

# Effizienzsteigerung in der Industrie durch Einsatz von Effizienztechnologien zur Sektorkopplung

15. Symposium Energieinnovation – IEE, TU Graz

Graz, 16. Februar 2018



**Dipl.-Ing. Ivan Bogdanov, M.Sc.**

Abteilung Effizienzsysteme  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung IPA

Institut für Energieeffizienz in der Produktion  
(EEP)  
Universität Stuttgart

# Gliederung

- Energieeffizienz – ein zentraler Baustein der Energiewende
- Energieeffizienzsteigerung – aktueller Stand in der Industrie
- Lösungsansatz: Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen
- Best-Practice-Beispiele aus Forschung und Wirtschaft

# Kernpunkte der Energiewende in Deutschland

- stufenweiser Atomausstieg bis 2022
- Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 bis 2020 um 20% bzw. bis 2050 um 50% senken
- Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 bis 2020 um 40% bzw. bis 2050 um 80% – 95 % senken
- Anteil erneuerbare Energien an Wärmebereitstellung in Deutschland von 6 % (2006) auf 14 % (2020) steigern
- In 2016 wurden 13,4 % erreicht, um 0,1% geringer ggü. 2015 (13,5 %), trotz einer um 5,9 % höheren Wärmenutzung als '15

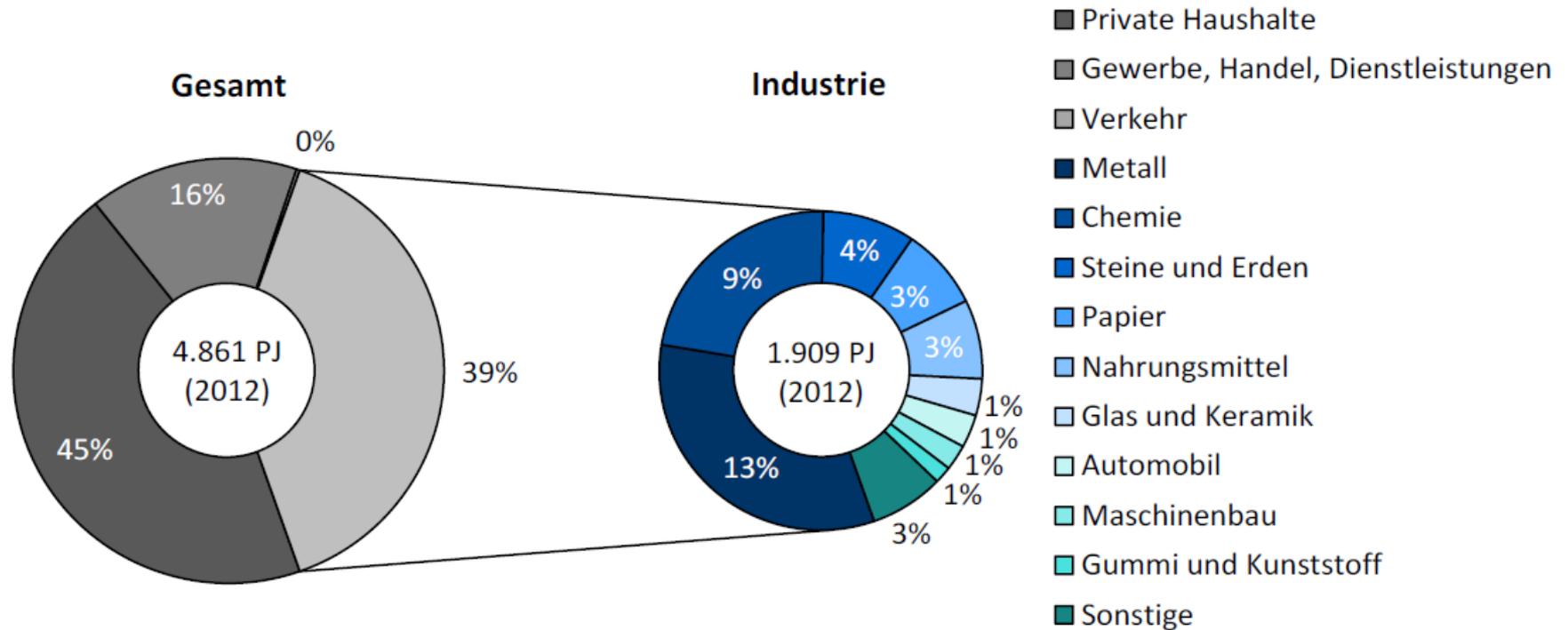


Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat, Stand 02/2017

Bild re. u.: Dr. Schönheit + Partner für FtK Stuttgart 2012

# Endenergieeinsatz zur Wärmeerzeugung in Deutschland

## Einsparpotentiale in allen Bereichen

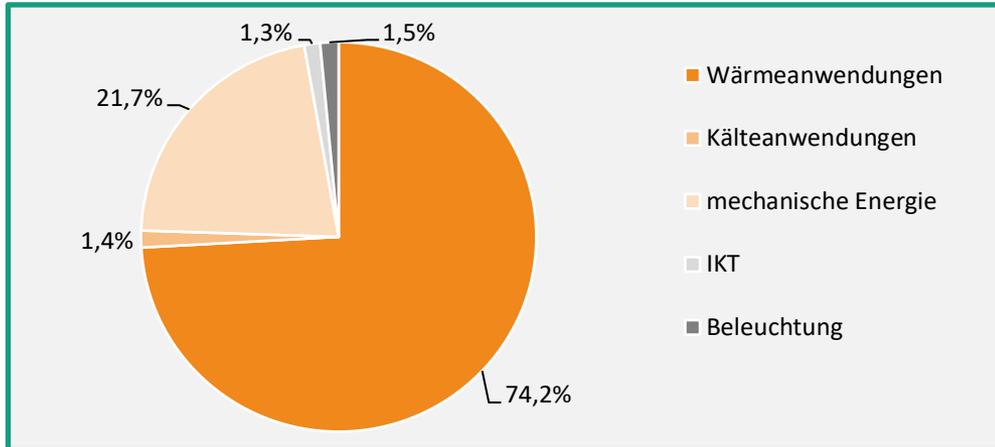


Stand 2012

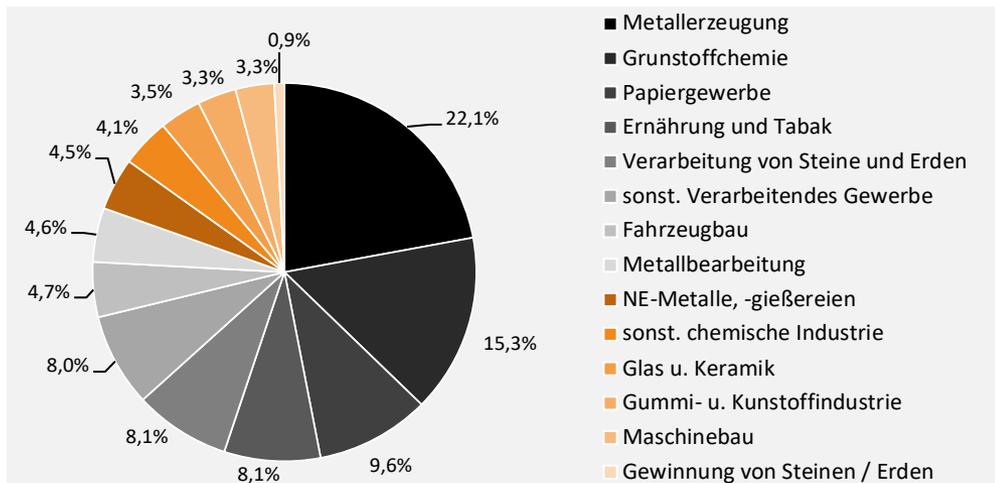
Quellen: BMWi 2014; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2013

# Energieverwendung in der Industrie

## Wärme dominiert Endenergieverbrauch



Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen 2010 [vgl. AGE B 2011]



Endenergieverbrauch nach Branchen [vgl. AGE B 2011]

■ **Wärmeanwendungen dominieren mit 74%**, gefolgt von mechanischer Energie mit rund 22%

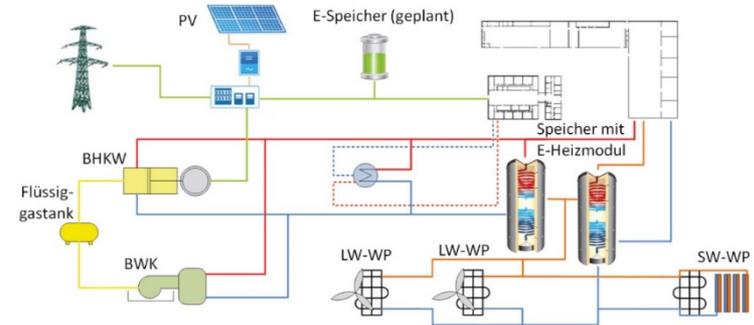
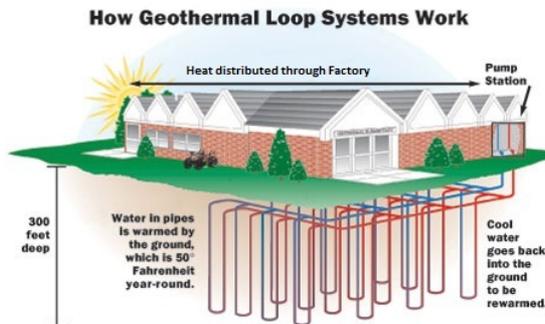
■ 66% des Endenergieverbrauchs durch energieintensive Industrie dominiert:

