



**SIEMENS**  
*Ingenuity for life*

Foto: P. Nowack penofoto.de – Fotolia, Luc Beziat-Cultura - plainpicture

10. Niedersächsische Energietage: Think Big! Sektorkopplung visionär, 7. bis 8. November 2017 in Hannover

## Innovatives Power to Heat Anlagenkonzept Strom – Gas – Wärme koppeln

**Uwe Lenk**

Siemens AG, Regionalgesellschaft Deutschland, Power and Gas – Sales and Customer Operations

uwe.lenk@siemens.com  
Mobil.Nr.: 0174 15 36084

# Übersicht

## Struktur und Inhalt

- Motivation – Stromproduktion im Wandel
- Energiewende – Auswirkungen auf die Stromproduktion
- Wärmepumpe – Nutzung abgeregelter Stromproduktion
- Innovation – Anlagenkonzept zur Sektorenkopplung
- Diskussion – Wie wollen wir die Zukunft gestalten?

# Motivation – Stromproduktion im Wandel

## Was hat sich seit dem 30. Juni 2011\*) verändert?

*Energiewende – Reduktion der CO<sub>2</sub>-Freisetzung*  
*Randbedingungen – ökonomisch, ökologisch und sozial verträglich*

### Aktuelle Situation

- Energiewende bisher „Wende bei der Stromproduktion“
- Sinkende Preise an der Strombörse und Rückgang der Volatilität
- Steigende Strompreise für Haushalte und Gewerbe
- Höhere Fördersätze für Kraftwärmekopplungsanlagen (KWKG)
- Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende („Smart Meter“)

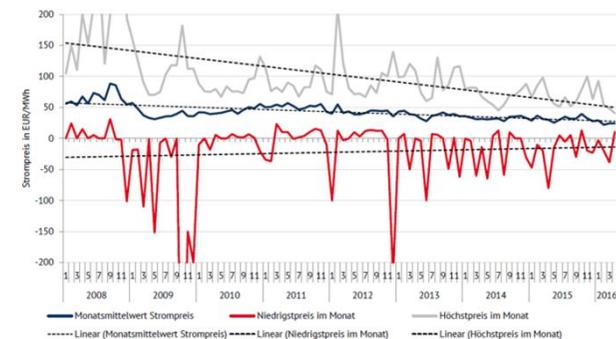
### Suche nach zukunftsfähigen, kostengünstigen Lösungen

- Reduktion Energiebedarf (Effizienzsteigerung, Wärmedämmung, ...)
- Integration Wind- und PV-Stromproduktion (Power to Heat, E-Mobilität, ...)
- Mieterstrommodell – Energiewende von „unten“
- Pilotprojekte zur Energiespeicherung (Wärme, Strom, Wasserstoff, Methan, Methanol, ...)

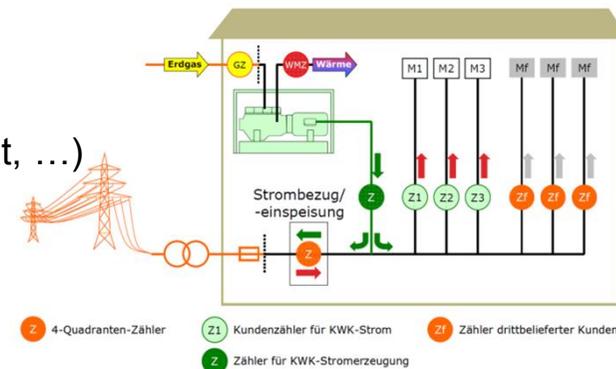
### Entscheidungsproblem

Vielzahl an Möglichkeiten, hohe Komplexität, große Unsicherheit, steigende Kosten und sinkende Margen

\*) Verabschiedung Gesetzespaket zur Energiewende



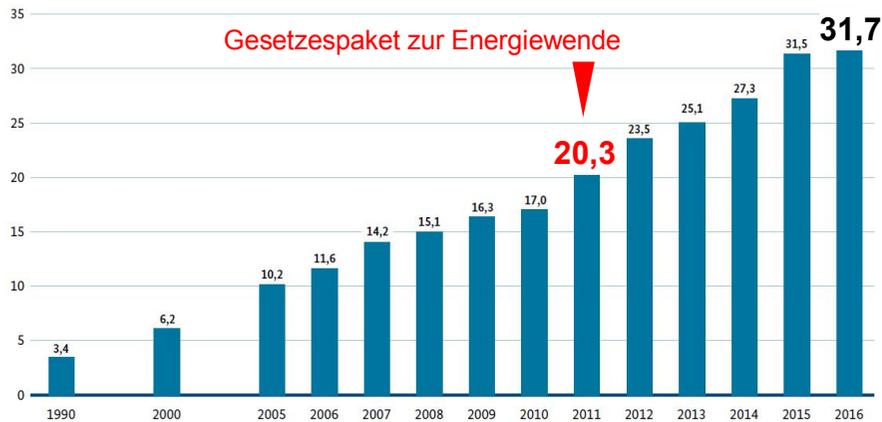
**Preisentwicklung an der Strombörse**



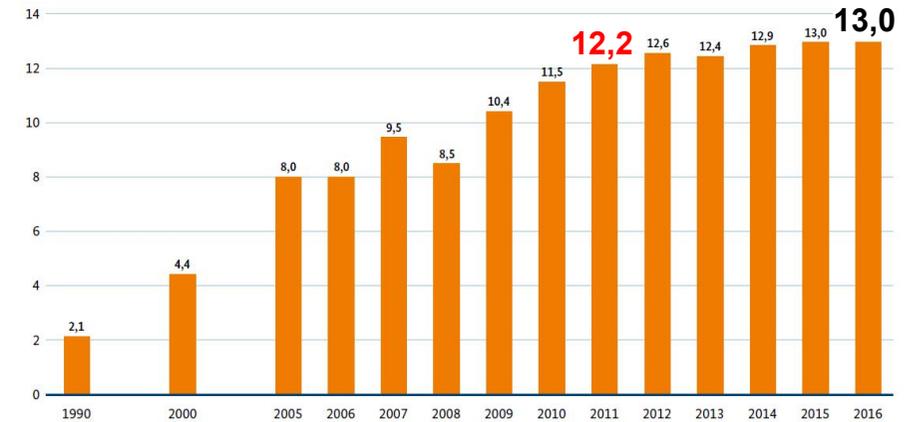
**Eigenstromnutzung**

# Anteile der erneuerbaren Energien in den Sektoren Strom – Wärme – Verkehr

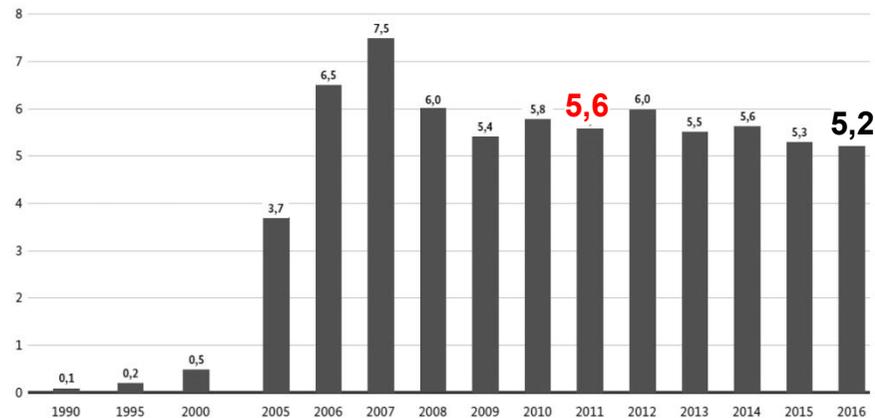
Anteile des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stromes am Bruttostromverbrauch in Prozent



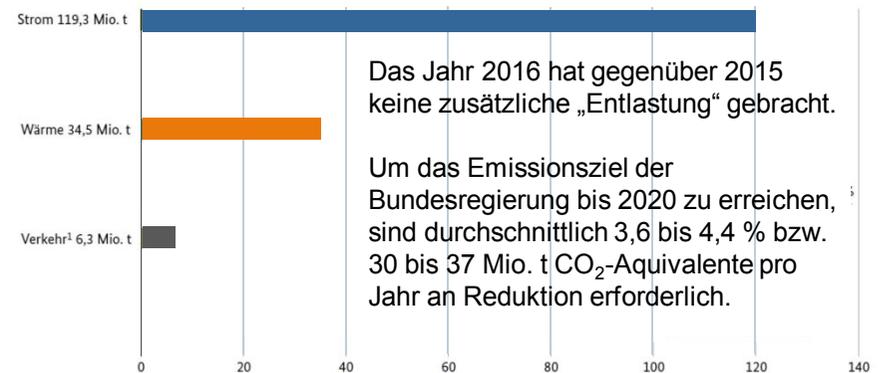
Anteile erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch in Prozent



Anteile erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch Verkehr in Prozent



