

© Satellitenbilder: GoogleMaps/Digital Globe 2018

# Netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme

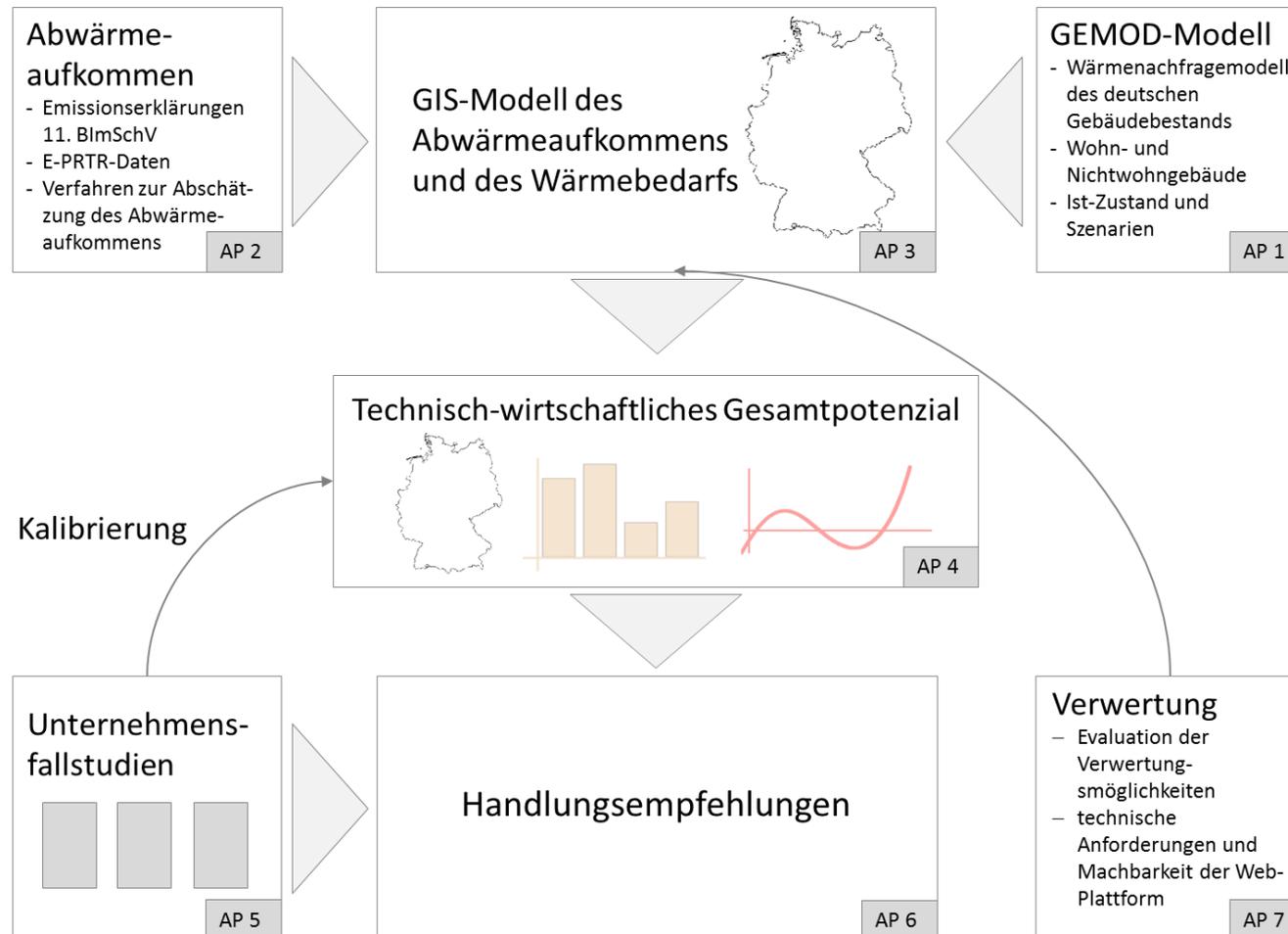
Ergebnisse des Verbundvorhabens

„EnEff:Wärme: Netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA)“

Sebastian Blömer, Nahwärme kompakt, 8.10.2018, Karlsruhe IHK Haus der Wirtschaft

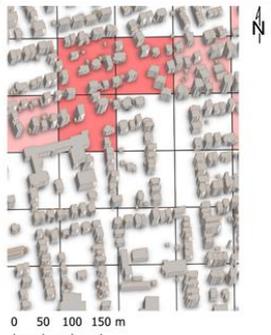
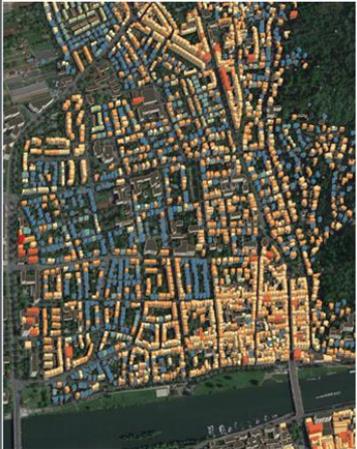
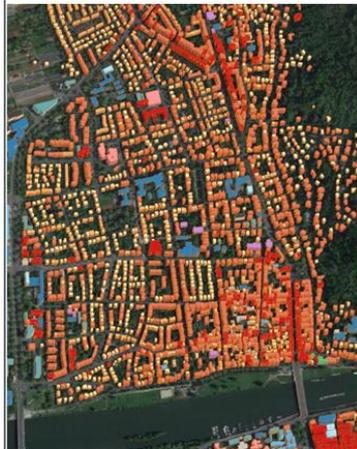
# Projekt NENIA

© ifeu, GEF, indevo, geomer 2017



# Wärmebedarfsmodell: Gebäudedatenbank

© ifeu/GEF/geomer 2018

1. Ausgangsdaten	2. Strukturdaten Gebäude: <i>fullhaus<sup>de</sup></i>	3. Energetische Gebäudetypisierung: <i>Wärmeatlas<sup>2.0</sup></i>
 <p>0 50 100 150 m</p> <p>3D Gebäudemodelle LoD1_DE Anteil Baualtersklassen, hier: E (1957-1968)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.000 - 0.095</li> <li>0.095 - 0.222</li> <li>0.222 - 0.400</li> <li>0.400 - 0.688</li> <li>0.688 - 1.000</li> </ul>	 <p>0 200 400 600 800 m</p> <p>Strukturelle Gebäudetypisierung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>EFH</li> <li>DH</li> <li>RH</li> <li>REH</li> <li>HGRP</li> <li>MPH</li> <li>MFH</li> <li>GMH</li> <li>HOCH</li> <li>Nicht spezifizierbare Gebäudeteile</li> <li>Nichtwohngebäude &amp; Nebengebäude</li> </ul>	 <p>0 200 400 600 800 m</p> <p>Energetische Gebäudetypisierung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>EFH</li> <li>RH</li> <li>MFH</li> <li>GMH</li> <li>Beherbergung, Gaststätten</li> <li>Bildung</li> <li>Büroähnliche Betriebe</li> <li>Handel</li> <li>Herstellungsbetriebe, Handwerk</li> <li>Industrie</li> <li>Krankenhäuser</li> <li>Kultur</li> <li>Landwirtschaft</li> <li>Sport</li> </ul>
<p><b>a) Amtliche 3D-Gebäudemodelle in der Ausprägung LoD1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>City-GML-Format</li> <li>Grundfläche und mittlere Gebäudehöhe</li> <li>Objektnutzungsschlüssel ALKIS</li> </ul> <p><b>b) Anteile Baualtersklassen Wohngebäudebestand 2011 (Destatis)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bundesweites 100m x 100m Raster</li> </ul>	<p><b>a) Ergänzung/Korrektur Objektnutzungsschlüssel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Heterogene, regional differenzierte Qualität der Ausgangsdaten</li> <li>Abgleich mit sekundären Datenquellen (OpenStreetMap, BEAM)</li> </ul> <p><b>b) Strukturelle Aufgliederung der Gebäudegeometrie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudeoberfläche</li> <li>Kontaktfläche zu angrenzenden Gebäuden</li> <li>Netto-Gebäudevolumen</li> <li>Energetische Nutzfläche nach EnEV</li> </ul> <p><b>c) Strukturelle Typisierung Wohngebäude</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Untergliederung des Wohngebäudebestandes nach Größe und Bauweise (freistehend, gereiht etc.) in 10 Typen</li> </ul>	<p><b>a) Energetische Kategorisierung Objektnutzungsschlüssel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Energetische Gebäudetypologie des ifeu-Gebäude-Simulationsmodells „GEMOD“</li> <li>Abgrenzung Wohn- und Nichtwohnnutzung nach energetischen Kriterien</li> </ul> <p><b>b) Kalibrierung des Mengengerüsts zur konsistenten Abbildung energetischer Kennzahlen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudetyp-spezifische Korrekturmaßnahmen zur Identifikation unbeheizter Nebengebäude und -Gebäudeteile</li> </ul> <p><b>c) Schnittstelle zur Übertragung von Energiekennzahlen aus der Gebäudesimulation räumlich differenziert nach Baualtersklassen und Klimazonen</b></p>