- Metallerzeugung
- Grundstoffchemie
- Papiergewerbe
- Verarbeitung von Steinen und Erden
- Glas und Keramik

■ **Einsatz branchenspezifischer Technologien bestimmt Wärmeanwendungen**

# Die Energiewende in der Fabrik

## Systemische Konzepte sind die Lösung



Bildquellen: sbs-renewables.com, Hermos AG

# Gliederung

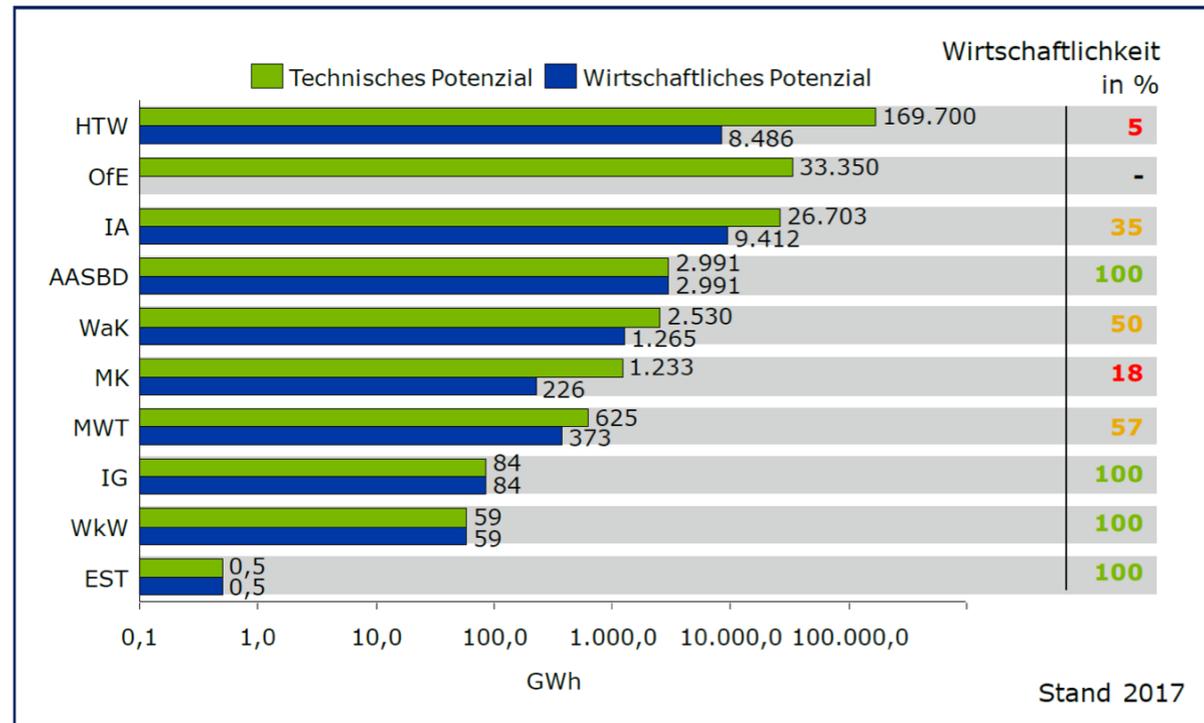
- Energieeffizienz – ein zentraler Baustein der Energiewende
- Energieeffizienzsteigerung – aktueller Stand in der Industrie
- Lösungsansatz: Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen
- Best-Practice-Beispiele aus Forschung und Wirtschaft

# Energieeffizienzsteigerung in der Industrie

## Studie zu innovativen, marktverfügbaren Technologien

**Innovative** Technologien und systemische Lösungen, die **marktverfügbar**, jedoch noch weitestgehend **wenig verbreitet** sind, allerdings perspektivisch ein **hohes Potenzial** besitzen, **wirtschaftlich** zu werden und einen **spürbaren Effizienzsprung im produzierenden Gewerbe** zu bewirken (fallende Reihenfolge):

