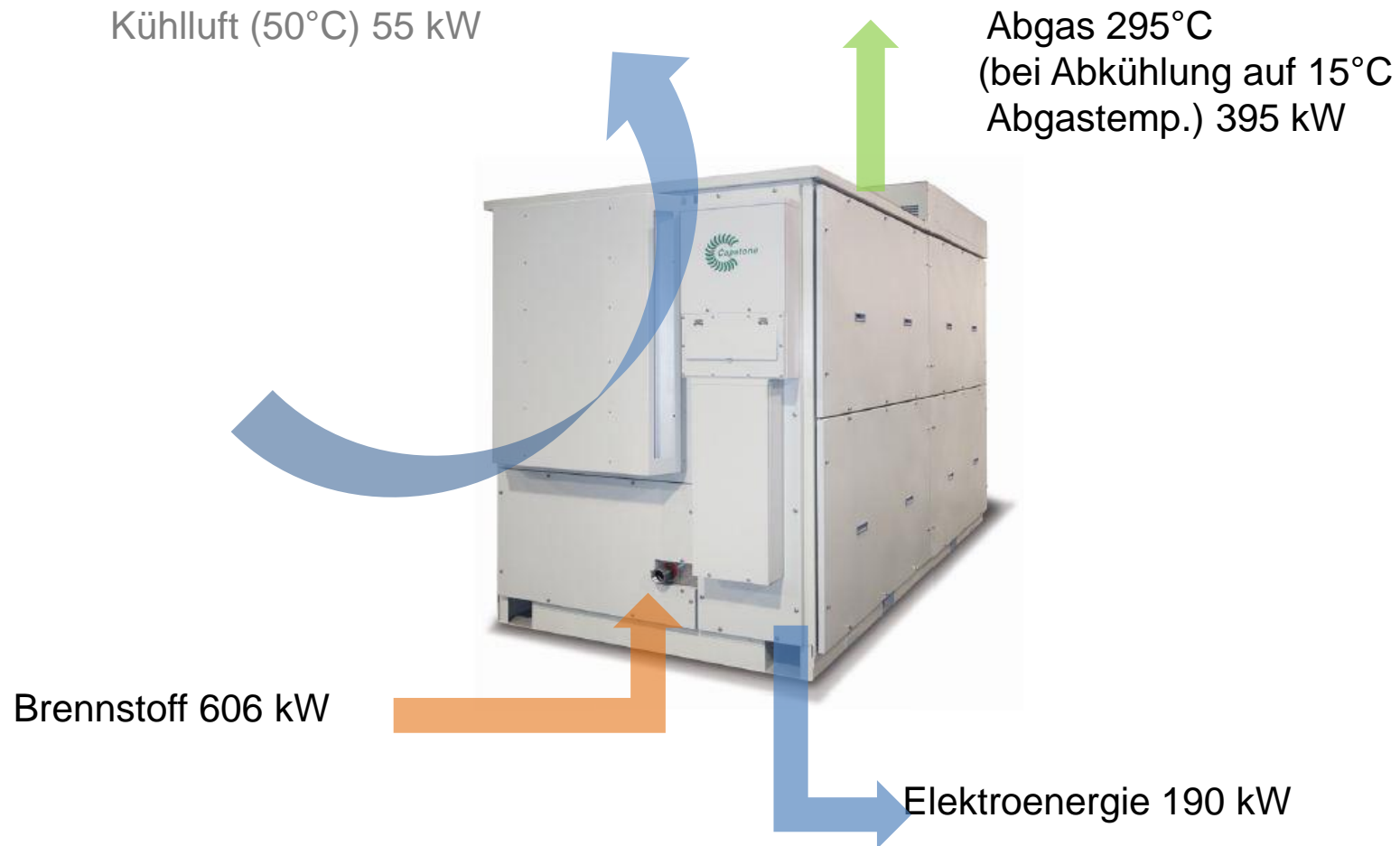
- **C600-C1000** Erdgas / LNG / Biogas



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

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

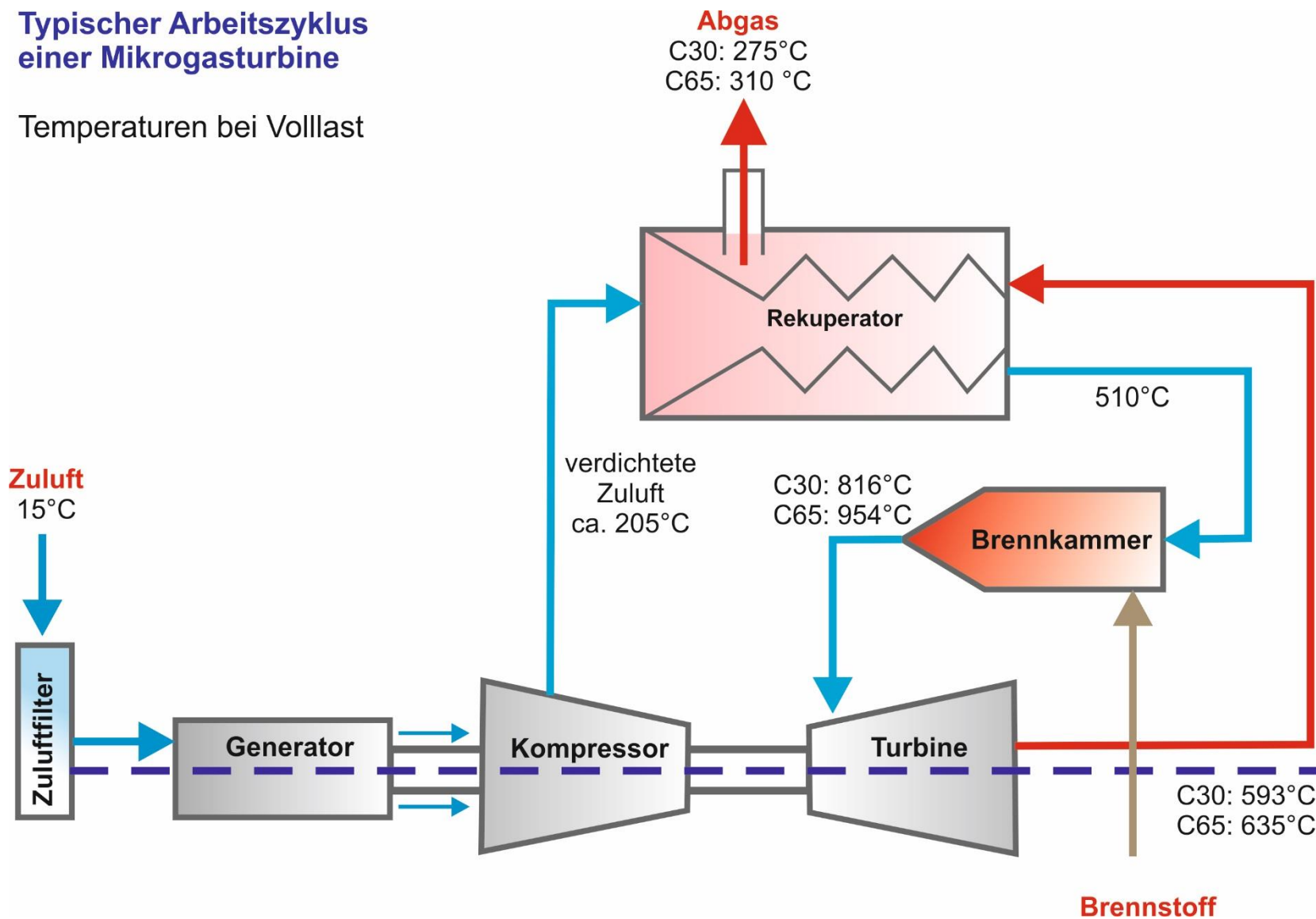