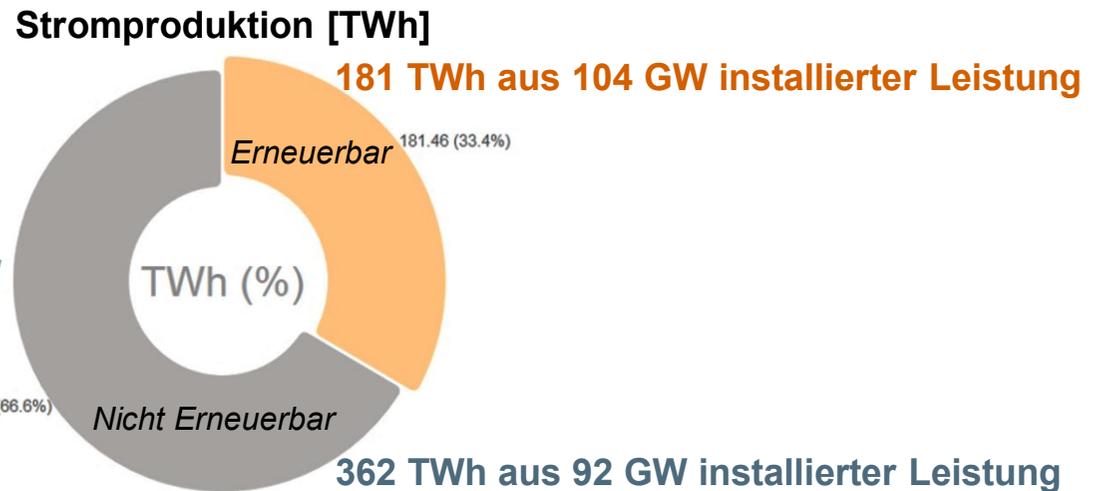
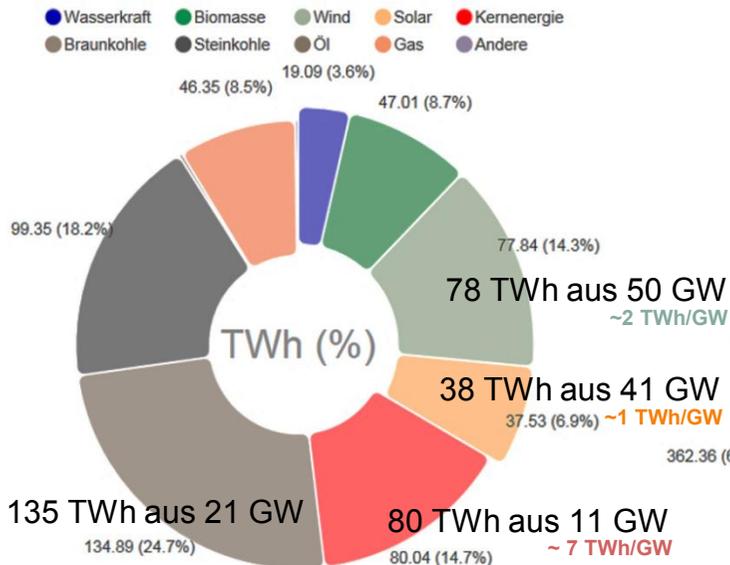
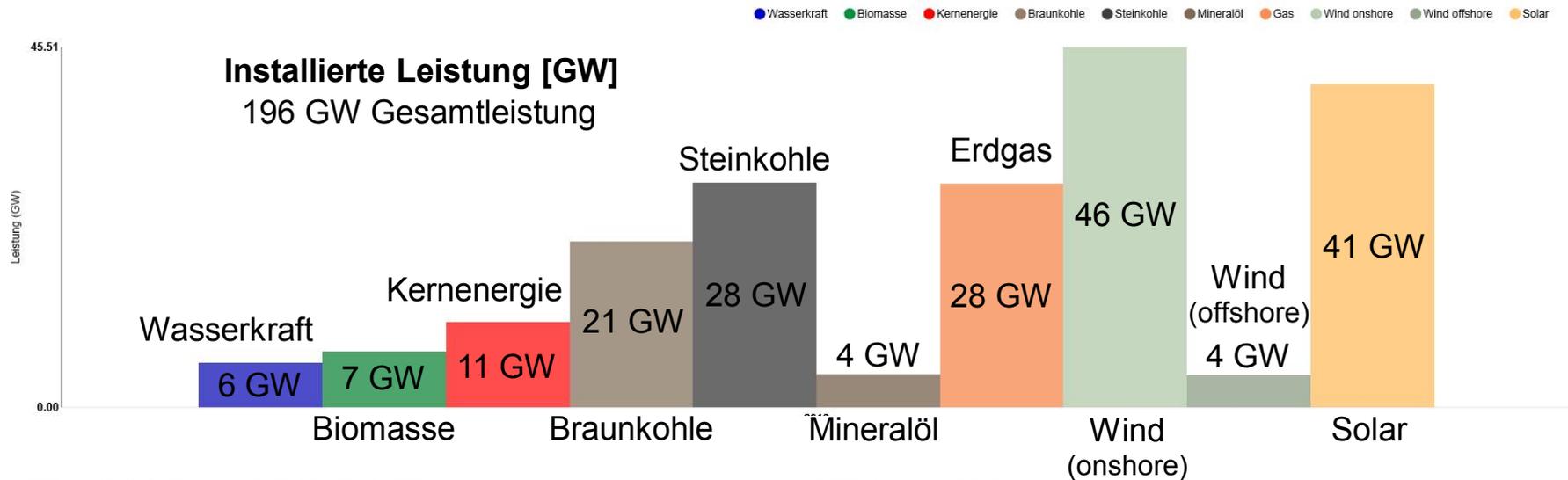
Vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energien im Jahr 2016 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten



Quelle: BMWi, Erneuerbare Energien in Zahlen, Stand: September 2017, Abbildungen 7, 15, 22 und 25

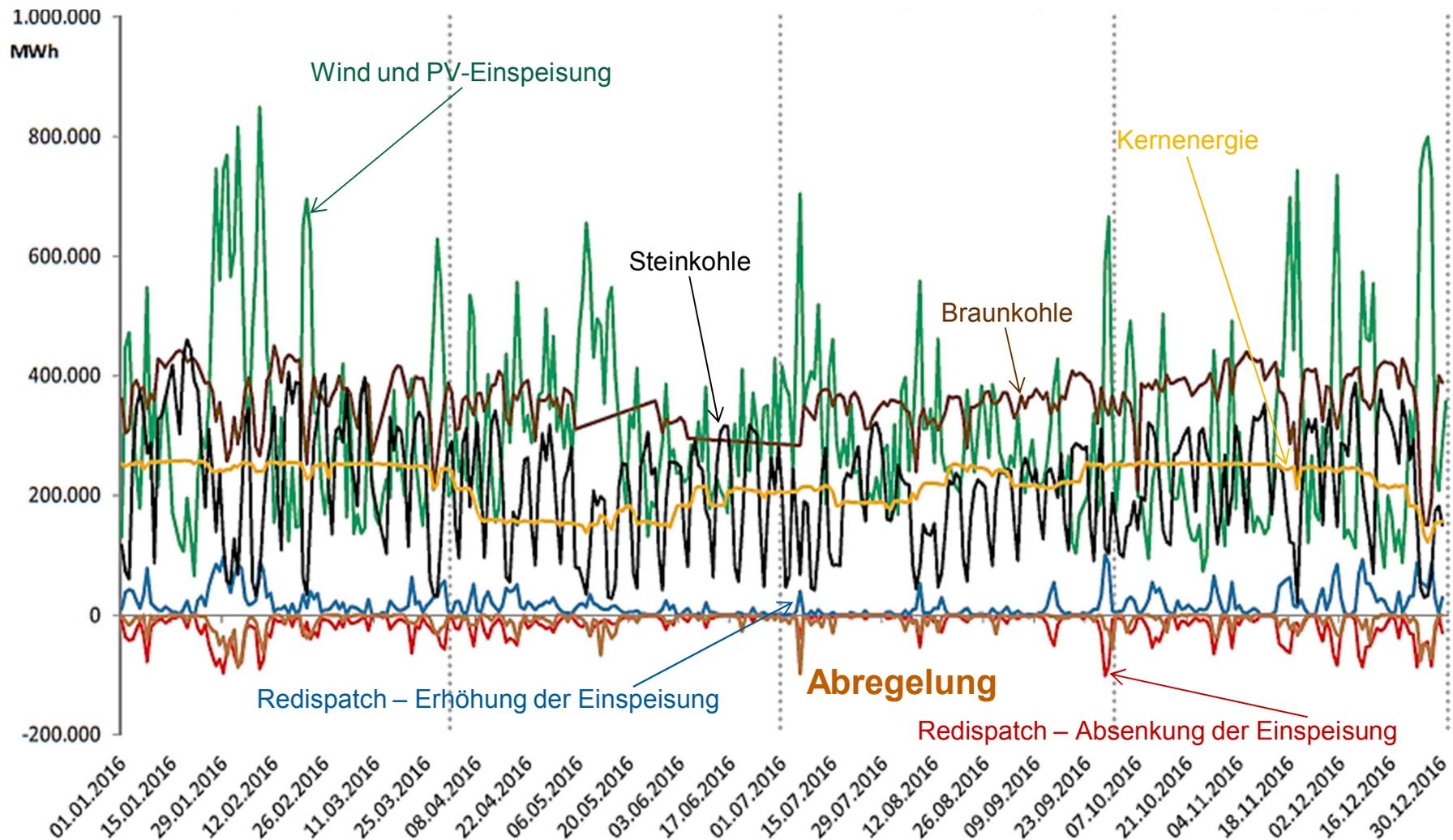
# Stromversorgung – Deutschland im Jahr 2016