1. Hochtemperaturwärmepumpe (HTW)
2. Optimierungssoftware für Energieverbundsysteme (OfE)
3. Intelligente Antriebslösungen (IA)
4. Automatische Absperrung von Stand-By Druckluftnetzen (AASBD)
5. Wasser als Kältemittel (WaK)
6. Magnetische Kühlung (MK)
7. Mikrowellentechnologie (MWT)
8. Intelligente Gleichstromnetze (IG)
9. Wabenförmige keramische Wärmetauscher (WkW)
10. Energieeffiziente Schaltschrankkühlung (ESK)



Quelle: Kube, M. et al. (2017)

# Konventionelle Wärmeerzeugung in der Industrie

## Von fossil hin zu erneuerbar

### ■ Kleine Unternehmen:

- Öl- oder Gaskessel (Niedertemperatur oder Brennwert)
- Pelletkessel, Holzvergaser, Gasöfen

### ■ Mittlere und große Unternehmen:

- Großraumkessel (Heißwasser, Dampf)
- Hackschnitzelkessel
- Blockheizkraftwerke (BHKW)

### → Alternativ:

- (Hochtemperatur-) Wärmepumpen:
  - Wärme- und Kälteerzeugung / -speicherung
  - Wärmerückgewinnung

Quelle: Solar Uni Kassel



Heißwasserkessel



Quelle:  
Durr thermea GmbH

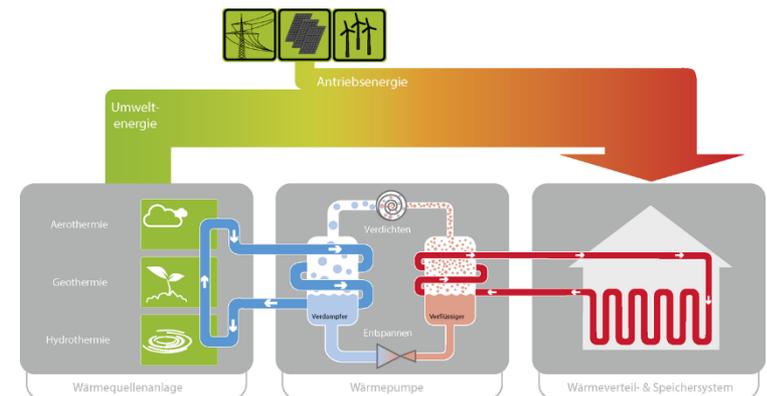
# Alternative Wärmeerzeugung in der Industrie

## Hochtemperatur-Wärmepumpen – Steckbrief

- Hochtemperatur-Wärmepumpen sind Wärmepumpen, die hohe Heiz- und Wassertemperaturen im Vorlauf erzeugen können ( $> 70\text{ °C}$ , bzw. Prototypen bis  $170\text{ °C}$ , u.a. mittels speziell entwickelter Kältemittel).
- Zweistufige Kreisprozesse (Kühlmittelkreisläufe) und Nutzung von  $\text{CO}_2$  oder Heißgasen als Kältemittel stellen die Grundlagen dar.
- Hochtemperatur-Wärmepumpen können hohe Heißwassertemperaturen sowie die Kühlung v.a. in der Lebensmittel-, Chemie-, Pharma-, Kunststoff- oder metallverarbeitenden Industrie effizient und nachhaltig sichern.



Zweistufige Hochtemperatur-Wärmepumpe mit Vorlauftemperaturen bis  $98\text{ °C}$  (Ochsner Wärmepumpen GmbH)