Beispiel: Mikrogasturbine C200



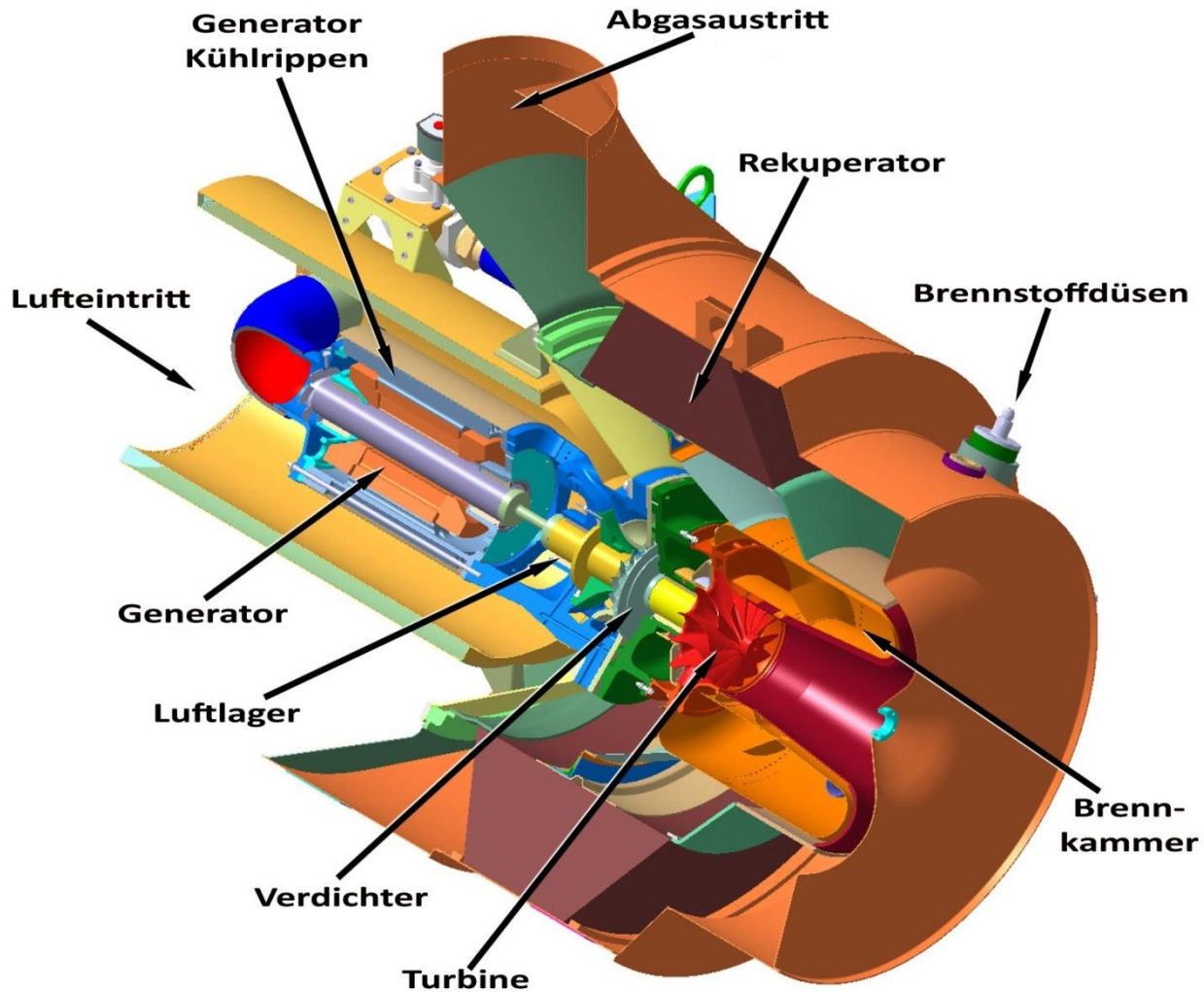
Aufbauschema und Arbeitsparameter

Typischer Arbeitszyklus einer Mikrogasturbine

Temperaturen bei Vollast



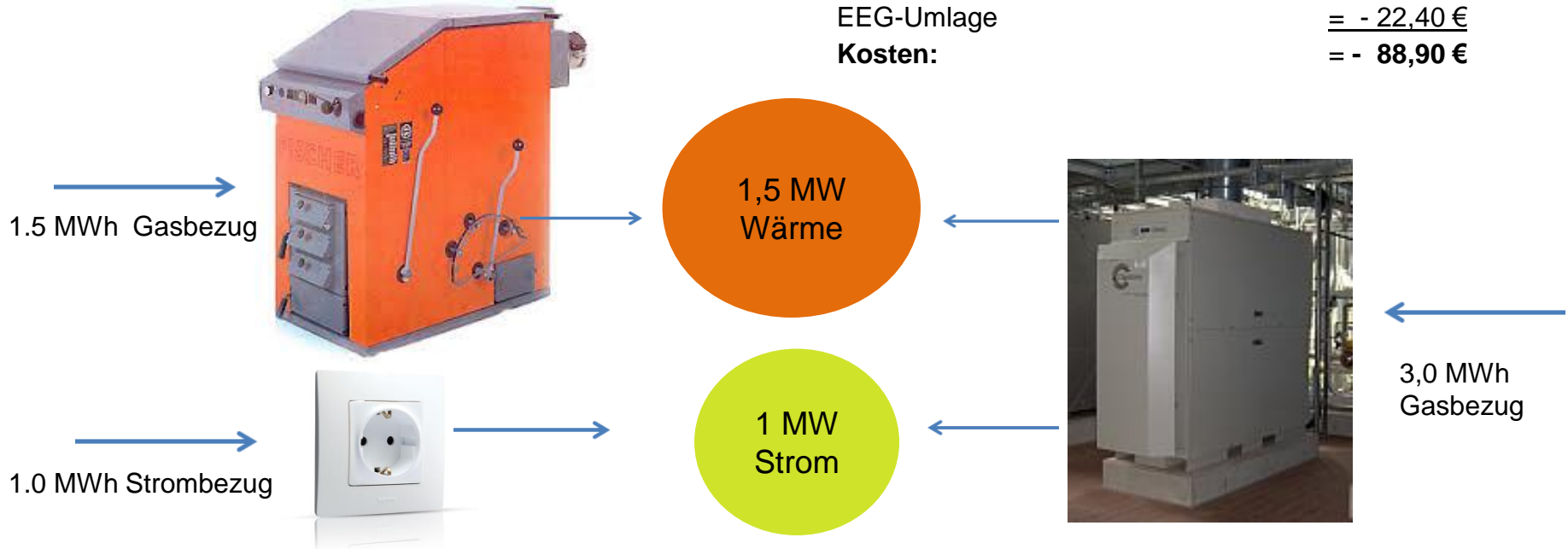
Schnittbild einer MGT C200