## Installierte Leistung und Stromproduktion



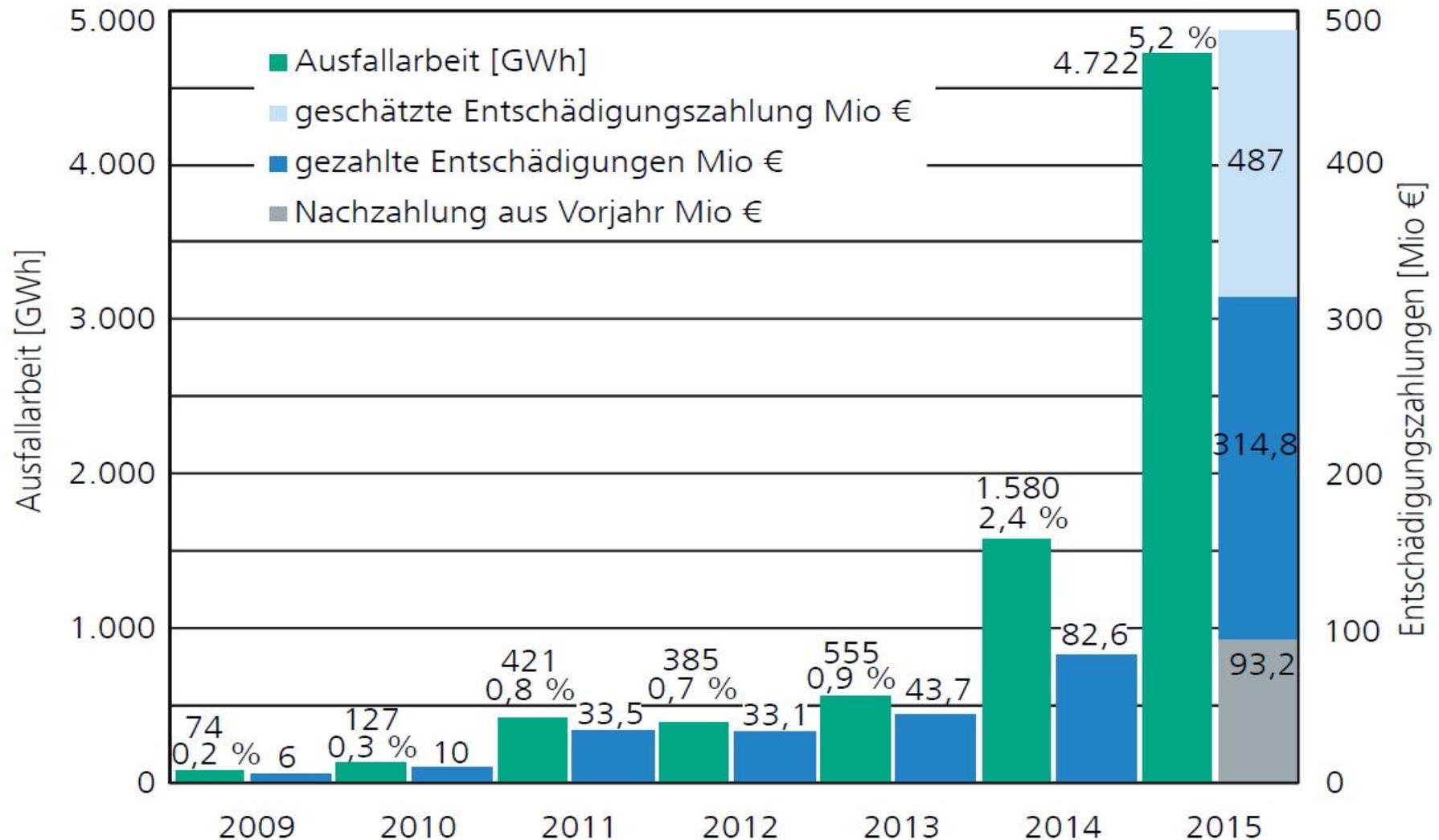
Quelle: AGEE, BMWi, Bundesnetzagentur, Stand: 2. Februar 2017

# Tägliche Erzeugungsmenge je Energieträger und Redispatchmaßnahmen im Jahr 2016 in MWh



Quelle: Bundesnetzagentur, Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen, Bonn, Stand: 29. Mai 2017

## Ausfallarbeit und Entschädigungszahlungen für abgeregelte Stromproduktion aus Windenergieanlagen



Quelle: Fraunhofer IWES, Windenergiereport – Deutschland 2016, Kassel, 2017

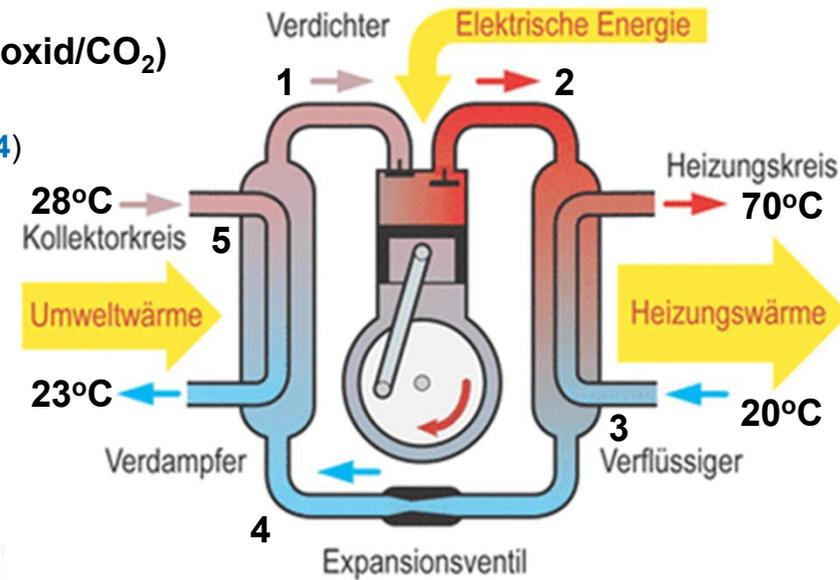
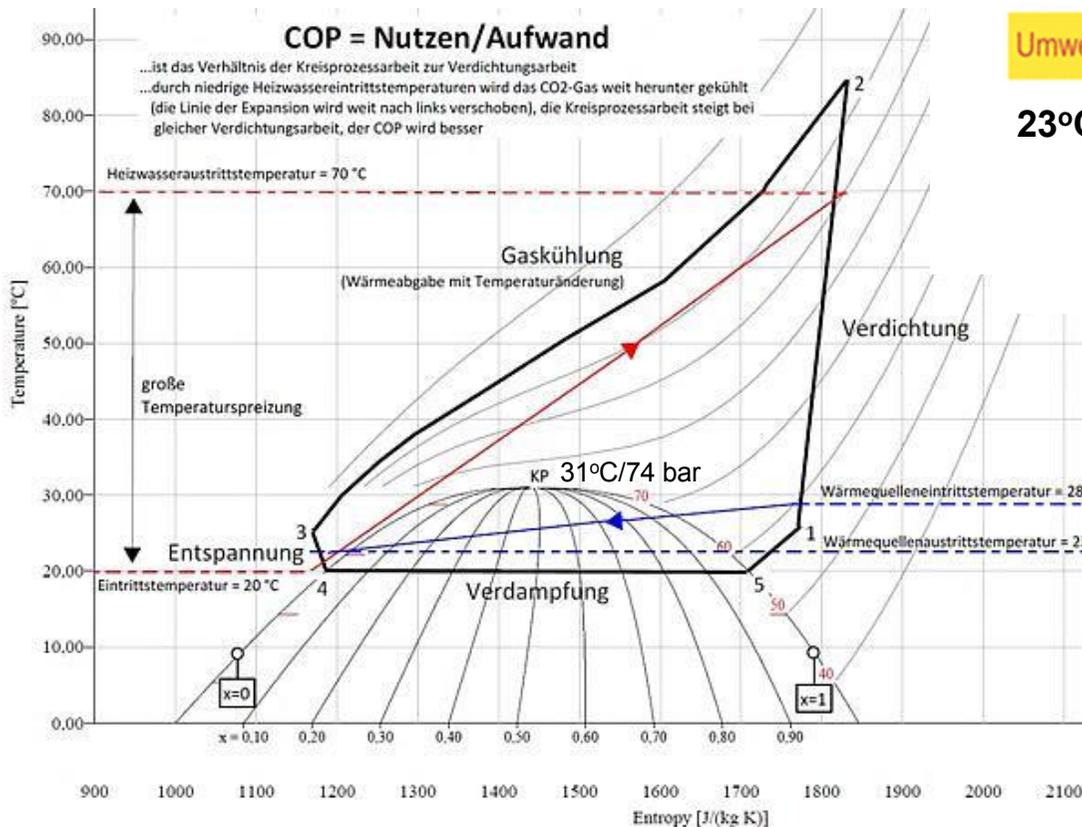
# Wärmepumpe – Nutzung abgeregelter Stromproduktion Kreisprozess, Funktionsprinzip und Temperaturbereiche

## Temperatur/Entropy-Diagramm für R744 (Kohlendioxid/CO<sub>2</sub>)

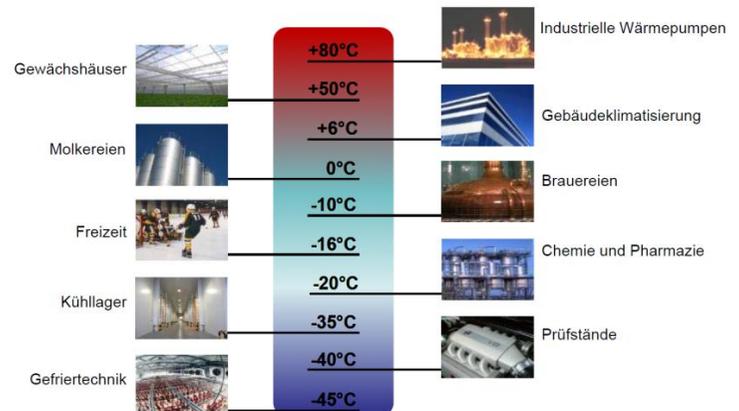
Der Buchstabe „R“ steht für den englischen Begriff „Refrigerant“

Die Kennzahl besteht in den meisten Fällen aus drei Ziffern (z.B. 744)

Beispiele: R718 (Wasser/H<sub>2</sub>O) oder R717 (Ammoniak/NH<sub>3</sub>)