53 Mio. Gebäude

19,3 Mio. Wohngebäude / 33,6 Mio. Gebäude anderer Nutzung

**Beheizter Gebäudebestand**  
19,4 Mio. Wohngebäude / 3,1 Mio. Nichtwohngebäude

# Wärmebedarfsmodell: Wärmeatlas<sup>2.0</sup>

## Bund

Neubauraten Gebäude nach Szenario GEMOD

Entwicklungsfaktor  $Q_{h,RW}$  spezif. Szenarien 2030/2050

## Klimazone

Klimatische Einflüsse auf Heizwärmebedarf GEMOD

Differenzierung  $Q_{h,RW}$  spezif. pro Gebäudetyp

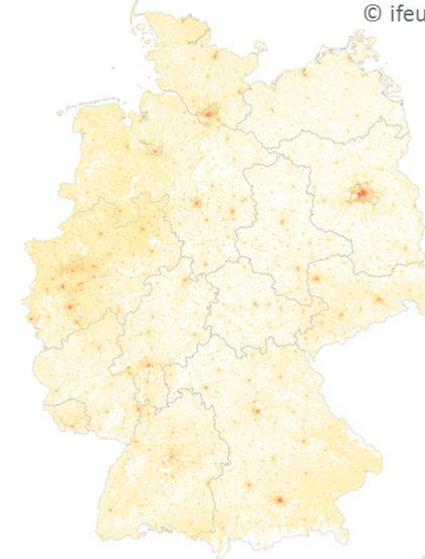
## 100m-Raster

Anteile Baualtersklassen Wohngebäudebestand

Gewichtungsfaktor  $Q_{h,RW}$  spezif. pro Gebäudetyp

© ifeu 2018

Top-Down Kalibrierung



## Geodatenbank energetisch typisierter Einzelgebäude Deutschland

### Energetischer Gebäudetyp

#### Wohngebäude

- Ein- & Zweifamilienhaus (EZFH)
- Reihenhaus (RH)
- Mehrfamilienhaus (MFH)
- Großes Mehrfamilienhaus (GMH)

#### Nichtwohngebäude

- Beherbergung/Gaststätten
- Bildung
- Büroähnliche Betriebe
- Handel
- Herstellungsbetriebe/Handwerk
- Industrie/verarbeitendes Gewerbe
- Krankenhäuser
- Kultur
- Landwirtschaft
- Sport

Energetische Nutzfläche  $A_N$  EnEV [m<sup>2</sup>]

×

Spezifischer Raumwärmebedarf [kWh/m<sup>2</sup>\*a]

+

Spezifischer Warmwasserbedarf [kWh/m<sup>2</sup>\*a]

Nutzenergiebedarf Raumwärme und Warmwasser [kWh/a]

=



Nutzwärmebedarf [kWh]

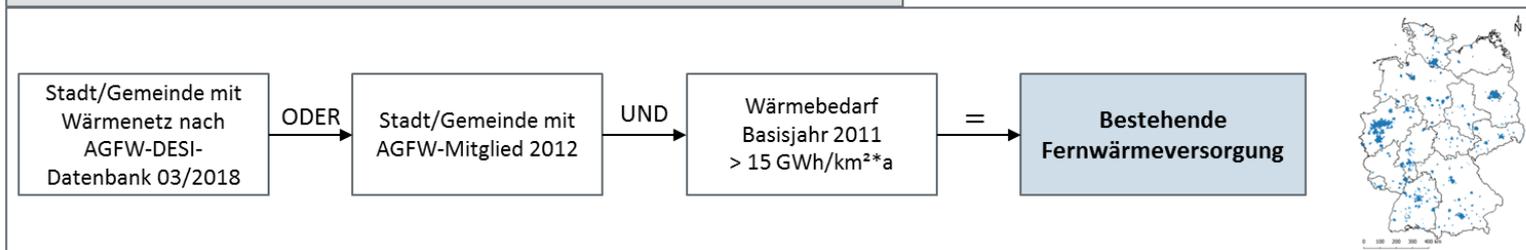


Bottom-Up Berechnung

# Identifikation bestehender und potenzieller Wärmenetzgebiete

## 500m Analyseraster: Auswahl bestehender Fernwärmegebiete

© ifeu 2018



## 500m Analyseraster: Auswahl zusätzlicher Wärmenetzpotenzialgebiete

```

    graph LR
      A[Erschließungsstraßen (OpenStreetMap)] --> B[Anschlussgrad / Trassenfaktor [%]]
      B --> C[Netzlänge [m]]
      D[Keine bestehende Fernwärmeversorgung] --> E[Wärmebedarf GEMOD-Szenario Stichjahr 2030 [MWh/a]]
      E --> F["„Technische“ Absatzdichte ρ Tec [MWh/m²*a]"]
      C --> F
      F --> G[ρ Tec > ρ Min]
      G --> H[Nahwärmepotenzialgebiet]
  
```

### Wirtschaftlichkeitsbewertung:

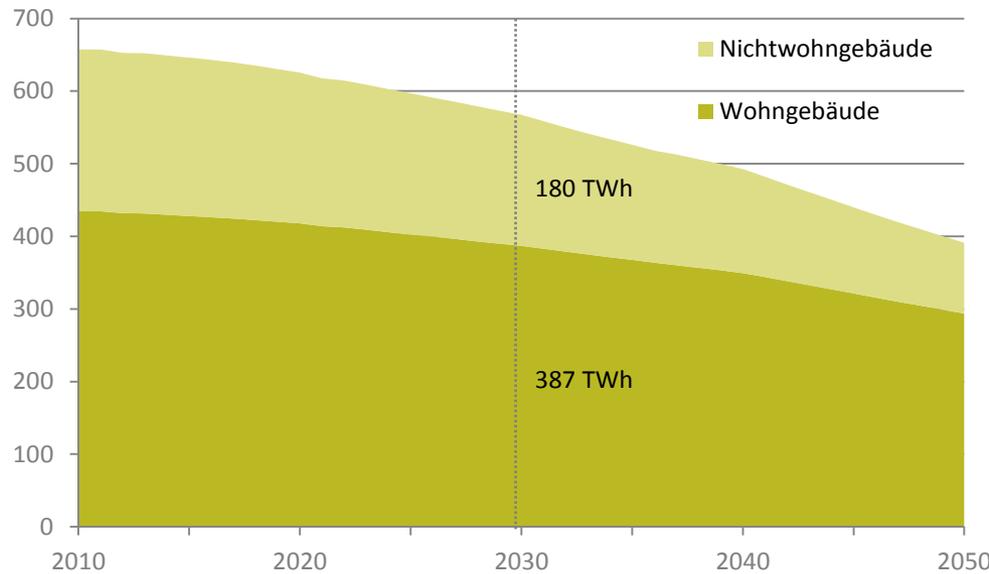
Refinanzierbarkeit angelegter Netzkosten über Wärmeabsatz, differenziert nach typischen Siedlungsformen

Modellparameter	Einheit	Gemeindestrukturtyp (BBSR-Systematik)
Anschlussgrad	%	Raumstrukturell differenzierte Parametrisierung
Spezifische Netzkosten	€/m	
Zinssatz	%	
Amortisationszeit	a	
<i>reale annuisierte Netzkosten <math>K_R</math></i>	€/m*a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Großstädte</li> <li>• Mittelstädte</li> <li>• Kleinstädte</li> <li>• Landgemeinden</li> </ul>
Wärmepreis	€/MWh*a	
Marge	€/MWh*a	
Overhead	€/MWh*a	
Erzeugerkosten	€/MWh*a	
Netzverluste	%	
<i>finanzierbare Netzkosten <math>K_F</math></i>	€/MWh*a	
<b>Mindestabsatzdichte <math>\rho_{Min} = K_R / K_F</math> MWh/m²*a</b>		

© Wärmeatlas2.0: ifeu Heidelberg GmbH, GEF Ingenieur AG, geomer GmbH 2018.  
© Straßengeometrien: OpenStreetMap 2015. © Verwaltungsgrenzen: BKG 2015.

