



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# WORKSHOP ENERGIEVERSORGUNG 2050

---

PROJEKT MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ  
IN KIEL, 12.04.2017



09:00	20 min	<b>Einführung</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Projektvorstellung Masterplan 100 % Klimaschutz (Projektteam, Konzept und Umsetzungsphase)</li><li>- Ziele und Ablauf des Workshops</li></ul>
09:20	30 min	<b>Klimapolitische Rahmenbedingungen für die Energieversorgung der Zukunft</b> Prof. Dr. Olav Hohmeyer, SCS Hohmeyer   Partner GmbH
09:50	20 min	<b>Ziele und Methodik der Erstellung des Konzepts für die Energieversorgung Kiels im Jahr 2050</b>
10:10	15 min	<b>Stromverbrauch und Stromversorgung in der Landeshauptstadt Kiel heute und morgen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Struktur der Stromversorgung und resultierende Treibhausgasemissionen (Status-Quo)</li><li>- Entwicklung des Stromverbrauchs im „Masterplan 100 % Klimaschutz“ bis zum Jahr 2050</li></ul>
10:25	20 min	<b>Potentiale und Ressourcen für die Stromversorgung von morgen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Annahmen zur Weiterentwicklung der Erzeugungsanlagen auf dem Stadtgebiet</li><li>- Potentiale zur Nutzung regenerativer Energieträger in Kiel und im Umland</li></ul>
10:45	15 min	<b>Pause</b>
11:00	60 min	<b>Arbeitsgruppenphase: Erarbeitung von Szenarien bis zum Jahr 2050</b> Diskussion u.a. zu folgenden Themen <ul style="list-style-type: none"><li>- Fahrweise der Erzeugungsanlagen auf dem Stadtgebiet</li><li>- Ausbau der erneuerbaren Energieversorgung in Kiel und im Umland</li></ul>
12:00	30 min	<b>Vorstellung und Zusammenführung der Arbeitsgruppenergebnisse</b>
12:30	60 min	<b>Mittagspause</b>



13:30	10 min	<b>Begrüßung des Teilnehmer*innenkreises für den Nachmittags-Teil</b> Peter Todeskino, Bürgermeister der Landeshauptstadt Kiel
13:40	20 min	<b>Vorstellung der Ergebnisse des Vormittags</b>
14:00	15 min	<b>Wärmeverbrauch und Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt Kiel heute und morgen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Struktur der Wärmeversorgung und resultierende Treibhausgasemissionen (Status-Quo)</li><li>- Entwicklung des Wärmeverbrauchs im „Masterplan 100 % Klimaschutz“ bis zum Jahr 2050</li></ul>
14:15	25 min	<b>Potentiale und Ressourcen für die Wärmeversorgung von morgen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Annahmen zur Weiterentwicklung der Erzeugungsanlagen auf dem Stadtgebiet</li><li>- Potentiale zur Ausweitung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung (Fern- und Nahwärme)</li><li>- Potentiale zur Nutzung von regional erzeugtem Strom im Wärmesektor</li><li>- Potentiale zur Nutzung regenerativer Energieträger in Kiel und im Umland</li></ul>
14:40	60 min	<b>Arbeitsgruppenphase: Erarbeitung von Szenarien bis zum Jahr 2050</b> Diskussion u.a. zu folgenden Themen <ul style="list-style-type: none"><li>- Ausbau der leitungsgebundenen Wärmeversorgung (Fern- und Nahwärme)</li><li>- Fahrweise und Weiterentwicklung der Erzeugungsanlagen auf dem Stadtgebiet (leitungsgebundene Wärmeversorgung: Fern- und Nahwärme)</li><li>- Umrüstung und Umstellung der nicht leitungsgebundenen Wärmeversorgung</li></ul>
15:40	15 min	<b>Pause</b>
15:55	30 min	<b>Vorstellung und Zusammenführung der Arbeitsergebnisse</b>
16:25	30 min	<b>Umsetzungsstrategien</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Welche wichtigen langfristigen Weichenstellungen müssen erfolgen zur Realisierung des Handlungsplanes?</li><li>- Welche Implikationen bestehen für zentrale Akteure der Umsetzungsphase?</li></ul>
16:55	5 min	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Ausblick auf den Workshop „Zukunft der Fernwärme“ am 09.05.2017</li></ul>
17:00		<b>Ende der Veranstaltung</b>



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# KLIMAPOLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE ENERGIEVERSORGUNG DER ZUKUNFT