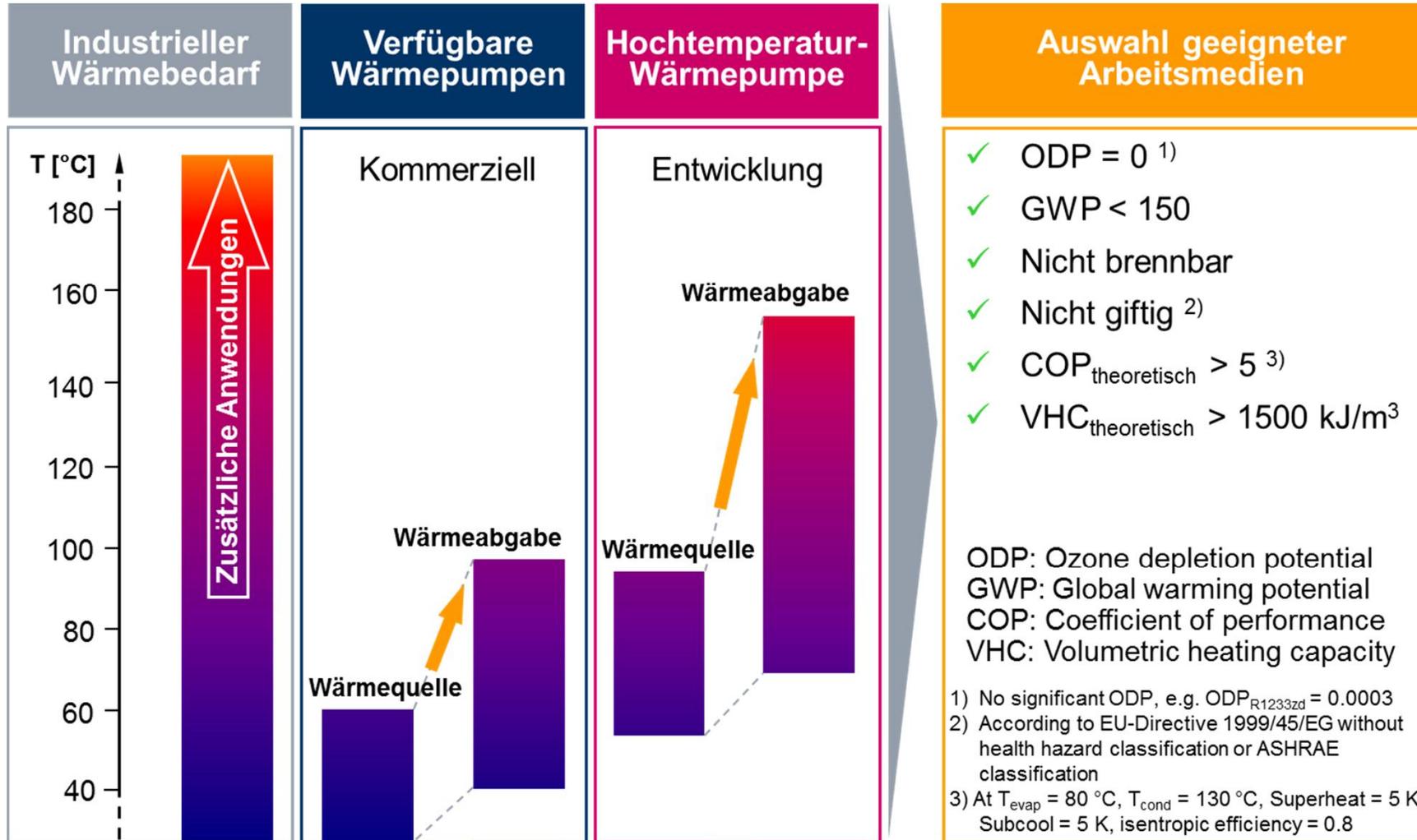
## Temperaturbereiche



# Innovation – Hochtemperaturwärmepumpe

## Vorraussetzung: geeignete Arbeitsmedien

Höhere Wärmeabgabetemperaturen erfordern andere Arbeitsmedien für Wärmepumpen



## Demonstrator – Hochtemperaturwärmepumpe

Ausgewählte Arbeitsmedien wurden experimentell bewertet



### Technologiedemonstration

- Entwicklungsstart im Jahr 2011
- Experimentelle Evaluierung bis Anfang 2014
- Betrieb mit verschiedenen Arbeitsmedien (z.B. LG6, MF2, R1336mzz, R1233zd , ...) <sup>1,2</sup>
- Validierung des Betriebskonzeptes im Labor

### Experimenteller Betriebsbereich

- Thermische Leistung bis zu 12 kW
- Wärmequellentemperatur bis zu 110 °C
- Wärmesenktemperatur bis zu 150 °C

### Fluidspezifische Betriebsmöglichkeiten

- Interner Rekuperator
- Ext. Wärmezufuhr auch bei kleinen Temperaturhüben

1) Kontomaris, DuPont, European Heat Pump Summit, Nuremberg, 2013

2) Bernadi, Honeywell, European Heat Pump Summit, Nuremberg, 2013

## Beispiel für ein potenziell geeignetes Arbeitsmedium

C6-Fluorketon:  $C_2F_5C(O)CF(CF_3)_2$  - "Novec 649" von 3M

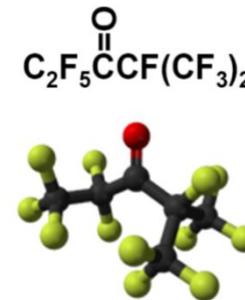
Fluorketone wurden ursprünglich als Ersatzstoff für Halon als Löschmittel entwickelt. <sup>1)</sup>

### Eigenschaften Novec 649

- klare, farblose und geruchlose Flüssigkeit im Temperaturbereich von -108 bis 49 °C
- nicht brennbar und thermisch stabil bis 300 °C
- kein Ozonabbaupotential (ODP = 0)
- Erderwärmungspotential wie CO<sub>2</sub> (GWP = 1)
- nicht toxisch
- nicht elektrisch leitend

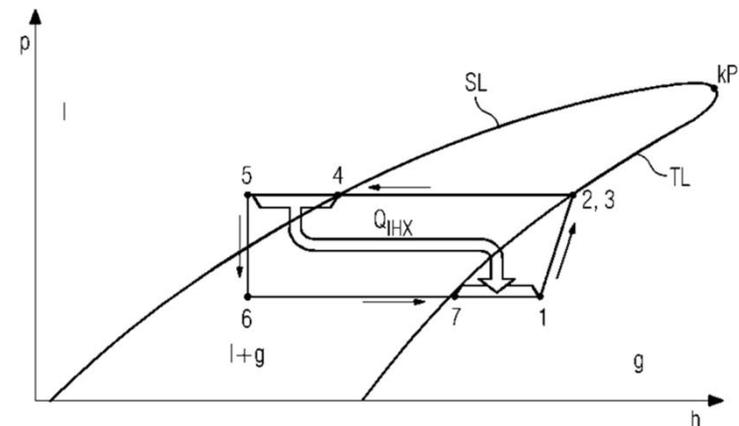
### Technische Merkmale Novec 649

- sehr gute Wärmetransporteigenschaften bei niedrigen Temperaturen
- keine korrosiven Eigenschaften
- hohe Betriebssicherheit
- keine Gesundheitsgefährdung
- umweltfreundlich



Schaltanlage

Kreisprozess im Druck-Enthalpie-Diagramm

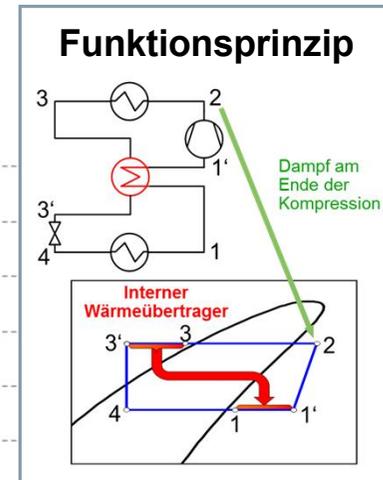
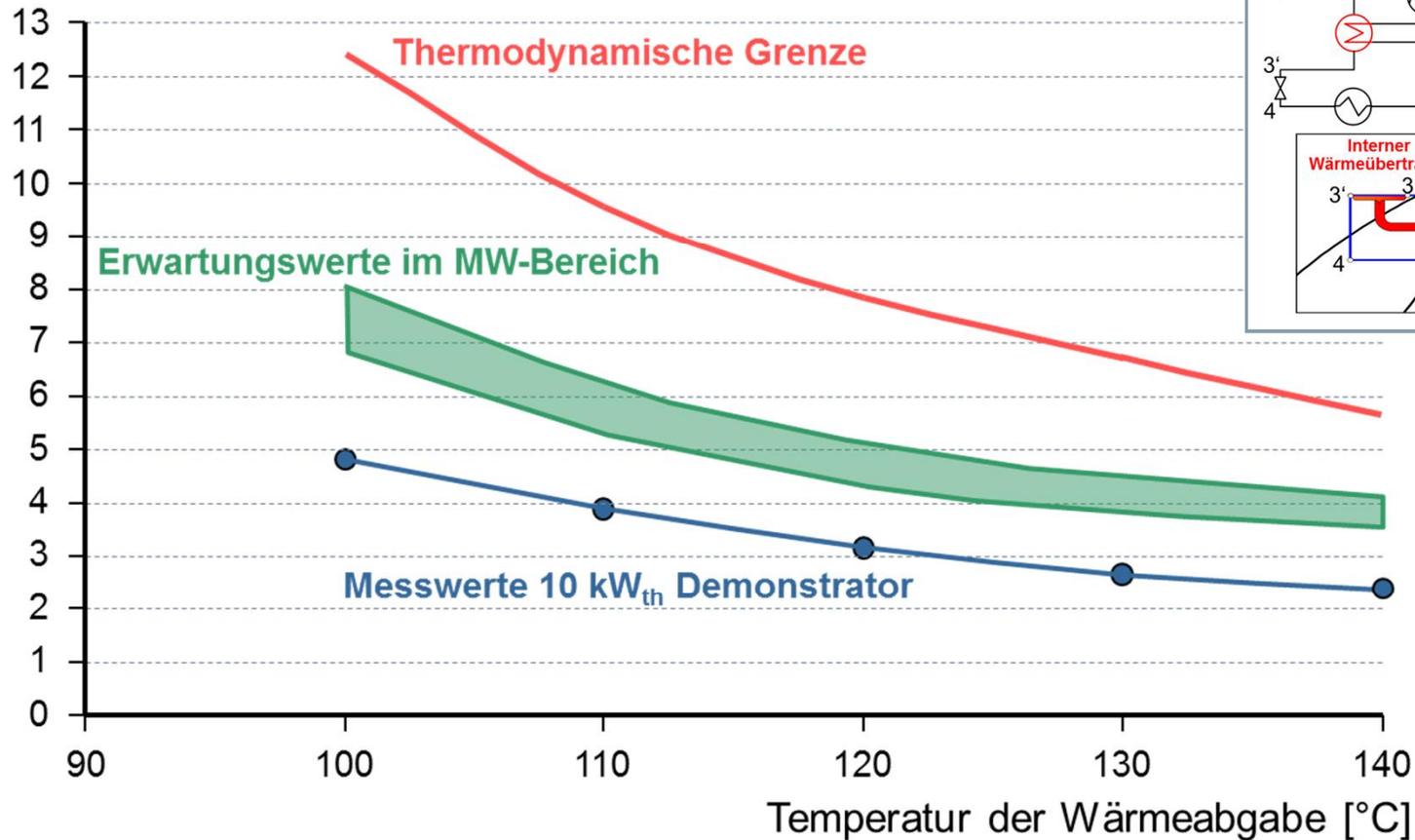