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 €**



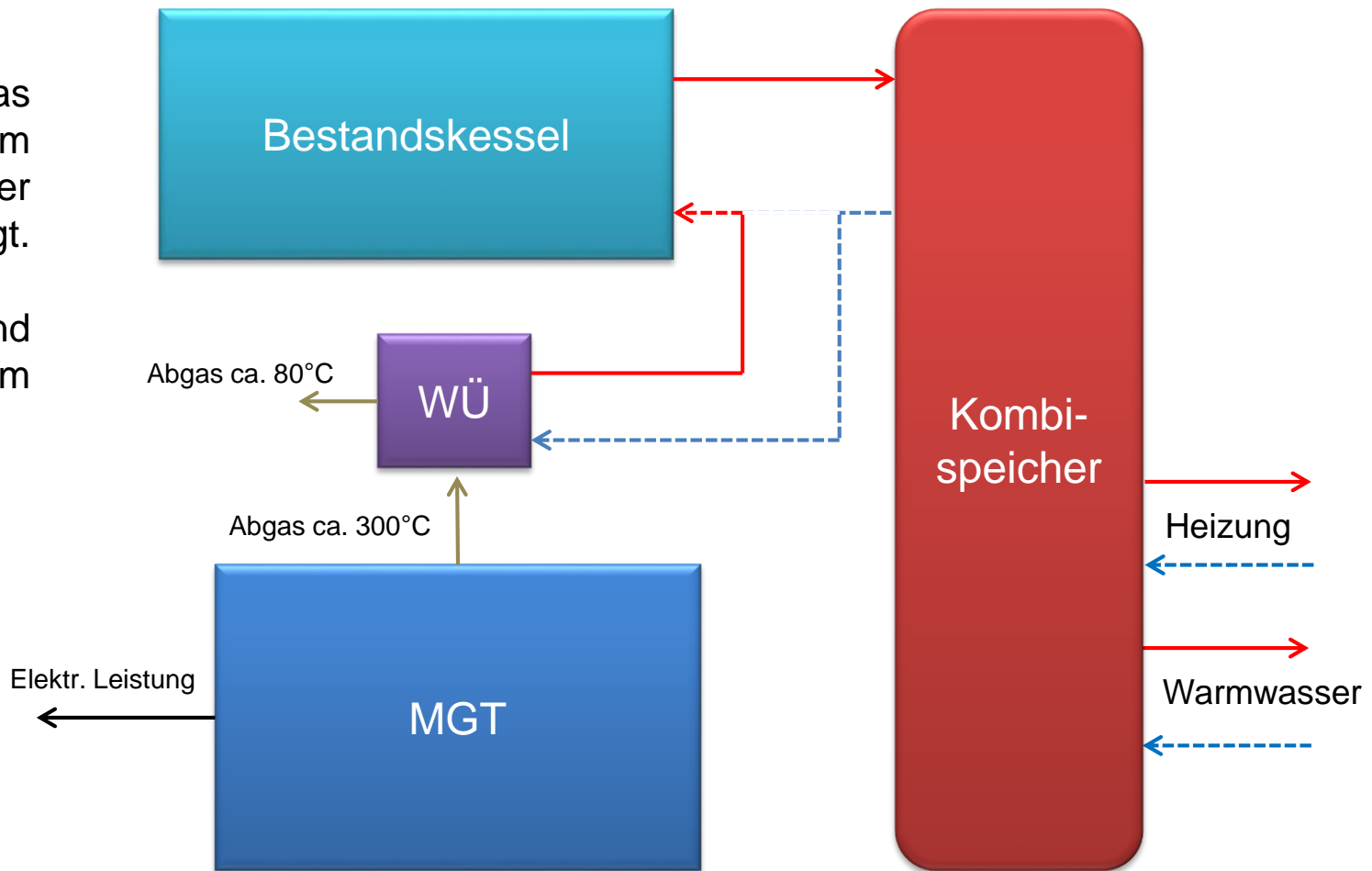
Pro eigenerzeugter MWh Strom können 144 €* gespart werden. Dafür müssen aber die Wärmeabnahmen gegeben sein bzw. geschaffen werden!