# Wärmebedarfsmodell: Szenario moderater energetischer Sanierung im Stichjahr 2030

Nutzenergiebedarf  
 Raumwärme &  
 Warmwasser [TWh]



194 TWh potenzieller Wärmenetzabsatz  
 34% des Nutzenergiebedarfs RW & WW



	2011
Nutzwärmebedarf gesamt [TWh]	213
Bei Anschlussgrad pauschal 30% [TWh]	64

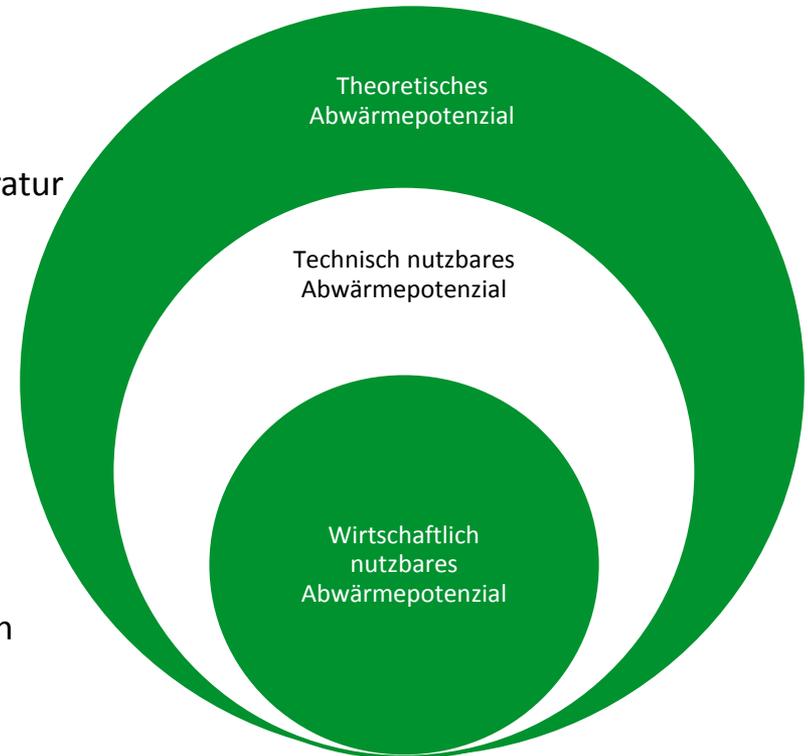


	2030
Nutzwärmebedarf gesamt [TWh]	219
Bei Anschlussgrad urban 50%, ländl. 70% [TWh]	130

# Methodik zur Abschichtung des technisch-wirtschaftlichen Abwärmepotenzials

**[Abwärme bezeichnet]** „die eine Anlage verlassende Wärme, ausgenommen die Wärme, dessen Erzeugung der Zweckbestimmung der Anlage entspricht“

- **Theoretisch nutzbares Abwärmepotenzial:**  
Theoretisch auskoppelbare Abwärmemengen bei Annahme einer konstanten, minimalen Wärmesenktemperatur (unter Vernachlässigung technischer Restriktionen)
- **Technisch nutzbares Abwärmepotenzial:**  
(Extern, leitungsgebunden) auskoppelbare Abwärmemengen unter Berücksichtigung „realer“ Wärmesenken und -temperaturen sowie entsprechend einzusetzender Technologien
- **Wirtschaftlich nutzbares Abwärmepotenzial:**  
Anteiliges technisches Abwärmepotenzial, das unter Berücksichtigung allg. anlegbarer Preise und Kostenstrukturen alternativer Erzeugungstechnologien bzw. Wärmequellen wirtschaftlich erschlossen und genutzt werden kann



# Methodik zur Abschichtung des technisch-wirtschaftlichen Abwärmepotenzials

## Datengrundlagen:

Beschränkung auf industriellen Sektor bzw. energieintensivste Branchen nach WZ2008:

Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (B05-B09)

**Verarbeitendes Gewerbe (C10-18, C19\*, C20-C33)**

Energieversorgung (D35)

Baugewerbe (F41-F43)

## Primär:

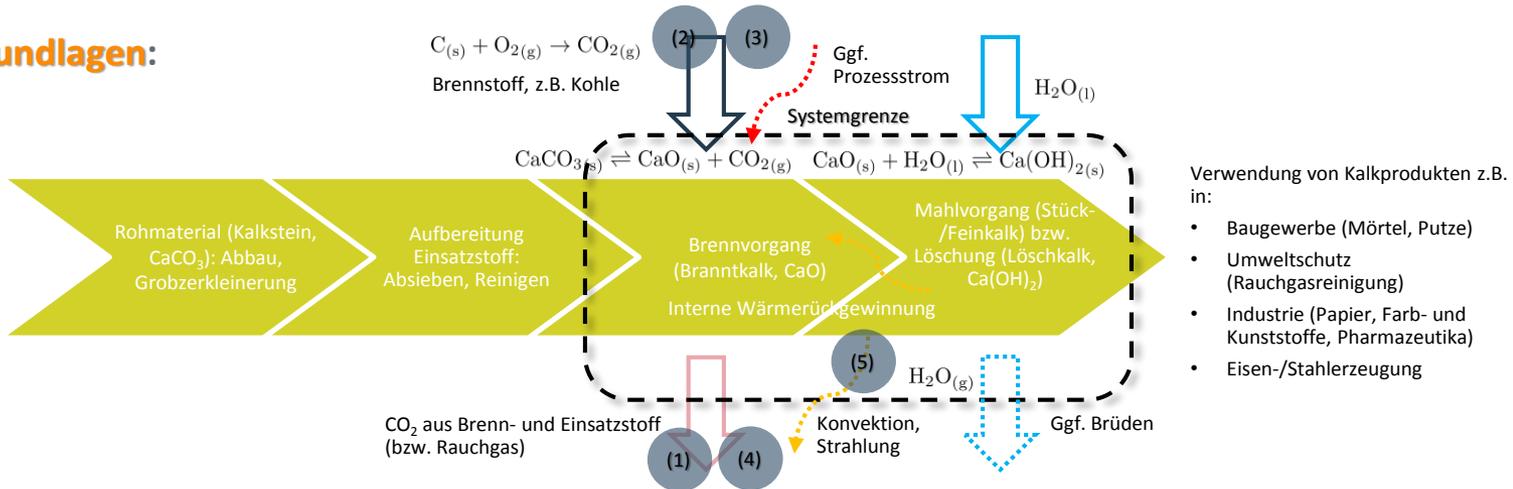
- (1) Emissionserklärungen nach 11. BImSchV: Abgasströme (C10-C18, C20-C33)

## Sekundär:

- (2) Emissionserklärungen nach 11. BImSchV: Brennstoffeinsätze ohne zuordenbare Abgasströme (C10-C18, C20-C33)
- (3) Emissionserklärungen nach 11. BImSchV: Brennstoffeinsätze mit unvollständig zuordenbaren Abgasströmen (C10-C18, C20-C33)
- (4) Europäisches Schadstoffregister E-PRTR: CO<sub>2</sub>-Emissionen (C23-C24)
- (5) ifeu-Recherchen zu Prozessstromeinsatz: Aluminium-/Stahlerzeugung, Glasschmelze...