<sup>1)</sup> In Deutschland sind Halonlöschanlagen seit 1993 und in der EU seit 2004 verboten.

# Potenzialabschätzung für Anlagen im MW-Leistungsband

## Skalierung auf Basis des Hochtemperaturwärmepumpendemonstrators

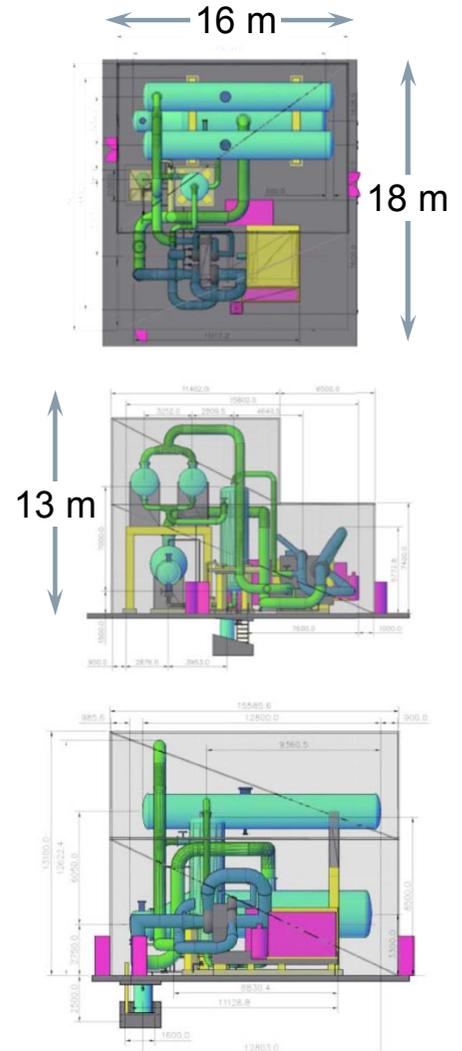
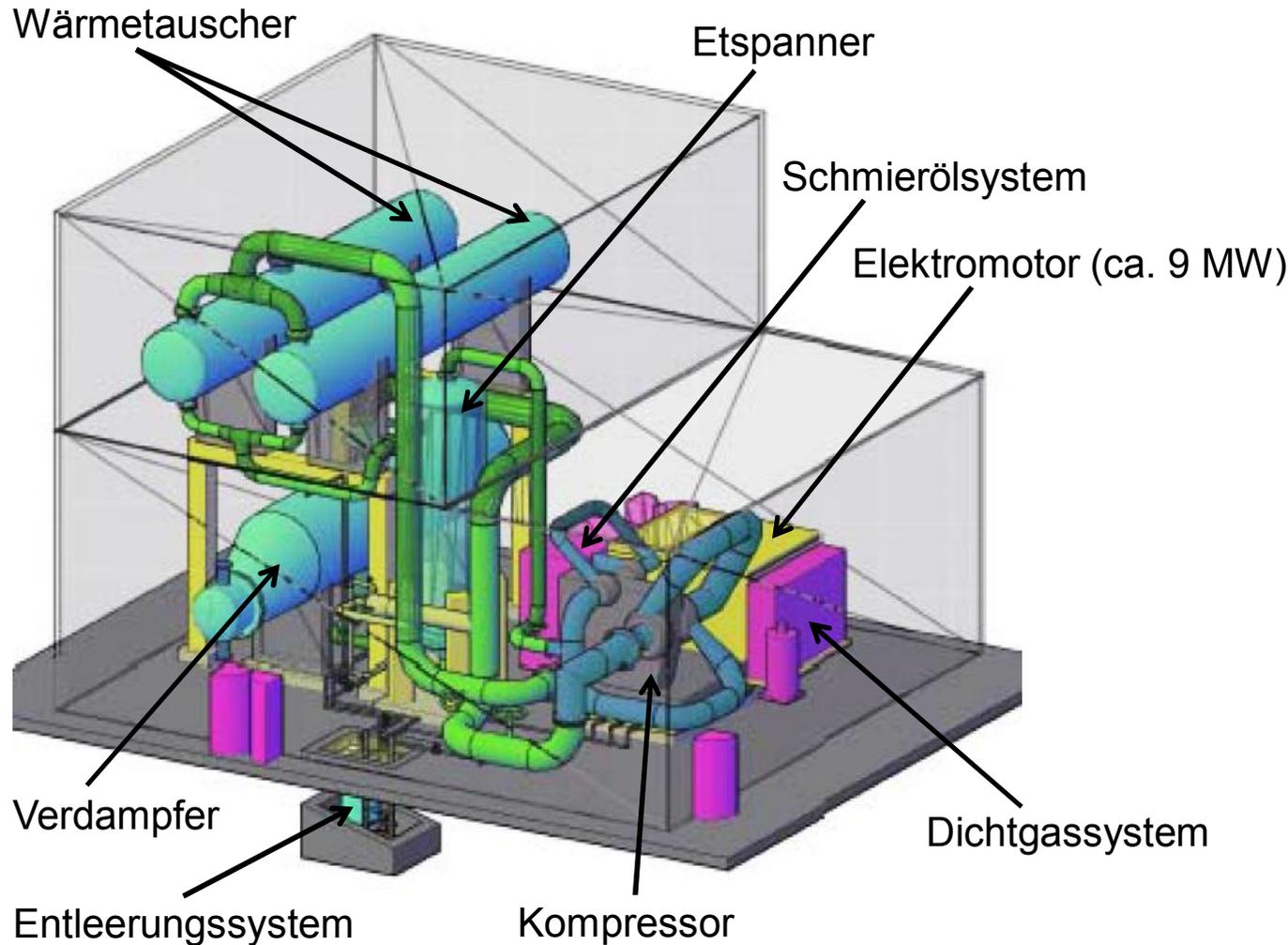
$$\text{COP} = \frac{\text{Wärmeleistung}}{\text{El. Antriebsleistung}}$$



Wärmequelle: 70°C  
COP: coefficient of performance (Leistungszahl)

# 3D-CAD Anlagenmodell Hochtemperaturwärmepumpe

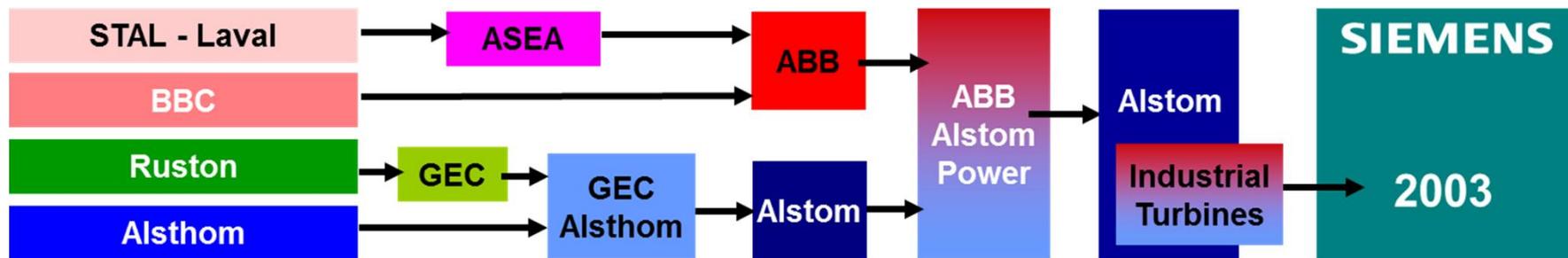
Beispiele: 25 MW<sub>th</sub>-Leistung



# 880 MW<sub>th</sub> – Wärmepumpenleistung installiert

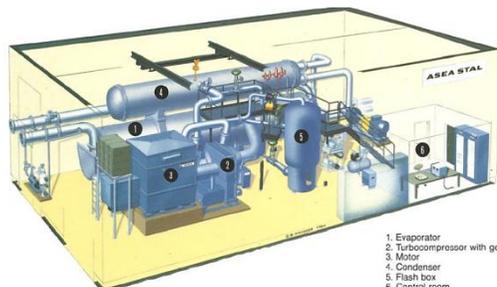
## 15 Jahre Betriebserfahrung mit industriellen Wärmepumpen

2003 hat Siemens das Wärmepumpengeschäft in Schweden als Teil des Portfolios des Industrieturbinen- und Industriekraftwerksgeschäftes von Alstom mit übernommen. Zum Zeitpunkt der Übernahme waren 50 Wärmepumpenanlagen in Betrieb und im Service.