***) 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

Dollarkurs (1 € =

1,10

\$

Wärmepreis**

-

Ct/kWh

Abgastemperatur

60

°C

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

** (falls Abweichend vom Gaspreis)

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	€
Technische Daten		
Brennstoffeinsatz Hi	192	kW
elektr. Leistung	50	kW
therm. Leistung	104	kW
Gesamtwirkungsgrad	80	%
Energieerzeugung		
Strom	300.000	kWh
Eigenverbrauch	270.000	kWh
Wärme	623.200	kWh
Brennstoffdaten		
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
Summe	50.000	€/a
Erlöse		
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
Summe	96.100	€/a
Fazit		
Brennstoffkosten	50.000	€/a
Vollwartungskosten zzgl. Fahrtkosten	6.000	€/a
Betriebskosten	56.000	€/a
Erlös	96.100	€/a
Gewinn statisch	40.100	€/a
Amortisationszeit statisch	3,8	Jahre
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 €

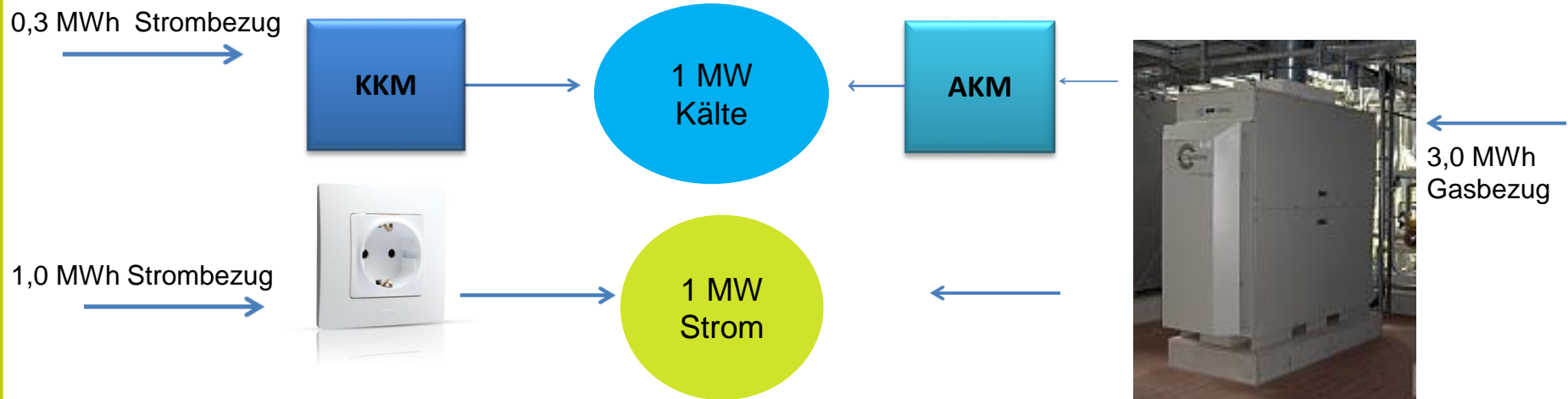
Mineralölerstattung a 0,55 Ct/kWh = **16,50 €**