# Methodik zur Abschichtung des technisch-wirtschaftlichen Abwärmepotenzials

## Datengrundlagen:



## Primär:

(1) Emissionserklärungen nach 11. BImSchV: Abgasströme (C10-C18, C20-C33)

## Sekundär:

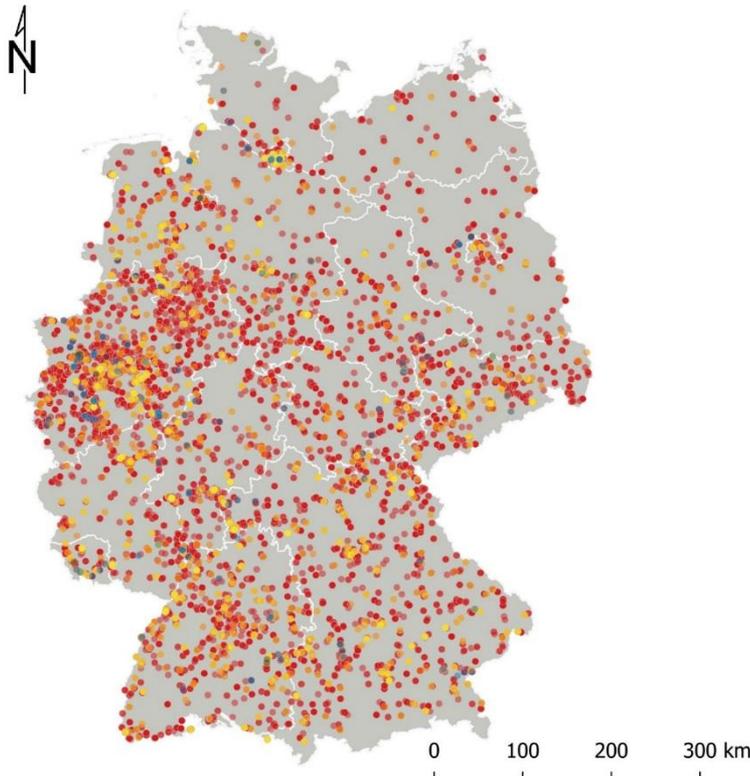
(2) Emissionserklärungen nach 11. BImSchV: Brennstoffeinsätze ohne zuordenbare Abgasströme (C10-C18, C20-C33)

(3) Emissionserklärungen nach 11. BImSchV: Brennstoffeinsätze mit unvollständig zuordenbaren Abgasströmen (C10-C18, C20-C33)

(4) Europäisches Schadstoffregister E-PRTR:  $\text{CO}_2$ -Emissionen (C23-C24)

(5) ifeu-Recherchen zu Prozessstromeinsatz: Aluminium-/Stahlerzeugung, Glasschmelze...

# Standort-Datenbank



Datenquellen industrielle Abwärme

- (1) 11. BImSchV: Abgasströme (C10-C18, C20-C33)
- (2) 11. BImSchV: Brennstoffeinsätze ohne zuordenbare Abgasströme (C10-C18, C20-C33)
- (3) 11. BImSchV: Brennstoffeinsätze mit unvollständig zuordenbaren Abgasströmen (C10-C18, C20-C33)
- (4) E-PRTR: CO<sub>2</sub>-Emissionen (C23-C24)
- (5) Prozessstromeinsatz: Aluminium-/Stahlerzeugung, Glasschmelze, Chloralkalielektrolyse u.a.

223 PJ (62 TWh)  
theoretisches  
Abwärmepotenzial

ca. 4000  
Industriestandorte

>90% des  
industriellen  
Brennstoffeinsatzes  
für Prozesswärme

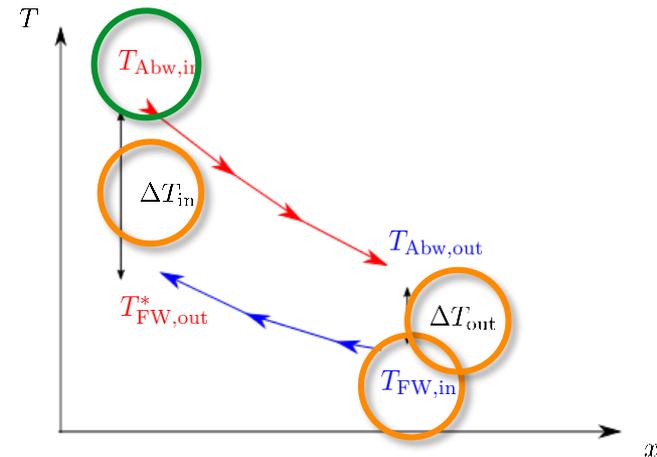
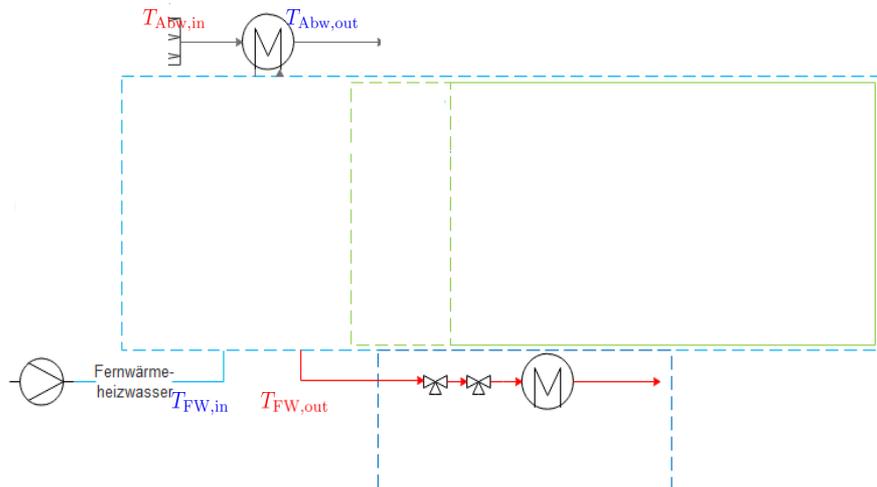
75% des thermisch  
relevanten Prozess-  
stromeinsatzes

# Methodik zur Abschichtung des technisch-wirtschaftlichen Abwärmenutzungspotenzials

## Passive Wärmeauskopplung aus gebundener Abwärme:

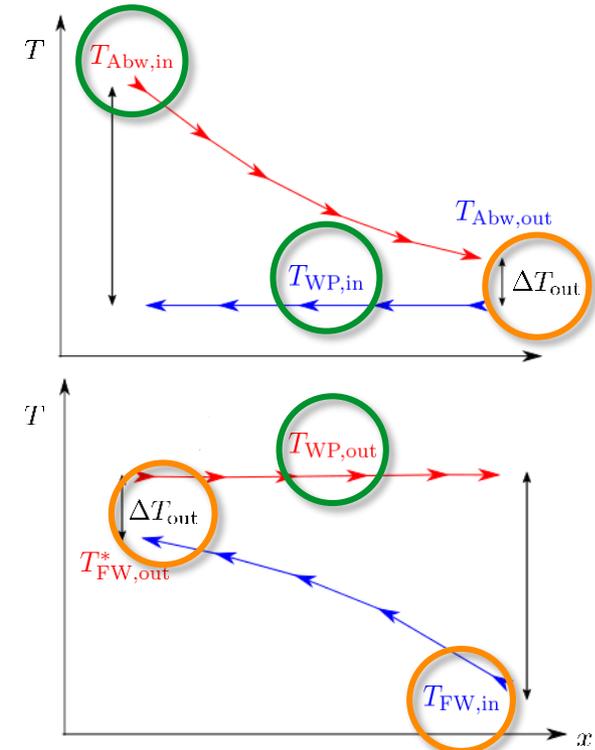
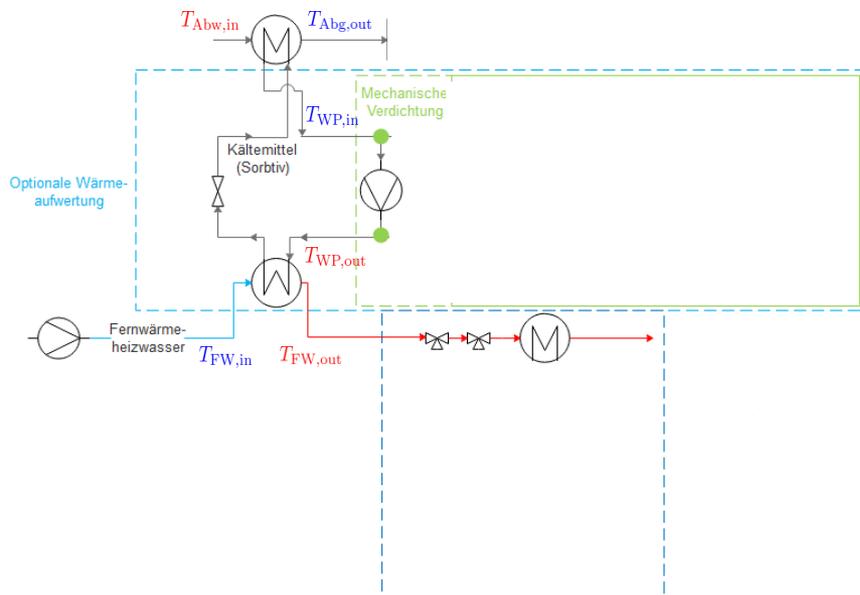
Im Regelfall im häufig verfügbaren Mitteltemperaturbereich (ca. 80-300 °C) technisch bzw. wirtschaftlich interessant