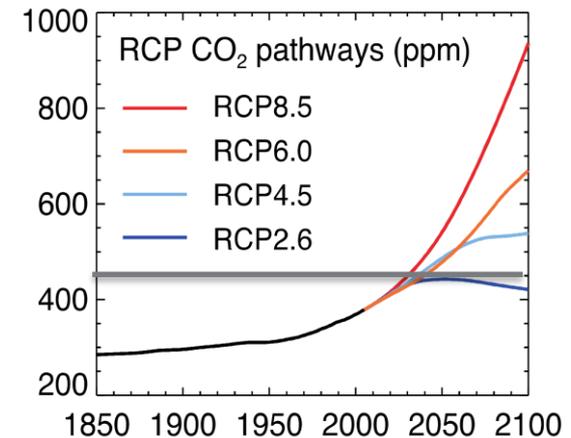
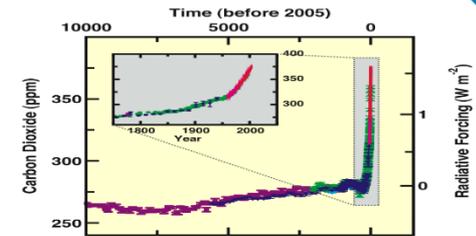
---

PROF. DR. OLAV HOHMEYER

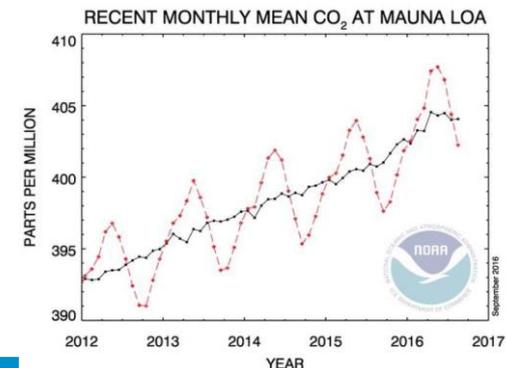
# DIE ZEIT LÄUFT UNS DAVON



- Die Konzentration der Treibhausgase nähert sich rapide dem maximalen Niveau, dass für eine Stabilisierung der globalen Temperatur unterhalb der 2°C Marke notwendig ist (< 450 ppm CO<sub>2</sub>)
- Allein seit dem letzten IPCC Bericht, der eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 369 ppm im Jahr 2000 berichtete, ist die Konzentration bis **2011 auf 391 ppm** gestiegen (**22 ppm in 11 Jahren**)
- **März 2016 408,5 ppm (Mittel 404 ppm)**
- Wenn wir so weiter machen, haben wir bereits im Jahr **2035 die maximal verträgliche Konzentration überschritten!**