KWK-Vergütung a 4,0 Ct/kWh = **40,00 €**

Wartung KWK = - 18,00 €

EEG-Umlage = - 22,40 €

Kosten: = - **88,90 €**



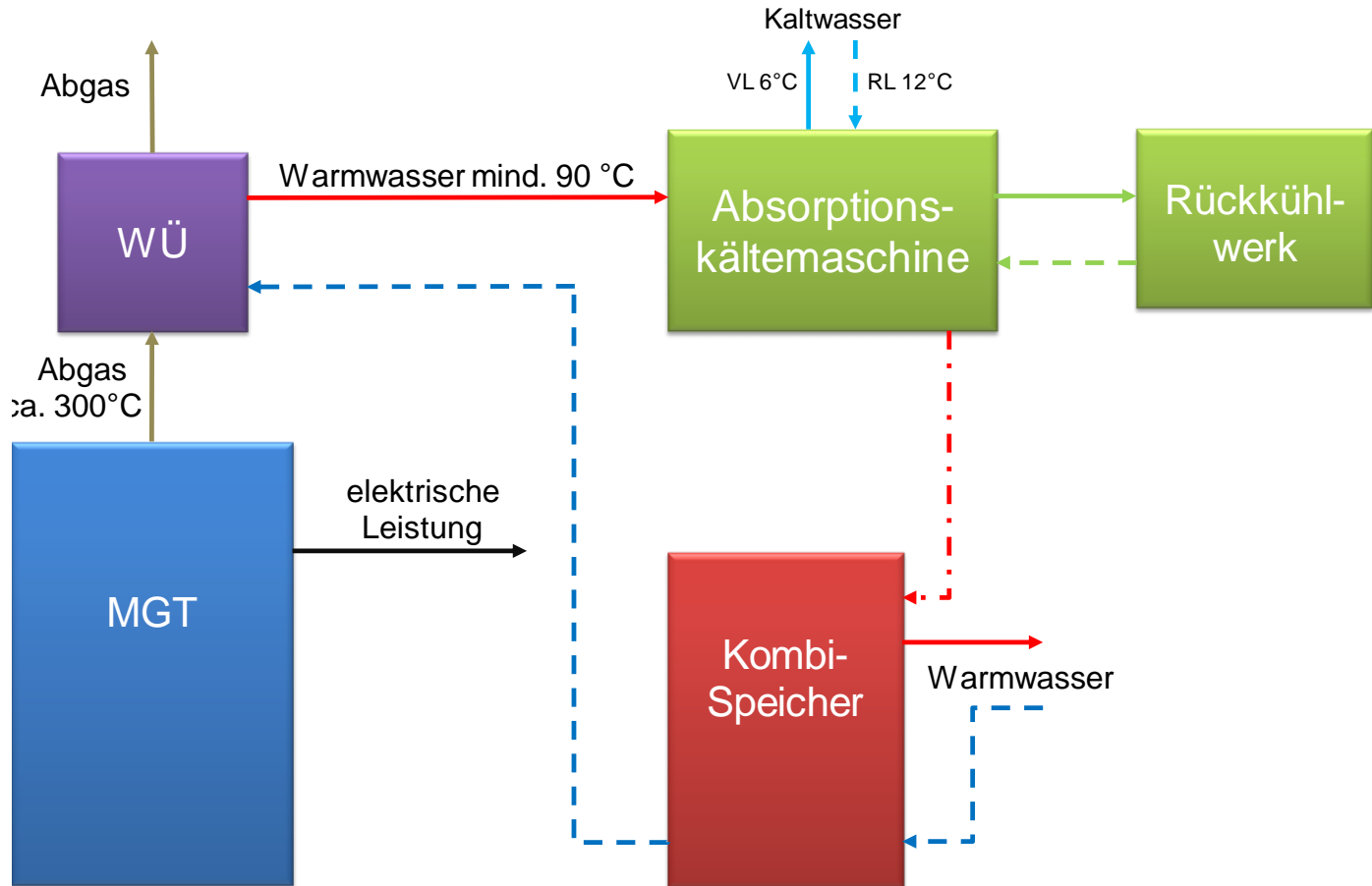
Anbindungsmöglichkeiten der Mikrogasturbine

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.



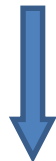
Sorptionskältemaschinen – Begriffsklärung