Verstromung hier nach wie vor herausfordernd bzw. vergleichsweise ineffizient

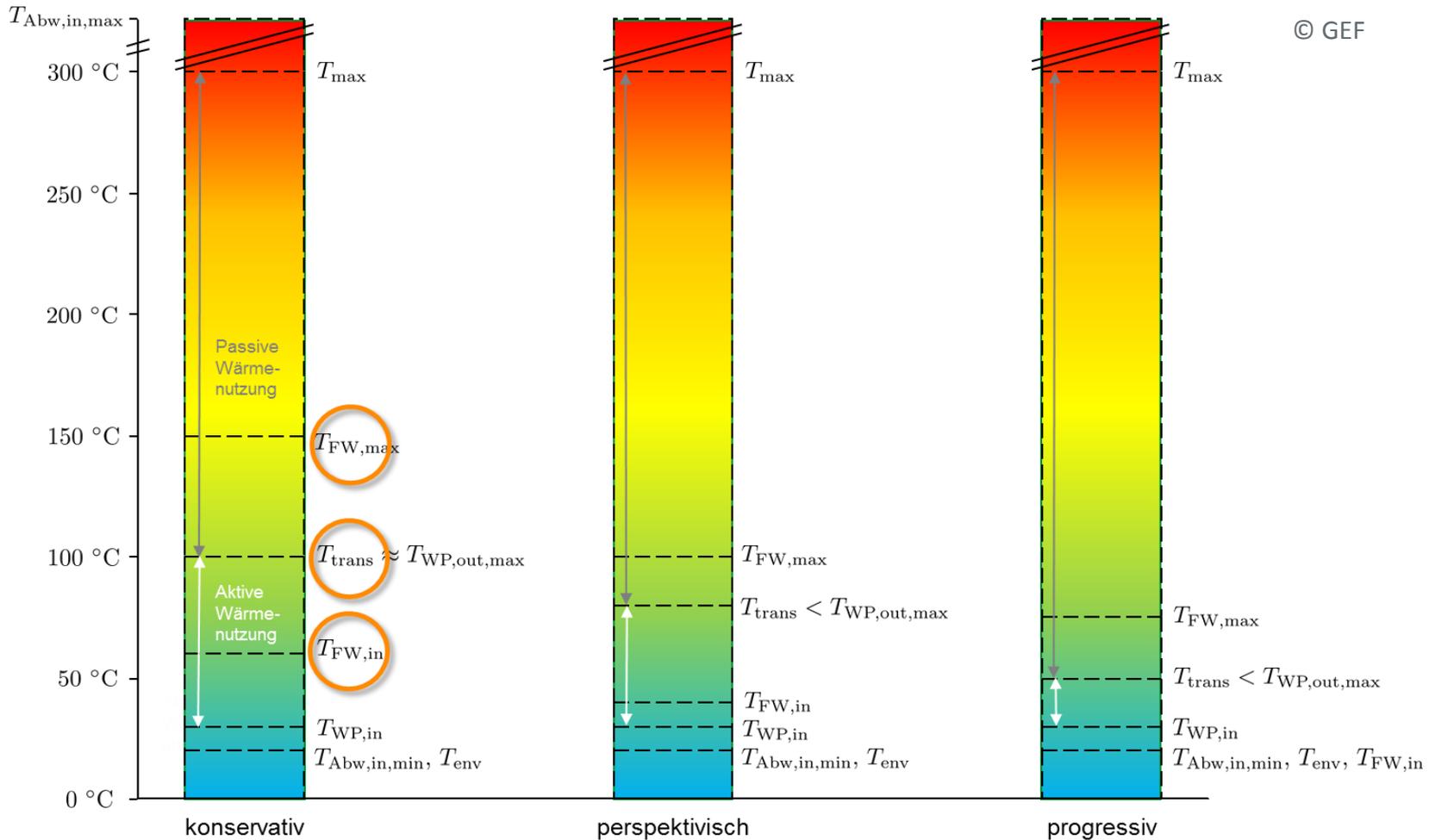


# Methodik zur Abschichtung des technisch-wirtschaftlichen Abwärmepotenzials

**Aktive Wärmeauskopplung** aus gebundener Abwärme:  
 Im Niedertemperaturbereich (ca.  $< 80\text{ °C}$ ),  
 im Modell mit Kompressionswärmepumpe,  $\text{COP}_{el} 4.0$

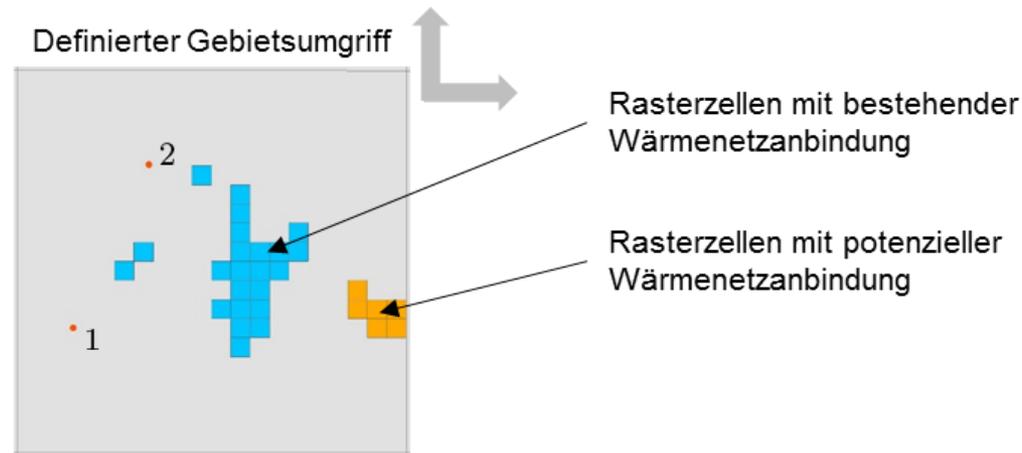


# Methodik zur Abschichtung des technisch-wirtschaftlichen Abwärmepotenzials



# Methodik zur Abschichtung des technisch-wirtschaftlichen Abwärmepotenzials

Festlegung eines Gebietsumgriffs (10x10 km) zur Einkopplung des ermittelten Abwärmepotenzials

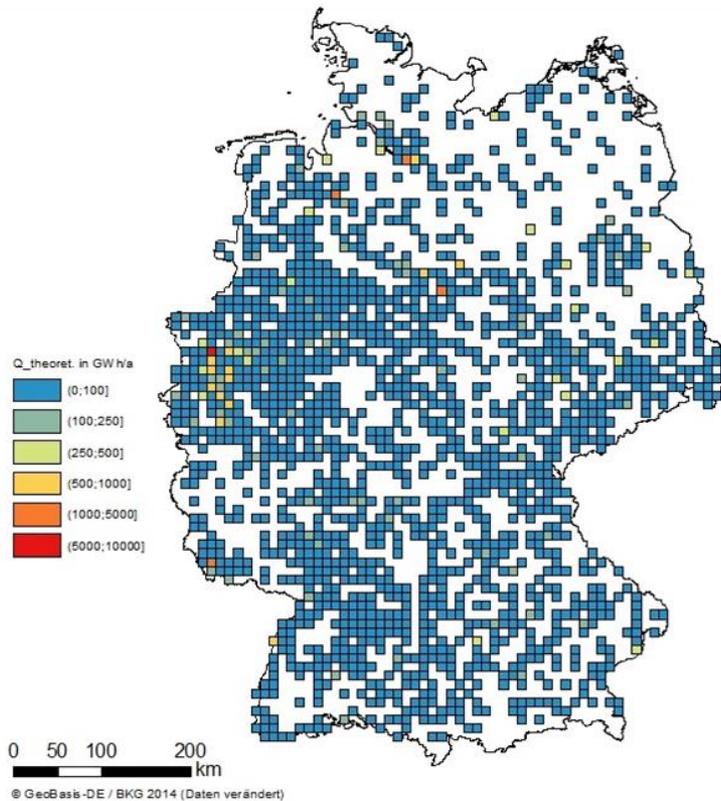


Aufteilung des Wärmesenkenpotenzials, Gewichtung über  $g_m$ :

$$Q_{\text{Senke},m} = Q_{\text{Senke}}^* g_m, g_m = \frac{Q_{\text{FW,agg},m}}{\sum_m Q_{\text{FW,agg},m}}$$