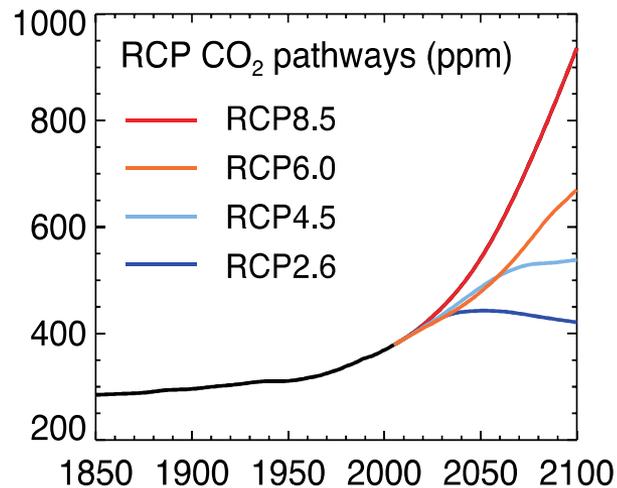
Quelle: IPCC 2013 (WG I), TS, S.94



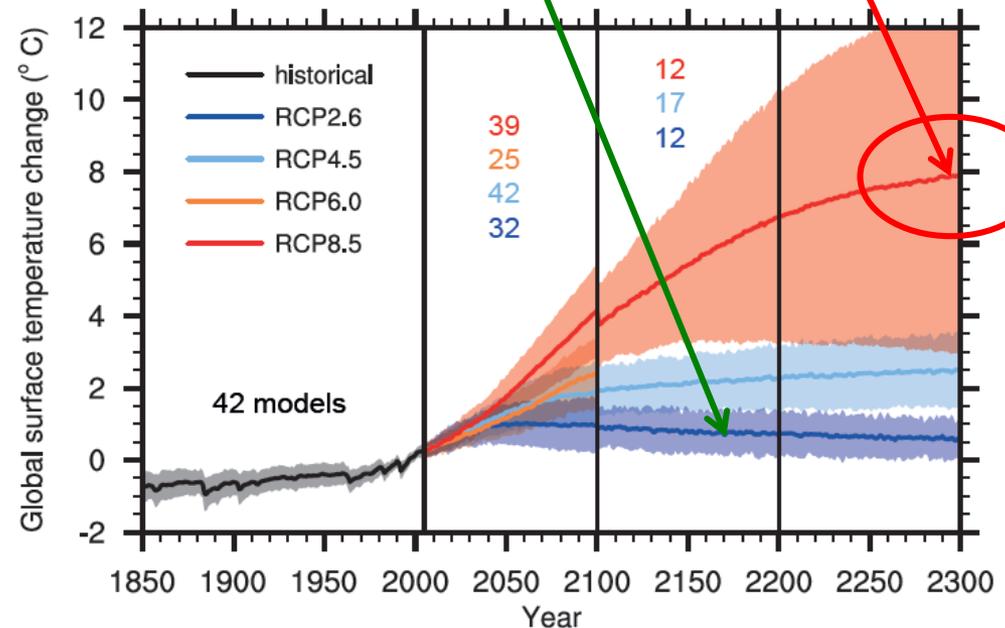
# ,WEITER SO FÜHRT ZU TEMPERATURANSTIEG VON 8° C UND MEHR



- Wenn wir so weitermachen wie bisher, dann steigt die globale Mitteltemperatur in den nächsten dreihundert Jahren um ca. 8 °C – mit verheerenden Folgen
- Noch ist es möglich, den Temperaturanstieg unter 2 °C zu stabilisieren



Quelle: IPCC 2013 (WG I), TS, S.94)

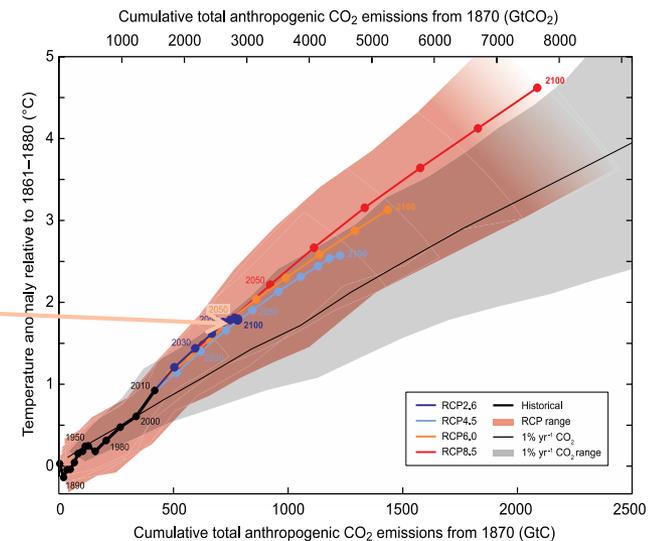
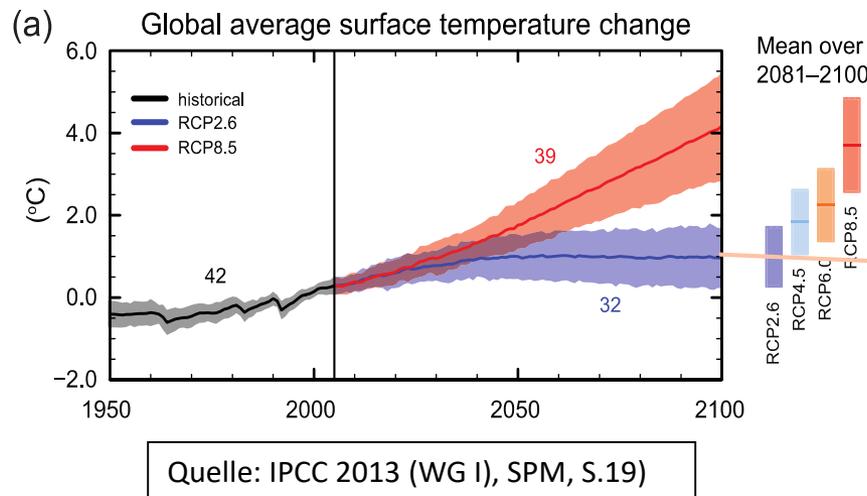