### Beispiele für Wärmepumpenanlagen

3D-CAD Anlagenmodell



Based on the HPC-compressor

1. Evaporator
2. Turbo-compressor with gear
3. Motor
4. Condenser
5. Flash box
6. Control room

Stockholm, Anlage „Ropsten“  
100 MW, 4 Units



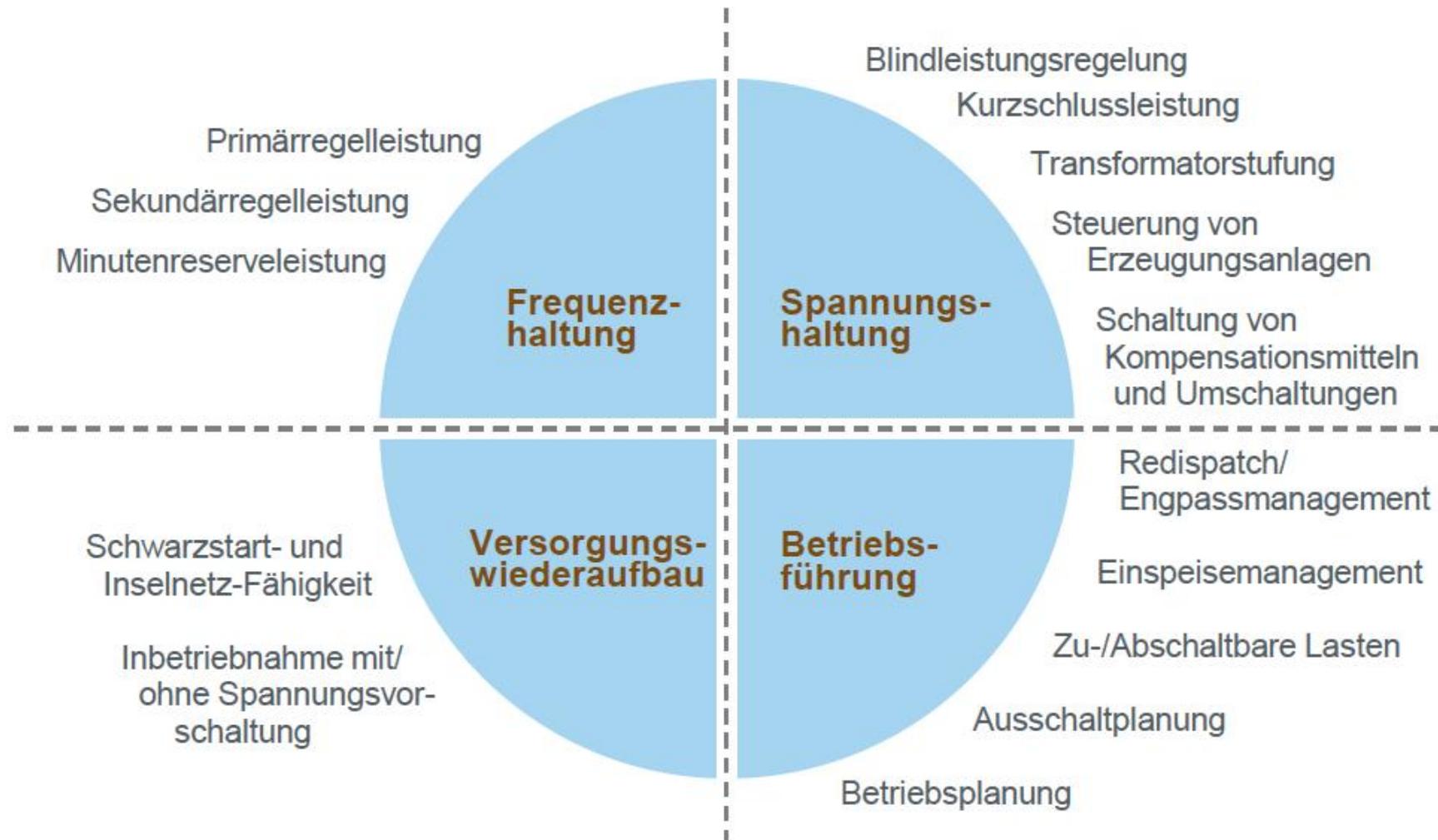
Stockholm, Anlage  
„Hammarby“  
150 MW, 5 Units



Anlage Örebro,  
40 MW, 2 Units



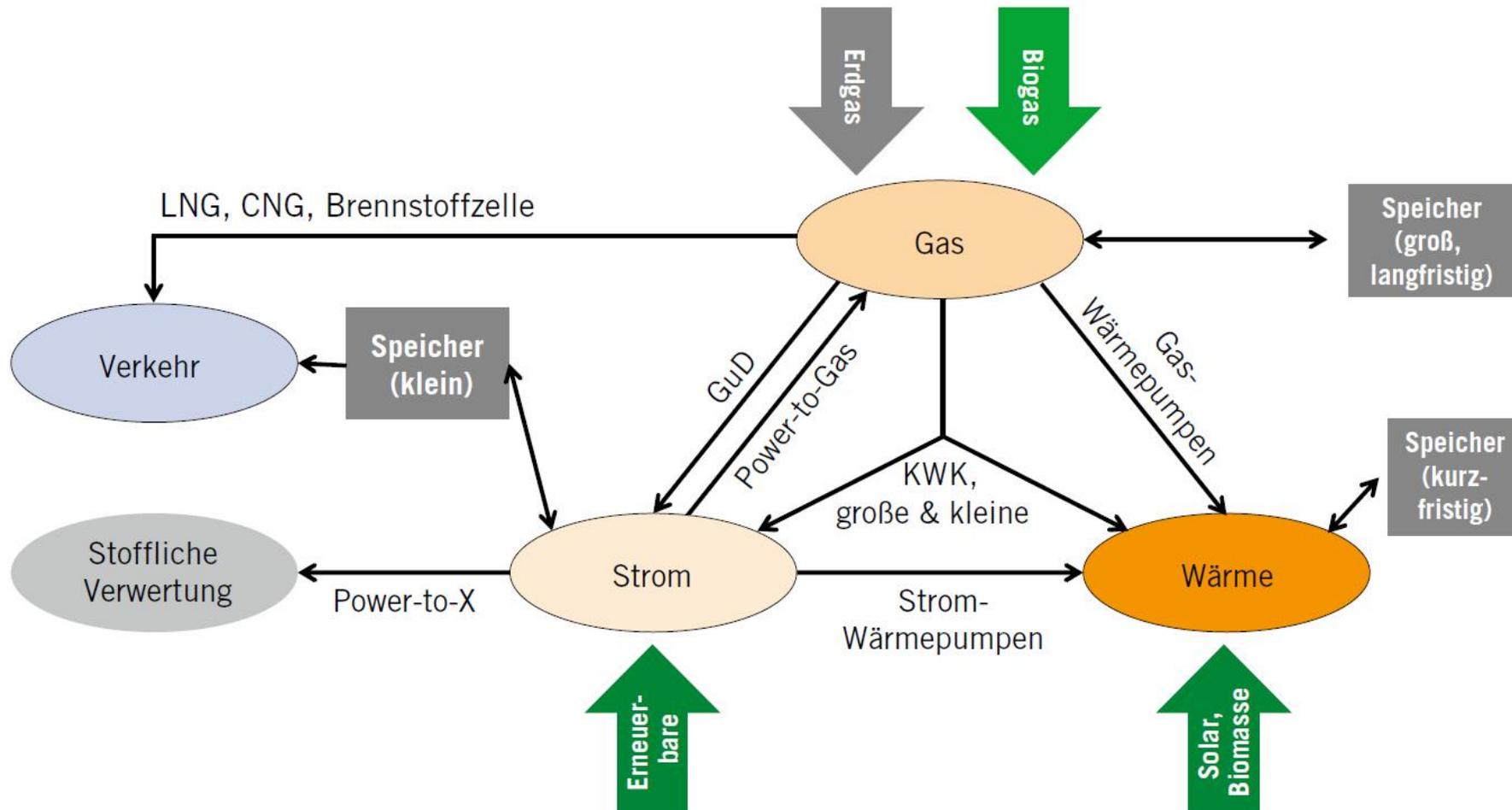
# Erforderliche Systemdienstleistungen zur Sicherstellung einer zuverlässigen Stromversorgung



Quelle: S. Lissek, Braucht ein Verteilnetzbetreiber Systemdienstleistungen? Präsentation in Göttingen, 18. Mai 2016, Bild 4