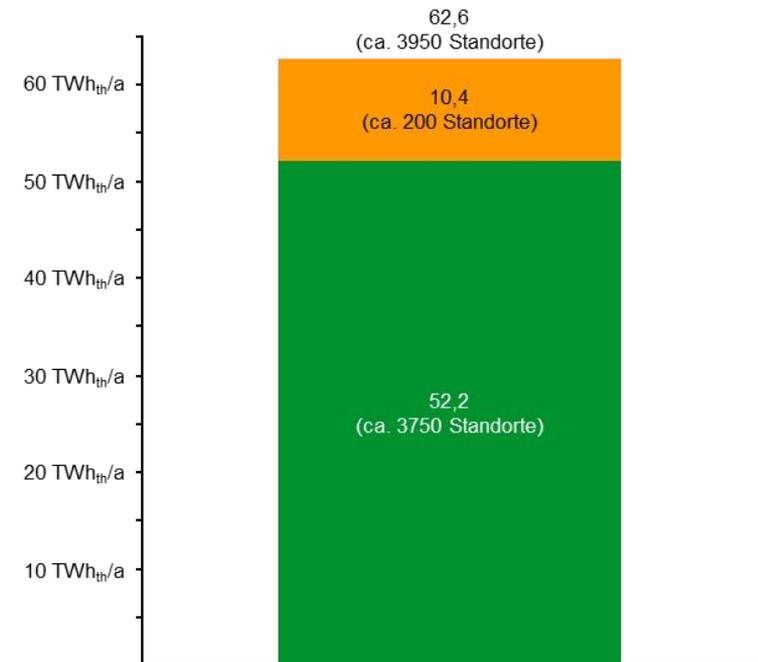
# Ergebnisse der Potenzialabschichtung

## Theoretisches Potenzial:



© GEF

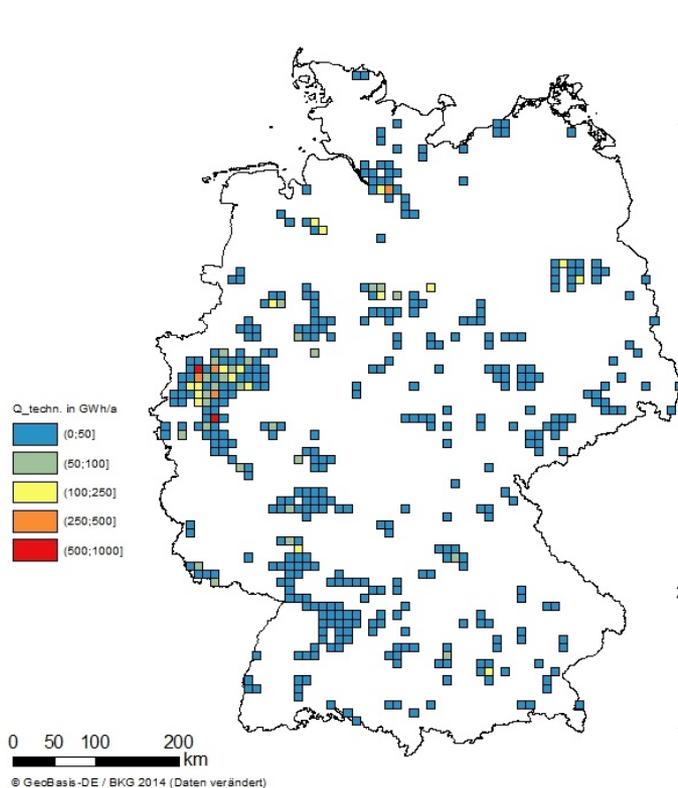
- Hochtemperatur
- Nieder- und Mitteltemperatur



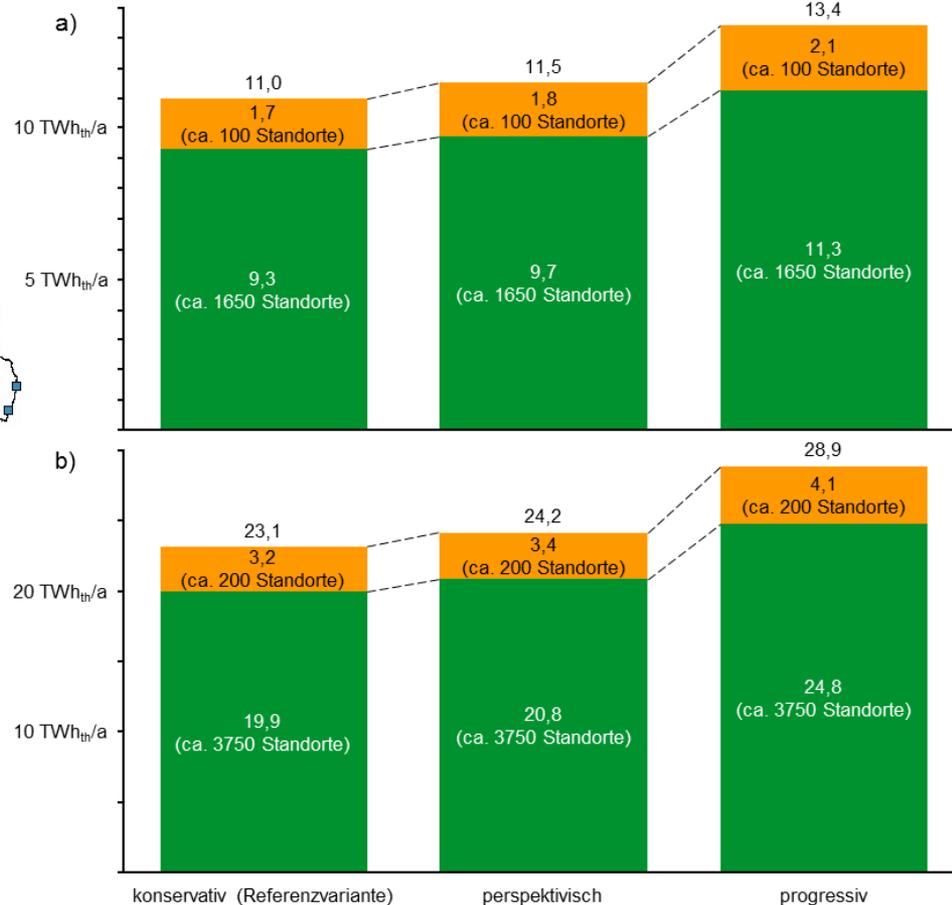
# Ergebnisse der Potenzialabschichtung

Technisches Potenzial – a): Netzbestand, b): Netzbestand und Potenziale:

■ Hochtemperatur © GEF  
■ Nieder- und Mitteltemperatur



Referenzvariante (Netzbestand einschließlich Hochtemperaturbereich)