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

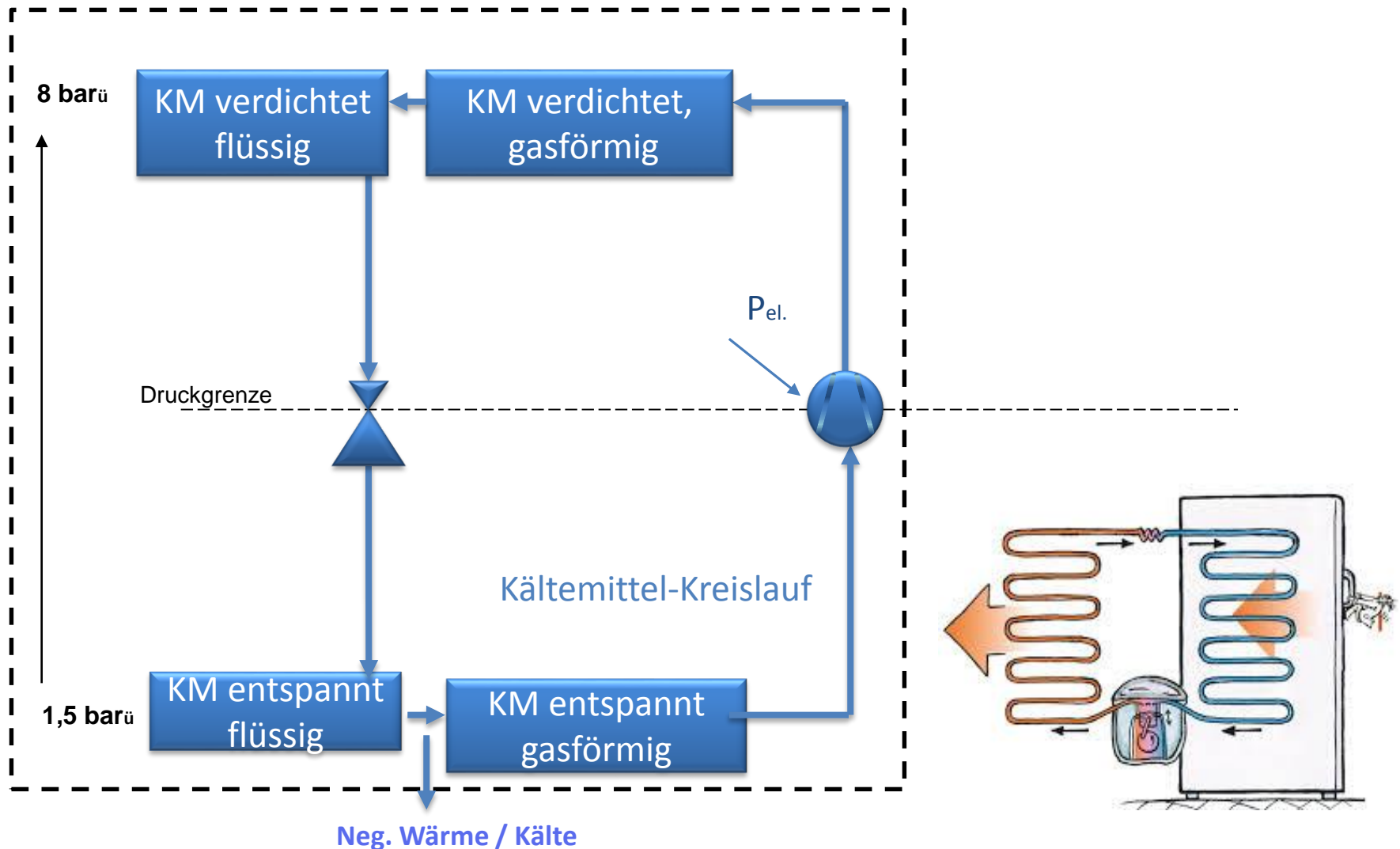
NH₃

LiBr

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

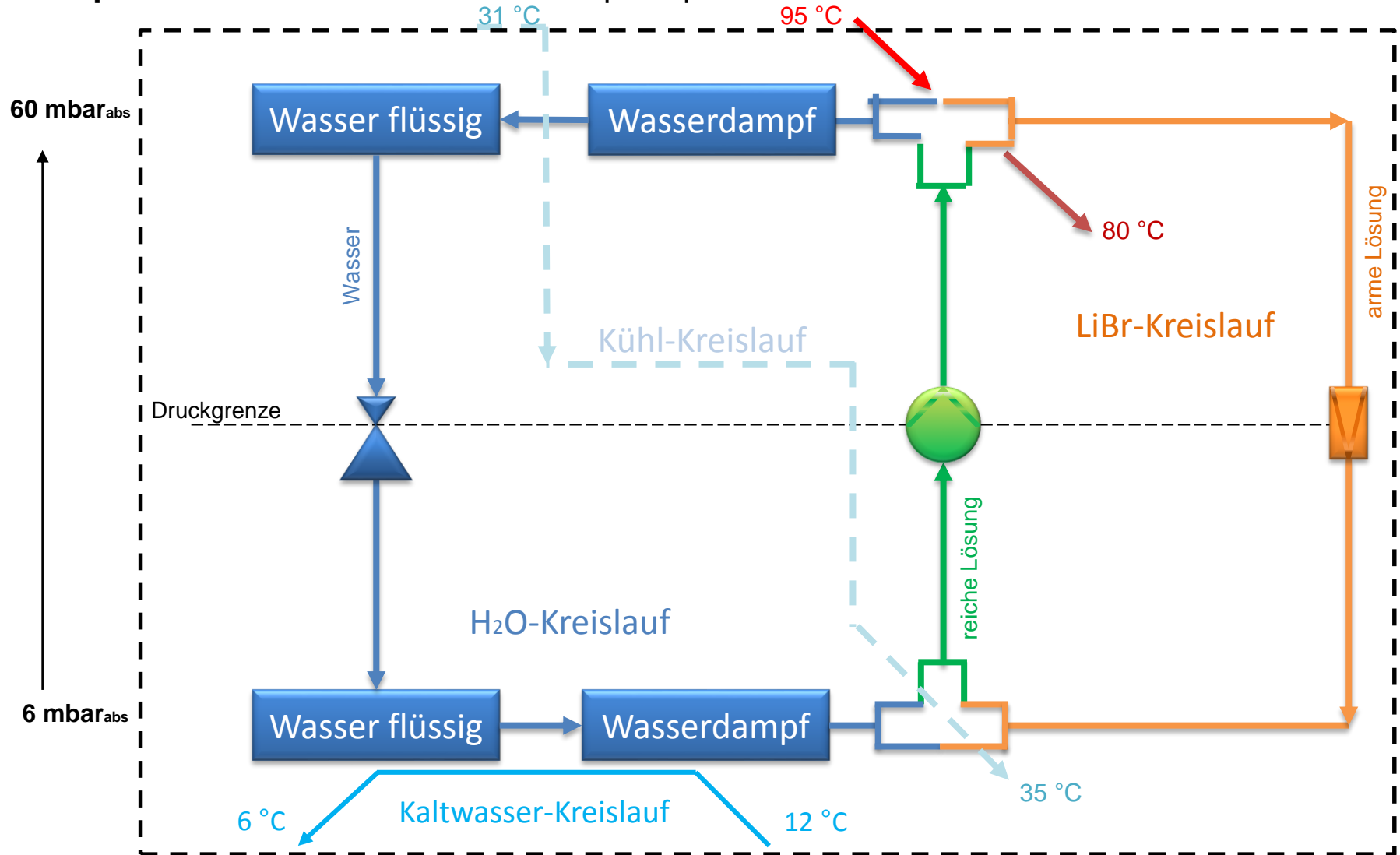
Theorie Kälteerzeugung – KKM

Kompressionskältemaschine – typischer Kälte-Kreisprozess (Kühlschrank)



Theorie Kälteerzeugung – AKM (LiBr)

Absorptionskältemaschine – Funktionsprinzip stark vereinfacht:



Absorptionskältemaschinen – NH₃ und LiBr

	LiBr - AKM	NH ₃ - 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 – H₂O/LiBr



- Arbeitsstoffpaar H₂O/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_{peak}