# Der Begriff „Sektorenkopplung“ umschreibt die Verknüpfung verschiedener Bereiche des Energiesystems

Prinzipdarstellung

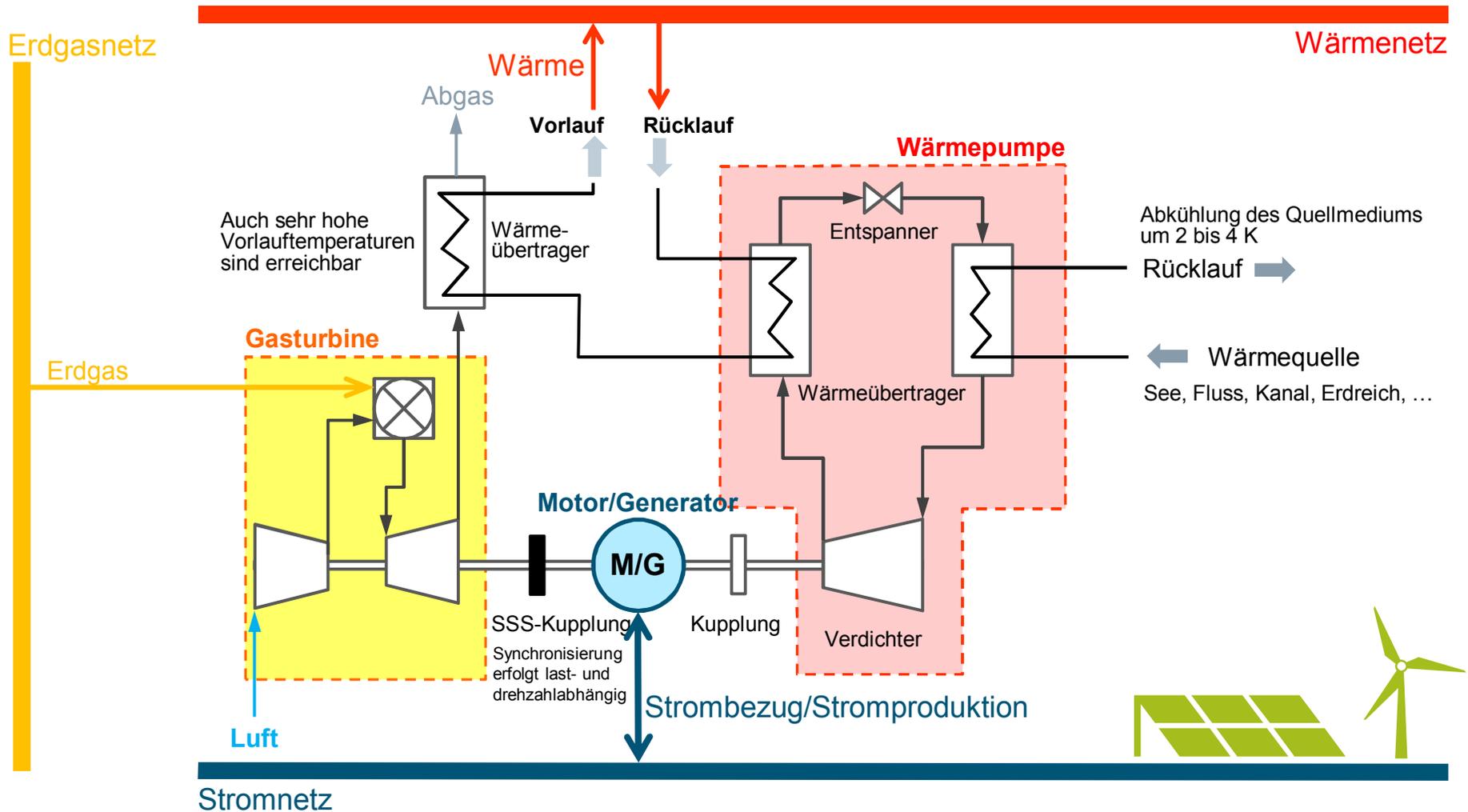


Quelle: Weltenergieat – Deutschland, Energie für Deutschland 2017, Stand: April 2017, Abbildung 4.16 auf Seite 111

# Innovation zur Sektorenkopplung und Netzstabilisation

## Einwellenkonfiguration: Gasturbine, elektrische Maschine und Wärmepumpe

Anlagenkonzept zur Sektorenkopplung



# Anlagenkonzept zur Sektorenkopplung

## Zusammenfassung – Betreibernutzen und Lieferantenvorteile

*Robuste, kostengünstige, technische Lösung zur Sektorenkopplung: Strom-, Wärme-, Gasnetz*

- Hohe Flexibilität zur Wärmeerzeugung: Nutzung von Erdgas und/oder Strom
- Gesicherte Wärmeversorgung auch in Zeiten mit geringer erneuerbarer Erzeugung (ohne Stromüberschuss: Nacht, Windflaute, ...)
- Bereitstellung von Back-up-Leistung für das Stromnetz über die Gasturbine (Stromnetzstabilisierung, Kapazitätsanlage)
- Mitdrehende elektrische Maschine zur Bereitstellung von Netzdienstleistungen (Massenträgheit, „Sinus“ zur Frequenzstützung)
- Reduktion der Anlagenkosten (Entfall Großkomponente und Systeme) gegenüber der Lösung Gasturbine mit Generator und Wärmepumpe mit Motor durch gemeinsamen Generator/Motor
- Steigerung der Zuverlässigkeit durch die Reduktion der Komponentenanzahl
- Strangkompetenz erforderlich (Schwingungsberechnung, Abstimmung der Resonanzdrehzahlen, Alleinstellungsmerkmal, Eintrittsbarriere für Wettbewerber (*Lieferantenvorteil*))
- Es werden immer drei Komponenten verkauft (*Lieferantenvorteil*)

Möglichkeit zur sofortigen Umsetzung im Leistungsbereich von 5 bis 50 MW<sub>el</sub> (alle Komponenten sind verfügbar; bis ca. 300 MW<sub>el</sub> realisierbar) unter Nutzung der aktuellen Förderansätze (KWKG, § 13 Abs. 6a EnWG usw.), Umgehung der EEG-Umlage, da keine Eigenstromproduktion und betriebswirtschaftlich positiv darstellbar (auch unter veränderten Randbedingungen und ohne Förderung).

Das Konzept ist auch im unteren Leistungsbereich 50 bis 300 kW<sub>el</sub> technisch sinnvoll, z.B. mit einem Wankelmotor an Stelle der Gasturbine (hohe Laufruhe, Nutzung von Wasserstoff: regenerativ produziert oder „graue“-Restmengen, Multibrennstoffkonzept).

## Diskussion – Wie wollen wir die Zukunft gestalten?

„Gelassenheit kann in schweren Zeiten genau das Richtige sein, solange man nicht alle guten Gelegenheiten verpennt und vertrödelt. Leider weiß man vorher nicht immer so genau, wann handeln besser ist als stillhalten.“

Herfried Münkler  
Deutscher Politikwissenschaftler  
Politische Theorie und Ideengeschichte



„Wer glaubt, es geht nur um die Sache, wird scheitern oder zum Zyniker. Wer glaubt, es geht nur um Macht und Geld, der ist bereits ein Zyniker - und wird ebenfalls scheitern.“

Elisabeth Niejahr  
Deutsche Journalistin  
WirtschaftsWoche

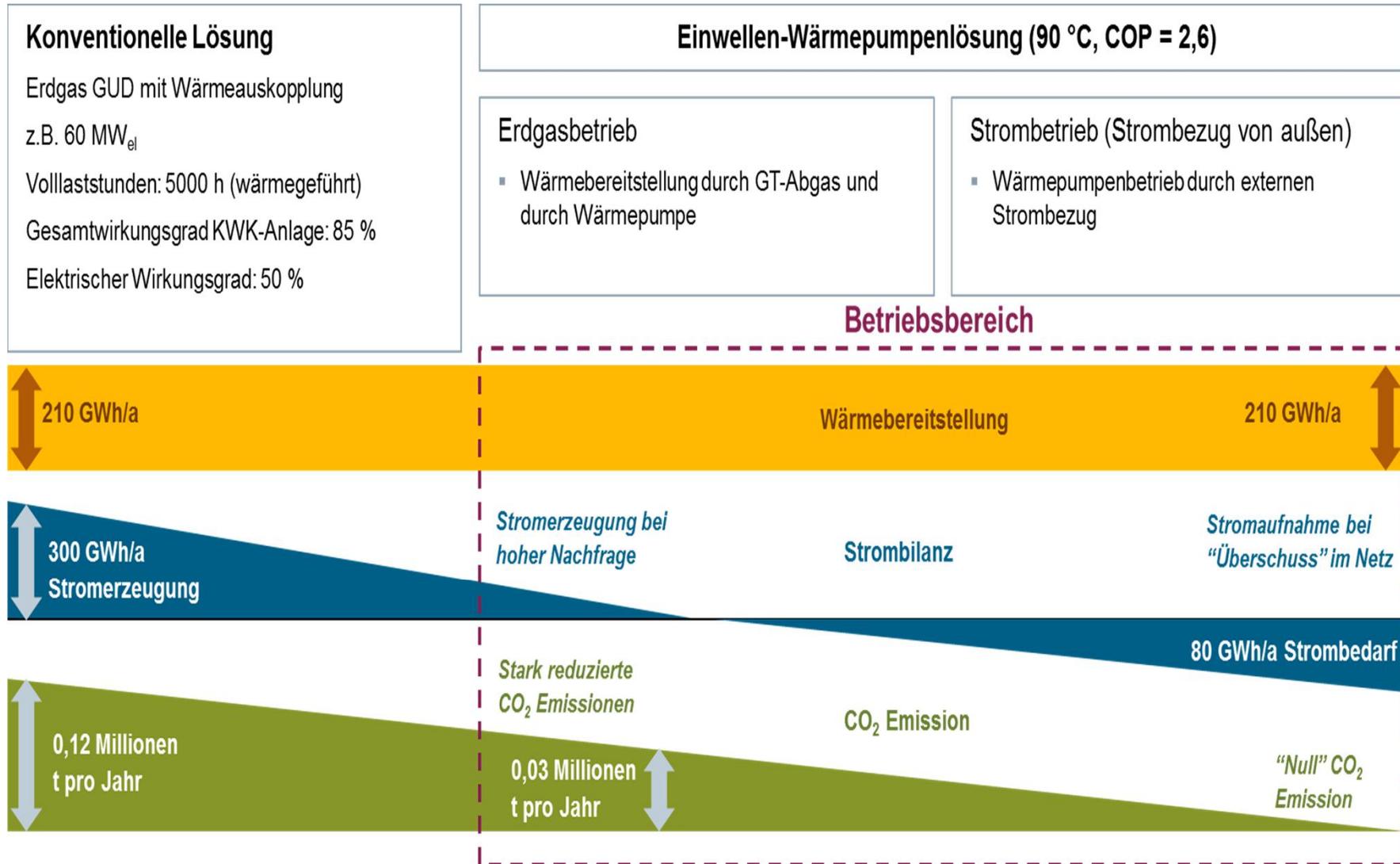


„Es ist keine prognostische Frage, was sein wird, sondern eine praktische Frage, was wir wollen.“