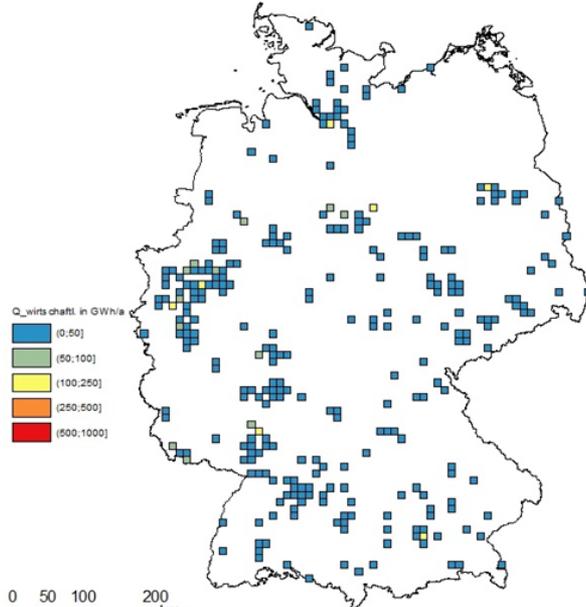


# Ergebnisse der Potenzialabschichtung

## Wirtschaftliches Potenzial bei übl. Wärmegestehungskosten

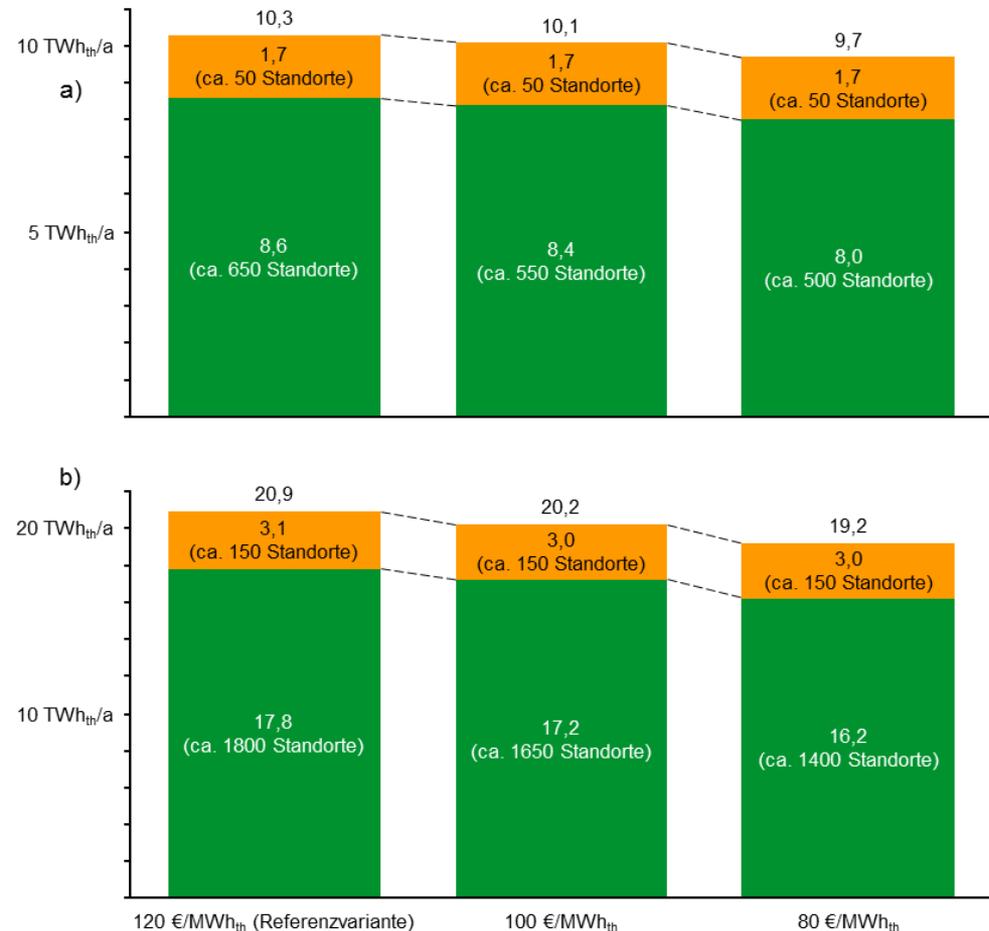
$$w_{th} \in [80, 100, 120] \frac{\text{€}}{\text{MWh}_{th}}$$

– a): **Netzbestand**, b): **Netzbestand und Potenziale**:



Referenzvariante (Netzbestand einschließlich Hochtemperaturbereich)

■ Hochtemperatur    © GEF  
■ Nieder- und Mitteltemperatur

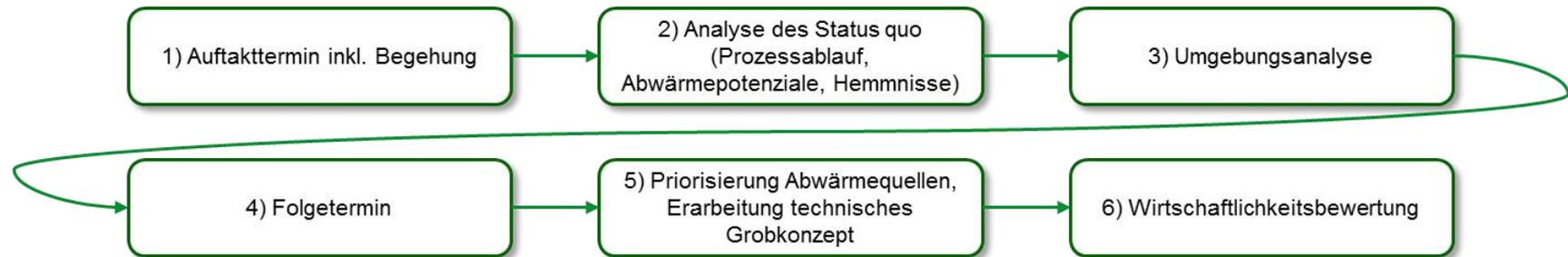


# Ergebnisse der Potenzialabschichtung

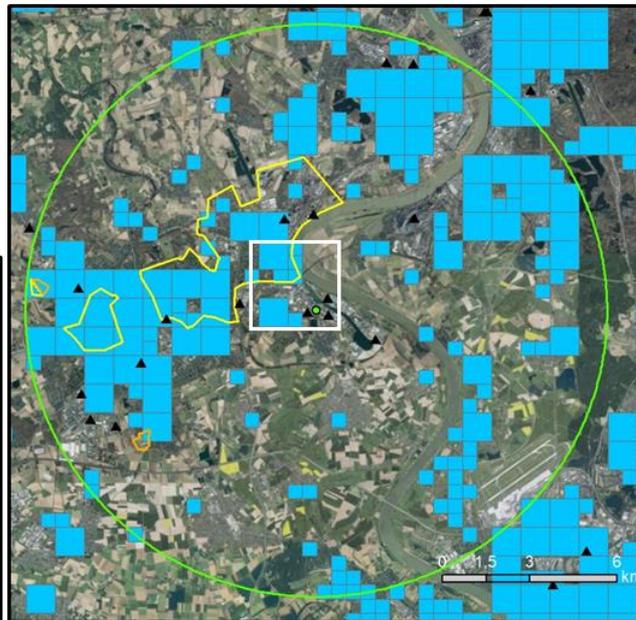
---

- Technisches Potenzial v.a. im Hochtemperaturbereich nahezu vollständig erschließbar:
  - Korrelation zwischen entsprechenden Unternehmensstandorten und Netzgebieten
  - Wertigkeit/Menge (sowie Zeitcharakteristik)
- Im Mittel-/Niedertemperaturbereich wirtschaftlich erschließbarer Anteil ca. 80-90 %
- **Hohe Relevanz leitungsgebundener Abwärmenutzung** im Hinblick auf Dekarbonisierung des Wärmesektors

# Praxiserhebungen: Fallstudien an sechs Industriestandorten



Bestehende Netze —  
 Netzpotenziale ■  
 Neubau —  
 Industriestandorte ▲  
 Trassenverlauf —



Trassenverlauf zur externen, netzgebundenen Nutzung (links) sowie Umgebungsanalyse zu externen Wärmesenken (rechts)

- **Abwärmequelle: Kondensat** aus Sammelschiene
  - $T_{Abw} \approx 90 \text{ °C}$  im Mittel
  - Diskontinuierlicher Anfall ( $> 90 \text{ (m}_n\text{)}^3/\text{h}$ , ca. 8.100 h/a)
- Einkopplung in Wärmenetz der Stadtwerke Krefeld
- **Technisches Potenzial** ca. **25 GWh/a**
- Geschätzte Investitionen ca. 3,8 Mio. €
- Überschlägige **Wärmegestehungskosten** ca. **25 €/MWh**

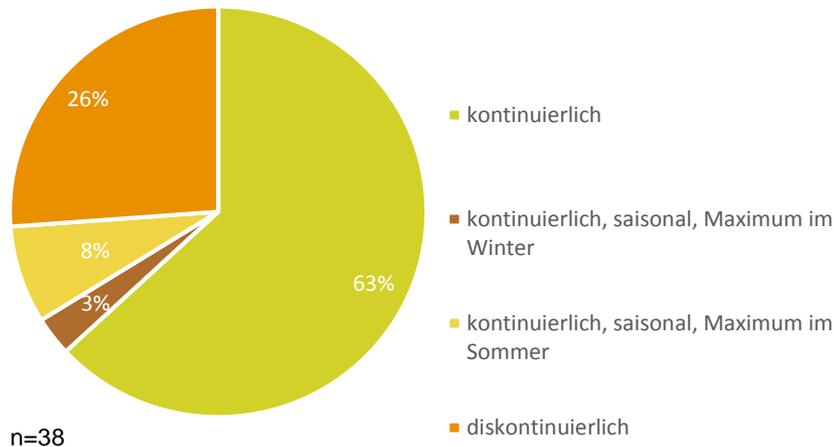
# Praxiserhebungen: Fallstudien an sechs Industriestandorten