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2015

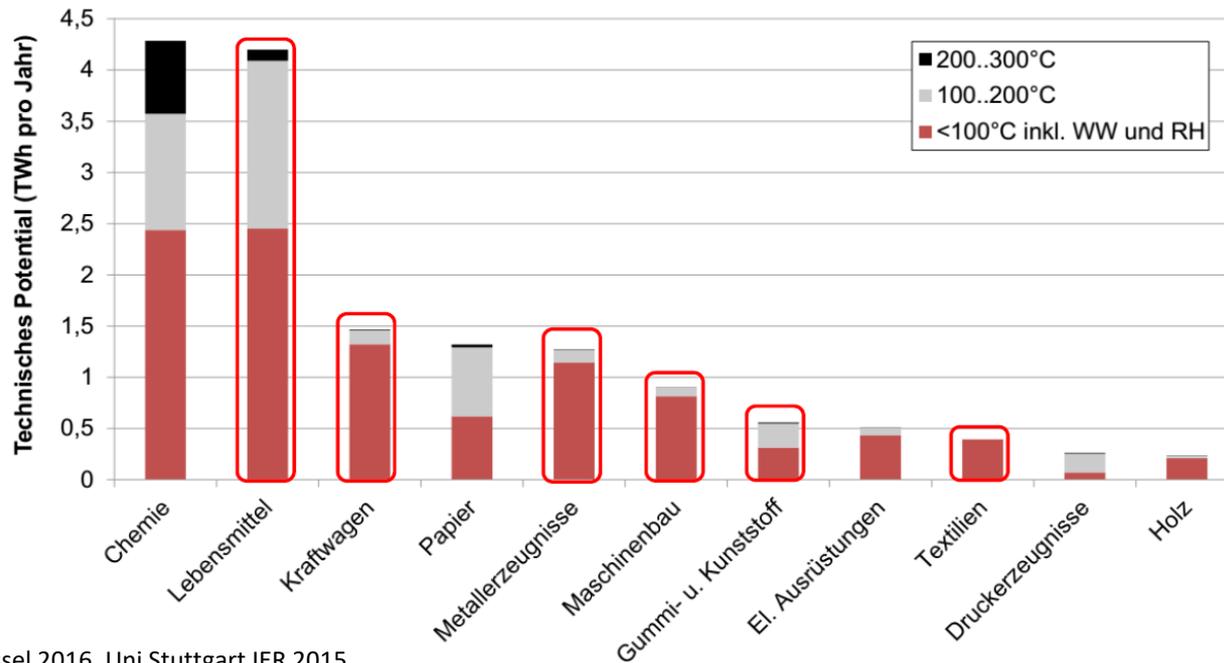
Quellen: Bobelin D., Bourig A. (2012); Wolf, S. (2017)

# Alternative Wärmeerzeugung in der Industrie

## Hochtemperatur-Wärmepumpen – Potenziale

### Potenzial für Wärmepumpen in der deutschen Industrie:

- Heutiges technisches Potenzial ( $T \leq 100 \text{ °C}$ ): 121 TWh (23 % des industriellen Bedarfs)
- Künftiges technisches Potenzial ( $T \leq 140 \text{ °C}$ ): 170 TWh (32 % des industriellen Bedarfs)
- Praktisch realisierbar sind zurzeit ca. 4-8 % des industriellen Wärmebedarfs



Quellen: Solar Uni Kassel 2016, Uni Stuttgart IER 2015

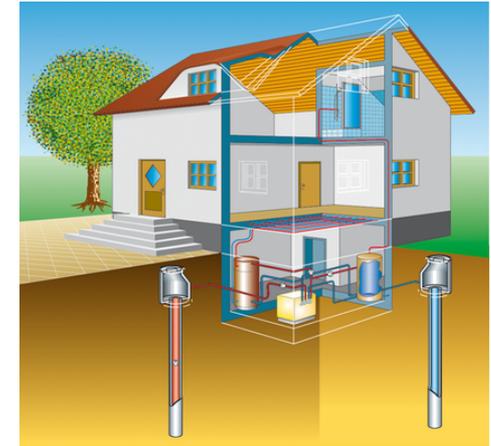
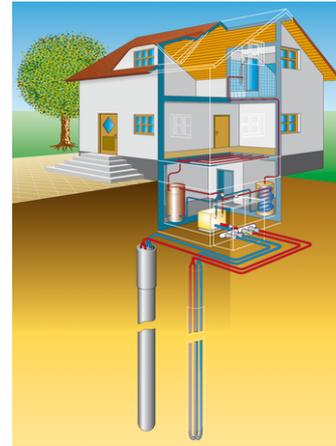
# (Hochtemperatur-) Wärmepumpen in der Anwendung

## Stand der Technik, Einsatzmöglichkeiten

### Haushaltswärmepumpen:

- Wärmequelle: Umweltwärme (Luft, Boden, Grundwasser)
- Wärmesenke: Heizungssystem, Klima, Warmwasser

→ standardisierte Lösungen



### Hochtemperatur-Wärmepumpen:

- Wärmequellen: Prozessabwärme, Kälteanlagen, Druckluftherzeugung, Abgas, etc. → **Erdwärme?**

- Wärmesenken: Heißluft, Heißwasser, Dampf, etc. **Saisonspeicher?**

→ individuelle Systemintegration



Quelle: Universität Stuttgart IER 2015; Bildquellen: Bundesverband Wärmepumpe e.V., Friotherm