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



Bsp. 1 – Produktionsstätte für Leiterplatten

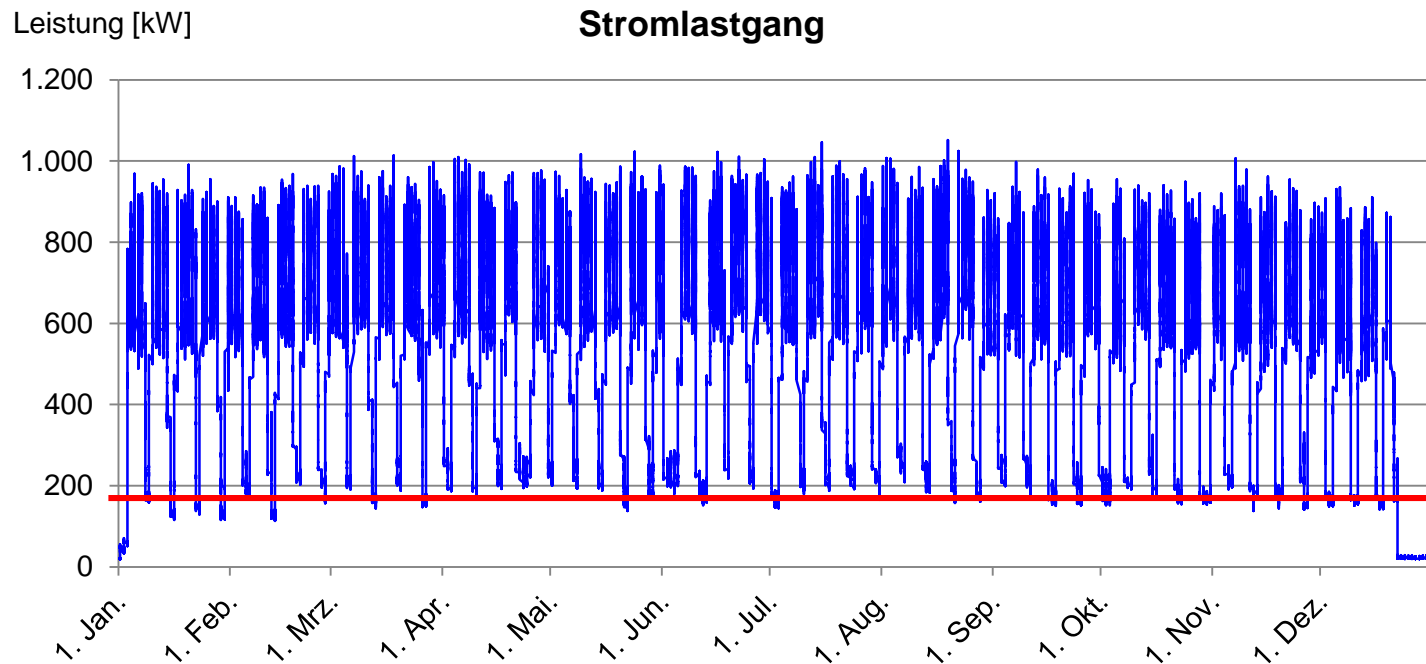
Bestandskälte:

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

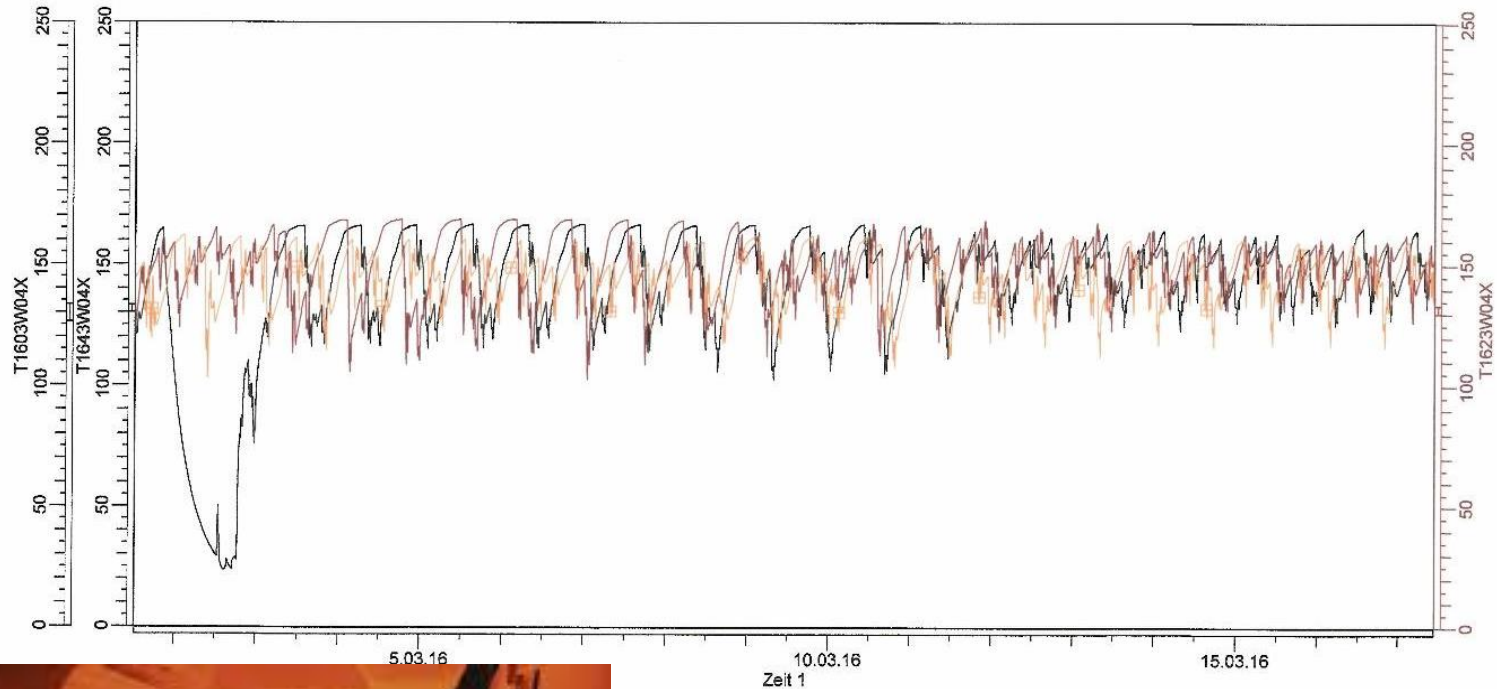
vermiedener Strombezug für KKA ca. 500 kW