Peter Ulrich  
Schweizer Wirtschaftswissenschaftler  
Begründer der Wirtschaftsethik



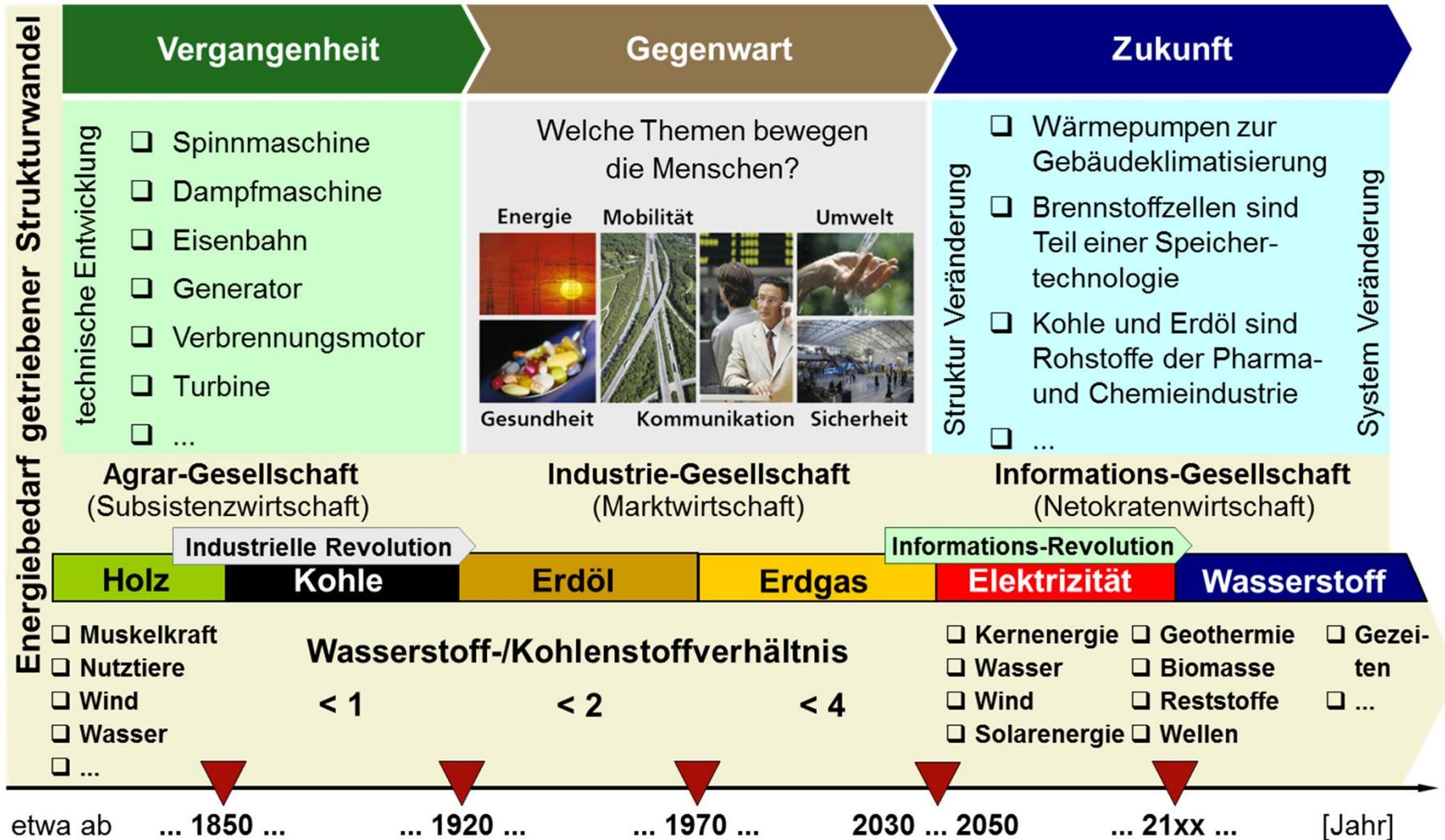
# CO<sub>2</sub>-Bilanz GUD-Anlage mit Wärmeauskopplung vs. Einwellenlösung aus Gasturbine, Motor/Generator und Wärmepumpe





# Entwicklung der globalen Energieversorgung

## Möglicher Entwicklungspfad



## Ausschlußklausel

Dieses **Dokument** enthält zukunftsgerichtete Aussagen und Informationen – also Aussagen über Vorgänge, die in der Zukunft, nicht in der Vergangenheit, liegen. Diese zukunftsgerichteten Aussagen sind erkennbar durch Formulierungen wie „erwarten“, „antizipieren“, „beabsichtigen“, „planen“, „glauben“, „anstreben“, „einschätzen“, „werden“ oder ähnliche Begriffe. Solche vorausschauenden Aussagen beruhen auf unseren heutigen Erwartungen und bestimmten Annahmen. Sie bergen daher eine Reihe von Risiken und Ungewissheiten. Eine Vielzahl von Faktoren, von denen zahlreiche außerhalb des Einflussbereichs von Siemens liegen, beeinflussen die Geschäftsaktivitäten, den Erfolg, die Geschäftsstrategie und die Ergebnisse von Siemens. Diese Faktoren könnten dazu führen, dass die tatsächlichen Ergebnisse, Erfolge und Leistungen des Siemens-Konzerns wesentlich abweichen von den in zukunftsgerichteten Aussagen ausdrücklich oder implizit enthaltenen Angaben zu Ergebnissen, Erfolgen oder Leistungen. Für uns ergeben sich solche Ungewissheiten insbesondere, neben anderen, aufgrund folgender Faktoren: Änderungen der allgemeinen wirtschaftlichen und geschäftlichen Lage, Änderungen von Wechselkursraten und Zinssätzen, Einführung konkurrierender Produkte oder Technologien durch andere Unternehmen, fehlende Akzeptanz neuer Produkte und Dienstleistungen seitens der Kundenzielgruppen des Siemens-Konzerns, Änderungen in der Geschäftsstrategie und verschiedene andere Faktoren. Detailliertere Informationen über bestimmte dieser Faktoren sind den Berichten zu entnehmen, die Siemens bei der US-amerikanischen Börsenaufsicht SEC eingereicht hat und die auf der Siemens Website unter [www.siemens.com](http://www.siemens.com) und auf der Website der SEC unter [www.sec.gov](http://www.sec.gov) abrufbar sind. Sollte sich eines oder mehrere dieser Risiken oder Ungewissheiten realisieren oder sollte sich erweisen, dass die zugrunde liegenden Annahmen nicht korrekt waren, können die tatsächlichen Ergebnisse sowohl positiv als auch negativ wesentlich von denjenigen Ergebnissen abweichen, die in der zukunftsgerichteten Aussage als antizipierte, geglaubte, geschätzte, erwartete, beabsichtigte, geplante oder projizierte Ergebnisse genannt worden sind. Siemens übernimmt keine Verpflichtung und beabsichtigt auch nicht, diese zukunftsgerichteten Aussagen zu aktualisieren oder bei einer anderen als der erwarteten Entwicklung zu korrigieren.

Marken sind ebenso in diesem Dokument erwähnt und sind Eigentum der Siemens AG, der Tochtergesellschaften oder deren jeweiligen Eigentümer.

# Information zum Referenten

## Kurzprofil

### Uwe Lenk



### Beruflicher Werdegang

- 1991 Siemens AG/Unternehmensbereich KWU, Gasturbinenvertrieb
- 1993 Gasturbinenfertigung
- 1994 Produktzentrum (Gruppenleiter)
- 1998 Produktstrategie und Marketing (Integration Westinghouse)
- 2000 GUD-Anlagenentwicklung (Abteilungsleiter)
- 2003 Entwicklungsleitung Industriekraftwerke (Hauptabteilung)
- 2007 Leitung Dampferzeuger und Mechanical Engineering (Fachsegment)
- 2010 Innovationsprojekt thermische Energiespeicherung (Division Function)
- 2014 Leitung Innovationsmanagement/Externe Beziehungen (Zentralabteilung)
- 2016 Regionalgesellschaft Deutschland (Vertrieb)

Jg. 1965, verheiratet, zwei Kinder

- 1983 Facharbeiter
- 1986 Wehrdienst (3 Jahre)
- 1987 Fachabitur
- 1991 Diplomingenieur  
Kraftwerkstechnik (TH-Zittau)

### Veröffentlichungen zu:

Gasturbinen, GUD-Anlagen, Abhitzeessel, Wasser-Dampf-Kreislauf, Ertüchtigung von Altanlagen, Standardisierung und Modularisierung, Biomassennutzung, Nutzung von Sonderbrennstoffen, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit, Marktentwicklung, Wirtschaftlichkeitsanalysen, Anlagen- und Komponentenoptimierung, Geothermieanlagen, Kalina-Prozess, Hochtemperaturbrennstoffzelle, Entscheidungsfindung und Technologieauswahl, Energiespeicherung, Flexibilisierung von Kraftwerken, Wärmepumpen, Kohlenstofftransformation, Versorgungskonzepte für Strom, Wärme und Mobilität, Vernetzung von Infrastrukturen