Quelle: IPCC 2013 (WG I), TS, S.89)

# BEI DEN EMISSIONEN BRAUCHEN WIR EINE VOLLBREMSUNG



- Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2°C ist nur bei einer Beschränkung auf Gesamtemissionen von 790 GtC erreichbar
- 515 GtC haben wir bereits emittiert (1890 bis 2011)
- Im Moment emittieren wir ca. 10 GtC/a (weitere 40 GtC seit 2012)
- Noch 235 GtC bis zum Ende aller anthropogenen THG-Emissionen



# WELCHE REDUKTIONSZIELE FOLGEN FÜR INDUSTRIELÄNDER?



**Box 13.7 The range of the difference between emissions in 1990 and emission allowances in 2020/2050 for various GHG concentration levels for Annex I and non-Annex I countries as a group<sup>a</sup>**

Scenario category	Region	2020	2050
<i>A-450 ppm CO<sub>2</sub>-eq<sup>b</sup></i>	Annex I	-25% to -40%	-80% to -95%
	Non-Annex I	Substantial deviation from baseline in Latin America, Middle East, East Asia and Centrally-Planned Asia	Substantial deviation from baseline in all regions
<i>B-550 ppm CO<sub>2</sub>-eq</i>	Annex I	-10% to -30%	-40% to -90%
	Non-Annex I	Deviation from baseline in Latin America and Middle East, East Asia	Deviation from baseline in most regions, especially in Latin America and Middle East
<i>C-650 ppm CO<sub>2</sub>-eq</i>	Annex I	0% to -25%	-30% to -80%
	Non-Annex I	Baseline	Deviation from baseline in Latin America and Middle East, East Asia

Quelle: IPCC 2007 (WG III, S. 776)

# FOSSILE ENERGIETRÄGER - DER KERN DES PROBLEMS



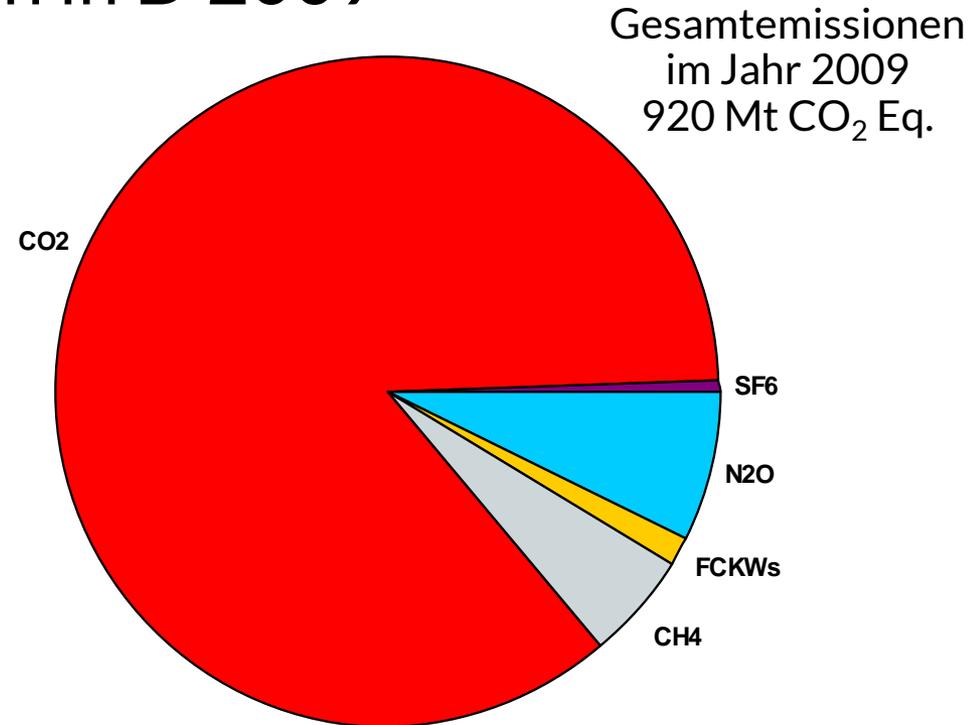
## Treibhausgasemissionen in D 2009

Anteile GHGs in D 2009:

- CO<sub>2</sub>: 85,7%
- CH<sub>4</sub>: 5,3%
- N<sub>2</sub>O: 7,3%
- HFCS/PFCS: 1,4%
- SF<sub>6</sub>: 0,4%

CO<sub>2</sub> zu 94% aus  
Energiewandlung!