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

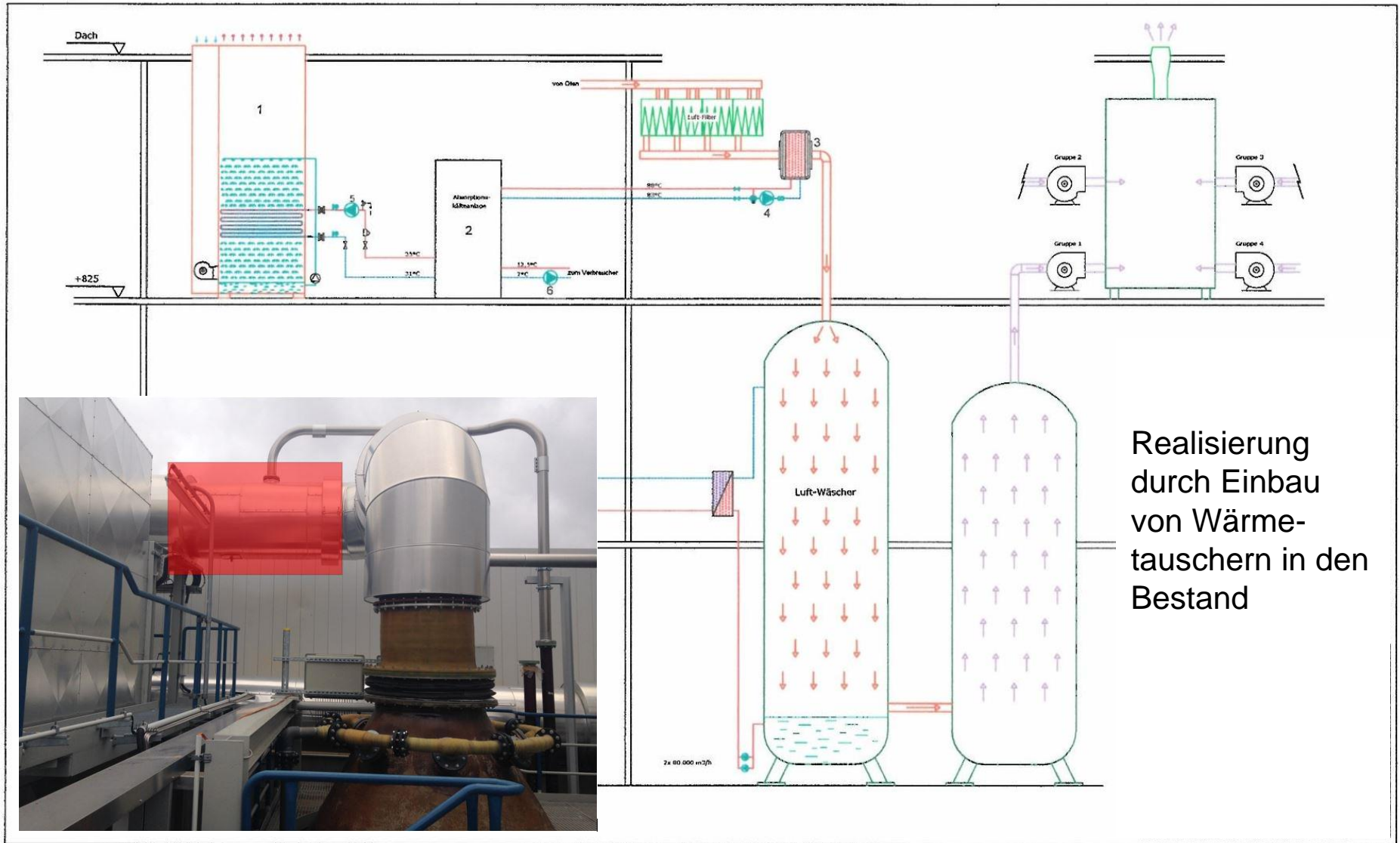


Abgasvolumenstrom: 12* ca. 22.000 Nm³/h

Abgastemperatur: ca. 130 °C

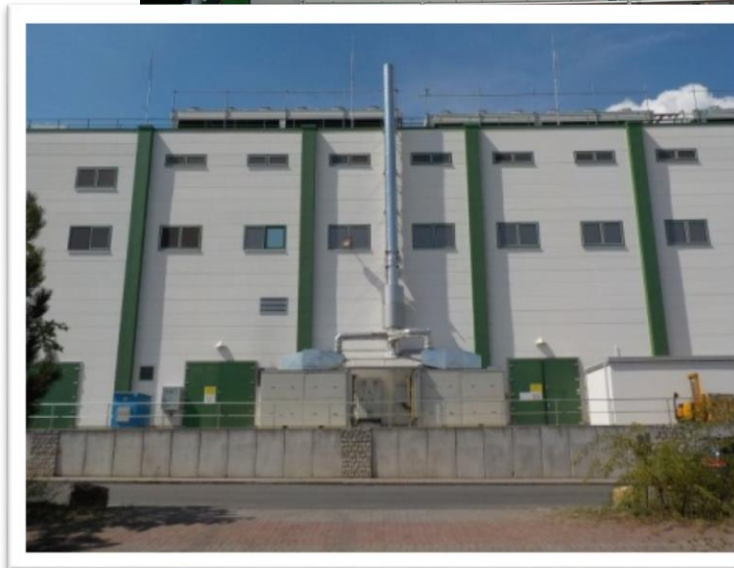
Druckverlust: max. 5 mbar

Bsp. 4 – Abwärmenutzung bei der Glasherstellung



Beispielanlagen in der Lebensmittelindustrie

Anlage: 2 x C200 (290 kW_{th})
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