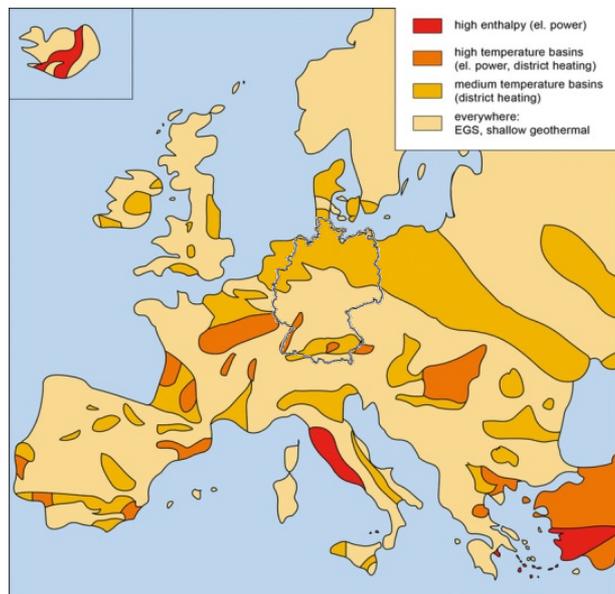
# Gliederung

- Energieeffizienz – ein zentraler Baustein der Energiewende
- Energieeffizienzsteigerung – aktueller Stand in der Industrie
- Lösungsansatz: Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen
- Best-Practice-Beispiele aus Forschung und Wirtschaft

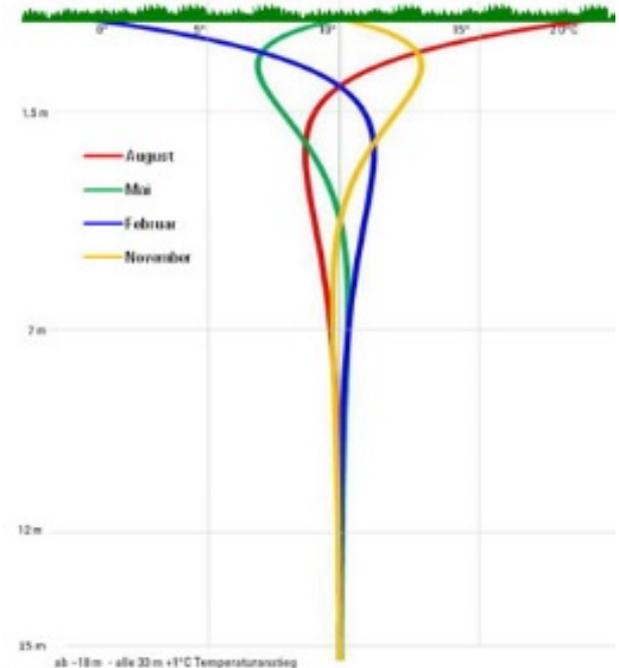
# Die Wärmewende in der Fabrik

## Oberflächennahe Geothermie ist eine Lösung

- Oberflächennahe Geothermie (< 400 m Tiefe) in Europa breitflächig wirtschaftlich genutzt
- Leistung und Art der Wärmepumpen können auch in der Industrie sehr stark variieren



- Temperaturen sind ab ca. 20 m Tiefe konstant und unabhängig von Wetterbedingungen
- Temperaturgradient von 3 K / 100 m unterhalb von 15 m
- Bodentemperatur ca. 25 °C in 400 m Tiefe in Deutschland (regional leicht variierend)



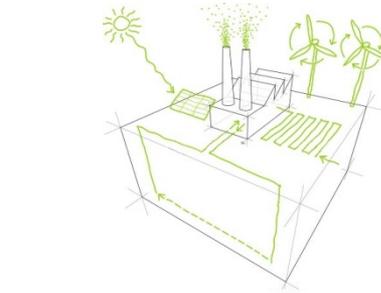
Bildquellen: EGEC – European Geothermal Energy Council, erdwaermepumpe.at

# Energieeffizient und nachhaltig produzieren

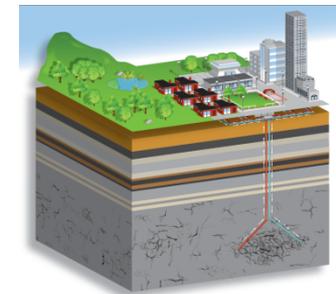
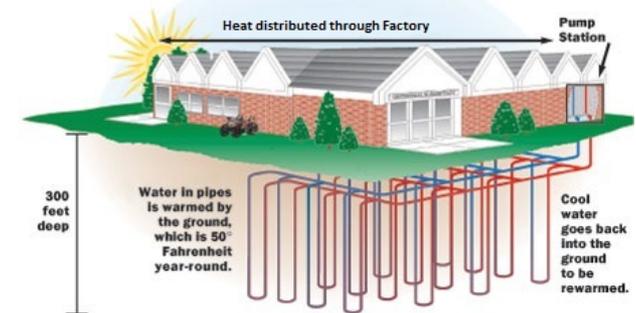
## Ein dezentrales Lösungskonzept zur Wärmeerzeugung