Firma	Branchencode (NACE 2008)	Branchenbezeichnung (NACE 2008)	Theoretisches Potenzial in MWh <sub>th</sub> /a	Validiertes theoretisches Potenzial in MWh <sub>th</sub> /a	Priorisiert erschließbares technisches Potenzial in MWh <sub>th</sub> /a*	Kurzbeschreibung des Grobkonzepts	Investitionen in Mio. €	Wärmegestehungskosten in €/MWh <sub>th</sub> *
1.	1062	Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnisse	59.300	59.200	25.000	Einspeisung von Abwärme aus Wasserdampf in Bestandsnetz	3,8	<b>25</b>
2.	2451	Eisengießereien	9.900	15.900	2.000	Versorgung eines Nachbarbetriebs mit Abwärme aus Thermalölkreislauf	0,3	<b>25</b>
3.	2014	Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalie	784.000	784.000	25.000	Einspeisung von Abwärme aus Wasserdampf in Bestandsnetz	4,7	<b>25</b>
4.	1712	Herstellung von Papier, Karton und Pappe	40.000	37.500	< 4.000	Einspeisung von Abwärme aus Abluft in Bestandsnetz	2,5	<b>50 / 140</b>
5.	1081	Herstellung von Zucker	32.500	30.400	4.500	Versorgung eines Freizeitbads mit Abwärme aus gereinigtem Rauchgas	1,3	<b>35</b>
6.	2399	Herstellung von sonstigen Erzeugnissen aus nichtmetallischen Mineralien	56.000	2.200	3.200	Versorgung eines Neubauwohngebiets mit Abwärme aus Kühlwasser	2,6	<b>165</b>

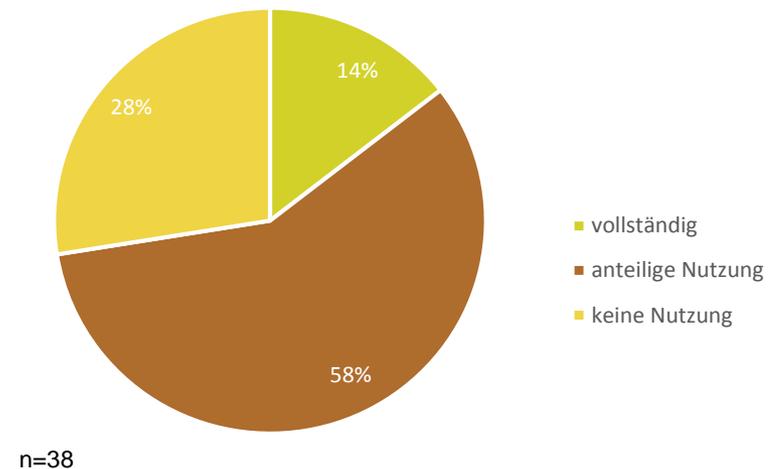
# Praxiserhebungen: Unternehmensumfrage zur netzgebundenen Abwärmennutzung

- Knapp **90 %** der befragten Unternehmen geben einen, auch nach betriebsinterner Wärmeintegration weiterhin **bestehenden Abwärmeüberschuss** an
- **40 %** schätzen das **Potenzial zur Abwärmelieferung** als „hoch“ oder „sehr hoch“ ein

a) Zeitliches Verhalten der Abwärmeströme



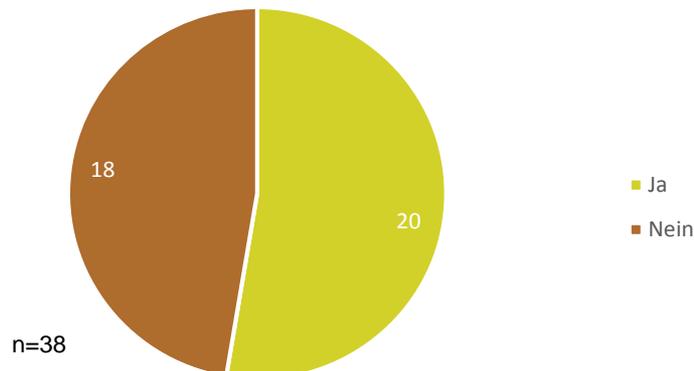
b) Nutzungsgrad des vorhandenen Abwärmepotenzials in der eigenen Betriebsstätte



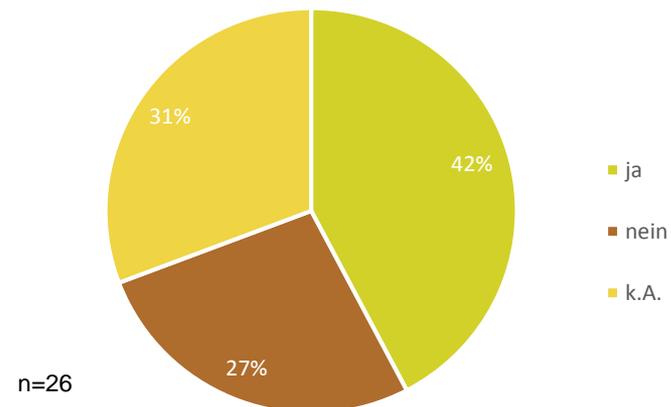
# Praxiserhebungen: Unternehmensumfrage zur netzgebundenen Abwärmennutzung

- **Unkenntnis über bestehende externe Wärmesenken** und Skepsis ggü. technisch-wirtschaftlicher Erschließbarkeit über Wärmenetze
- Zwei Drittel der genannten Hemmnisse bei der Vertragsgestaltung beziehen sich auf die **rechtliche Verbindlichkeit der Lieferung seitens der Unternehmen** (Lieferungsabsicherung, Vertragslaufzeit und Parametrierung der Wärme), rund 20% auf Anforderungen des Fernwärmeunternehmens/Wärmeabnehmers

a) Anzahl Unternehmen, die "fehlende Wirtschaftlichkeit" als Hinderungsgrund zur Lieferung von Abwärme betrachten



b) Anteil Teilnehmer, die Erschwernisse im Rahmen der Vertragsgestaltung sehen



# Praxiserhebungen: Unternehmensumfrage zur netzgebundenen Abwärmennutzung

- Aussagen der Unternehmen zu möglichen Hebeln:

*„Abwärmennutzungsgebot einführen“*

*„preisliche Förderung von Industrierwärme“*

*„Informationsplattform bieten“*

*„Informationen und Förderung bereitstellen“*

*„transparente, einfache und fixe Fördersätze für langfristige Planungssicherheit“*

# Zusammenfassung

---

- Technisches Potenzial netzgebundener Abwärmenutzung von 23 bis 29 TWh/a, davon 11 TWh/a im Fernwärmebestand
- 80-90% der Quellen sind wirtschaftlich für eine Netzeinspeisung erschließbar
- Nutzungskonzepte sollten lokal überprüft werden – fehlende Wirtschaftlichkeit wird oftmals ohne genaue Prüfung als Hemmnis wahrgenommen

## Hebel:

- ❖ Verstärkte Förderung initialer Untersuchungen zur netzgebundenen Abwärmenutzung
- ❖ Systematisierte kommunale Wärmeplanung verringert Unkenntnis über Wärmesenken & deren Anforderungen
- ❖ Wärmesammelschienen/Wärmeverbünde zur Minimierung des Ausfallrisikos (sowohl kurzzeitig als auch langfristig bei Ausscheiden eines Lieferanten o.ä.)
- ❖ EVUs / Contractoren als qualifizierte Akteure und als Intermediär zur Absicherung und Verstetigung von Wärmelieferungen



INSTITUT FÜR ENERGIE-  
UND UMWELTFORSCHUNG  
HEIDELBERG

---

# Für Rückfragen stehe ich gerne zur Verfügung

**Sebastian Blömer**

[Sebastian.bloemer@ifeu.de](mailto:Sebastian.bloemer@ifeu.de) , Tel. +49 6221 4767-28

---

Projektinfos NENIA: <https://www.ifeu.de/projekt/nenia/>



Wilckensstraße 3 69120 Heidelberg Telefon +49 (0)6 221. 47 67 - 0 Telefax +49 (0)6 221. 47 67 - 19 [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)