- Einsatz möglich bei KMUs bis Großkonzernen
- Zu berücksichtigende Aspekte vor der Einführung:
  - Prozessarten und Wärmebedarf (Temperaturhubniveaus, Lastprofile, etc.);
  - Geologische Bedingungen (Wärmeangebot)
  - Technologieentwicklung (Anlagenarten)
  - Aspekte der Wirtschaftlichkeit: vor allem Amortisationszeiten
  - Möglichkeit der Bildung von Wärmeverbänden mit dem urbanen Umfeld / Kreisläufen

→ **Steigerung des Grades der Eigenerzeugung und Entkopplung von der Energiemarktabhängigkeit**



How Geothermal Loop Systems Work



Bildquellen: shutterstock.com, sbs-renewables.com, behance.net

# Vorarbeiten für eine technische Potenzialanalyse

## Analyse einzelner Fertigungsverfahren

- Fertigungsverfahren nach DIN 8580 sowie unter bestimmten Bedingungen (z.B. verschiedene Materialien, Branchen) analysiert
- u.a. wichtige Prozesse, Grundoperationen: Schmelzen, Extrahieren, Verdampfen, Destillieren, Trocknen, Reinigen, Waschen, Beheizen und Klimatisieren von Produktionshallen, etc.
- Kriterien der technischen Potenzialanalyse zum Einsatz von Erdwärme:
- Gewichtungsfaktoren fallspezifisch anzusetzen

Kriterium	Gewichtung
Bodengegebenheiten	3
Technische Eignung der Technologie	3
Produktqualität und Einhaltung vorgegebener Prozessparameter	1
Beeinflussung der Produktionsplanung	1
Anteil des Wärme- bzw. Kältebedarfs an dem Gesamtenergiebedarf	2
Investitions-, Instandhaltungs- und Betriebskosten	3
Umweltauswirkungen der Wärme- und Kältebereitstellung	2
Versorgungssicherheit	2
Gesamt	17



# Vorarbeiten für eine technische Potenzialanalyse

## Fertigungsverfahren – Eignung ihrer Versorgung mittels erdgekoppelten (Hochtemperatur-) Wärmepumpen

Verfahrensbezeichnung	Einordnung nach DIN 8580 bzw. Industriebranche	Temperaturniveau
Kleben mit chemisch abbindenden Klebstoffen	Hauptgruppe 4 Untergruppe 4.8.2	80 °C – 180 °C
Aufbringen von Korrosionsschutzmittel (Unterbodenschutz)	Hauptgruppe 5	90 °C – 110 °C
Gummierung	Hauptgruppe 5	120 °C – 130 °C
Tempern	Hauptgruppe 6 Untergruppe 6.2	110 °C – 120 °C
Beizen	Holzverarbeitung	50 °C – 80 °C
Kochen	Chemieindustrie	100 °C – 110 °C
Kunststoffherstellung (LDPE, HDPE sowie PVC)	Kunststoffindustrie	80 °C – 100 °C
Kunststoffverarbeitung (LDPE)	Kunststoffindustrie	120 °C – 140 °C
Trocknen	Keramikherstellung	20 °C – 120 °C
Bleichen	Textilindustrie	60 °C – 100 °C
Pad-Roll-Verfahren	Textilindustrie	40 °C – 60 °C
Entschlichten- und Powertex-Verfahren	Textilindustrie	40 °C – 60 °C
Waschen und Trocknen	Textilindustrie	30 °C – 100 °C

# Gliederung

- Energieeffizienz – ein zentraler Baustein der Energiewende
  - Energieeffizienzsteigerung – aktueller Stand in der Industrie
  - Lösungsansatz: Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen
- Best-Practice-Beispiele aus Forschung und Wirtschaft

# (Erdgekoppelte) Wärmepumpen in der Industrie

## Best-Practice-Beispiele aus Forschung und Wirtschaft

- EU-gefördertes Projekt **“Integration of Geothermal Energy into Industrial Applications – IGEIA”** (2006 – 2009): Erdwärmespeicher für ca. 3.800 MWh<sub>th</sub>/a bei 60 – 70 °C aus Schmelzöfen einer Gießerei in Schweden – auch für die Einspeisung in ein Fernwärmenetz genutzt;
- BMBF-gefördertes Kopernikus-Projekt **„SynErgie“**, Teilprojekt „Energieflexibles Automobilwerk“ (2016 – 2019): Untersuchungen zum Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen zur flexiblen Wärme- und Kälteerzeugung bei einem großen Stuttgarter Automobilhersteller;
- Hochtemperatur-Wärmepumpe (Wärmeleistung 380 kW, COP: ca. 4) bei Plansee Hochleistungswerkstoffe in Reutte / Tirol; Abwärme bei 45 °C aus Produktionsprozessen → Einspeisung bei 85 °C in das firmeneigene Fernwärmenetz ein.

Quellen: Andersson, O. et al. (2008), Meyer, J.-P. (2017)

# Best Practice Beispiel: Volkswagen AG, Standort Emden

## Think Blue. Factory. – Energie Geothermiefeld in Emden



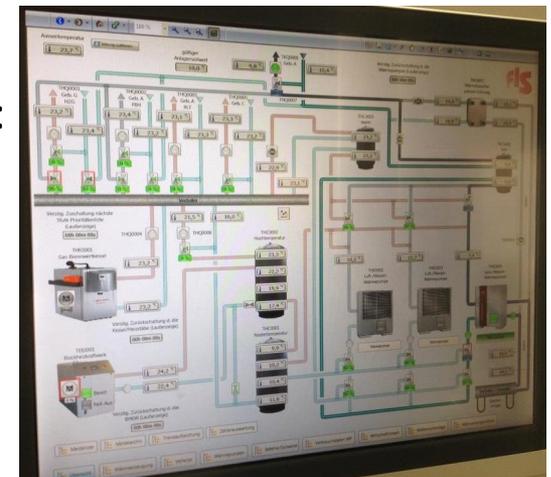
- Heizen der Halle im Winter durch Nutzung der Erdwärme
- Kühlung der Schweißzangen durch Nutzung des tieferen Energieniveaus unter der Erdoberfläche

Quelle: Volkswagen AG

# Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Industrie

## Best-Practice-Beispiele – Fabrik im urbanen Umfeld

- WITTENSTEIN AG Fellbach, Baden-Württemberg – Nachhaltigkeitslösungen für Energieversorgung:
  - Abwärmenutzung der Produktionsprozesse sowie des BHKWs zur Wärmeversorgung der Nachbarschaft im Winter;
  - „energetische Vernetzung“ Produktionsanlagen.
- Hermos AG, Bayern – Energieversorgungskonzept mittels einer **Energiezentrale** zur Eigenversorgung beinhaltet u.a.:
  - 2 reversible Luft-Wasser-Wärmepumpen: 60 kW;
  - 1 reversible Sole-Wasser-Wärmepumpe: 75 kW;
  - Passive Kühlung durch Erdsonden;
  - Photovoltaik-Anlage: 400 kW<sub>p</sub>.



Quellen: WITTENSTEIN AG, Hermos AG

# Fazit und Ausblick

## Energieeffizienz und „Erneuerbare“ gehen Hand in Hand

- Die Energieeffizienz und der Einsatz erneuerbarer Energiequellen sind Schlüsselfaktoren der Energiewende in Europa.
- Eine der wichtigsten Effizienztechnologien für die Wärmewende sind die Hochtemperatur-Wärmepumpen, die bereits ein hohes technisches, aber zurzeit noch ein niedriges wirtschaftliches Potenzial besitzen.
- Ein Lösungsansatz zur Energieeffizienzsteigerung in der Industrie sind die erdgekoppelten Wärmepumpen; ein Modell zur technischen Potenzialanalyse zeigt die dafür am besten geeigneten Fertigungsprozesse.
- Durch die Kombination mit weiteren, auch prinzipiell konkurrierenden Technologien (z.B. KWK), sind weitere Effizienzsteigerungen zu erwarten.
- Kostenstabile, CO<sub>2</sub>-arme Konzepte zur Versorgung der (teilweise) energie-autarken urbanen Fabrik konkurrieren z.T. mit dem Ansatz der Flexibilität!

---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projektes SynErgie, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03SFK3G1 gefördert wird.

---



*Research and solutions for  
a sustainable world*

**Dipl.-Ing. Ivan Bogdanov, M.Sc.**

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

[ivan.bogdanov@ipa.fraunhofer.de](mailto:ivan.bogdanov@ipa.fraunhofer.de) | +49 711 970-1338