**Fossile Energieträger  
sind 81% des Klimaproblems**



Quelle: BMU 2011

# WARUM CO<sub>2</sub>-NEUTRALITÄT?



CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele schließen ALLE Emissionsquellen mit ein:

- Internationaler Flug- und Schiffverkehr
- Prozessemissionen
- Landnutzung
- Zusätzliche Emissionen durch Klimaveränderungen

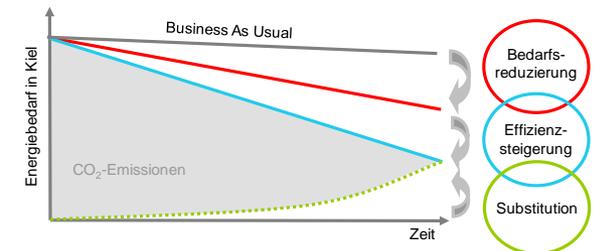
→ CO<sub>2</sub>-Neutralität als notwendige Zielsetzung für die verbleibenden Sektoren in Industrieländern



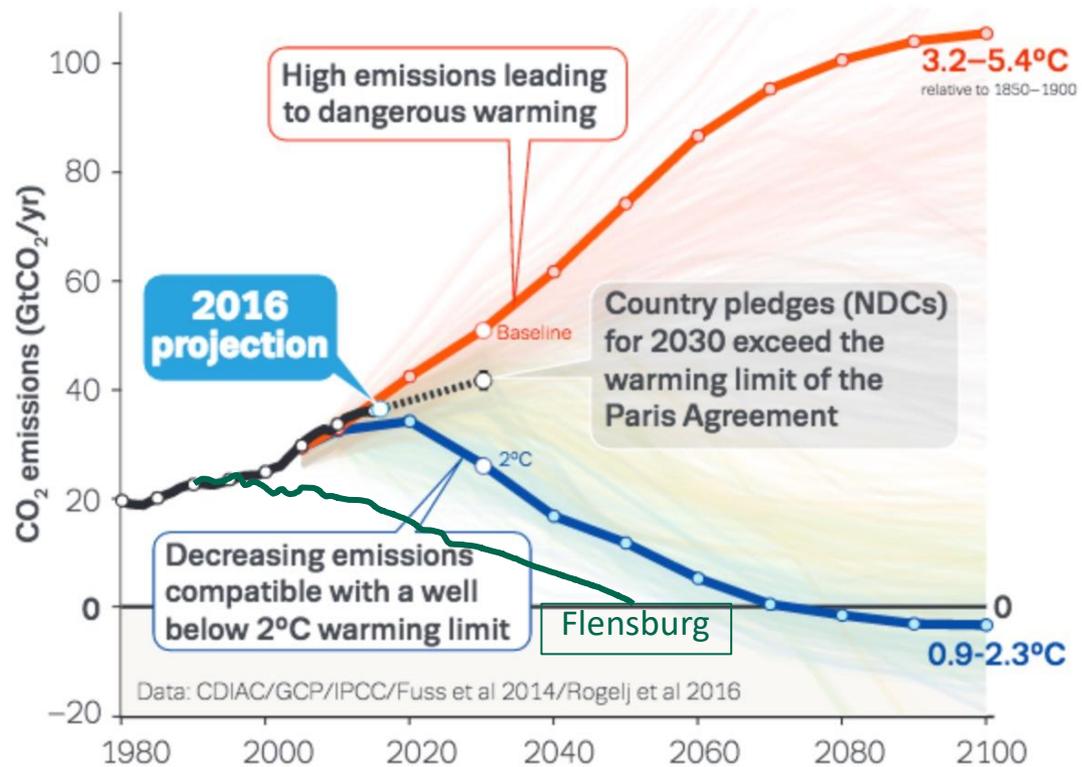
# AUF KLIMAVERTRÄGLICHE ENERGIESYSTEME UMSTELLEN



- Kernenergie ist keine Option, weil sie uns nur andere Probleme beschert (Unfälle, Abfälle, Terrorismus)
- ‚Saubere‘ fossile Energieträger (CCS) belegen knappe Lagerkapazität für CO<sub>2</sub>, die wir später dringend für negative Emissionen benötigen
- **Dauerhaft klimaverträgliche Energiesysteme müssen auf zwei Säulen aufbauen:**
  - verbesserte Energieeffizienz in allen Bereichen
  - Einsatz regenerativer Energieträger (100%)



# Globale und lokale Zielsetzungen



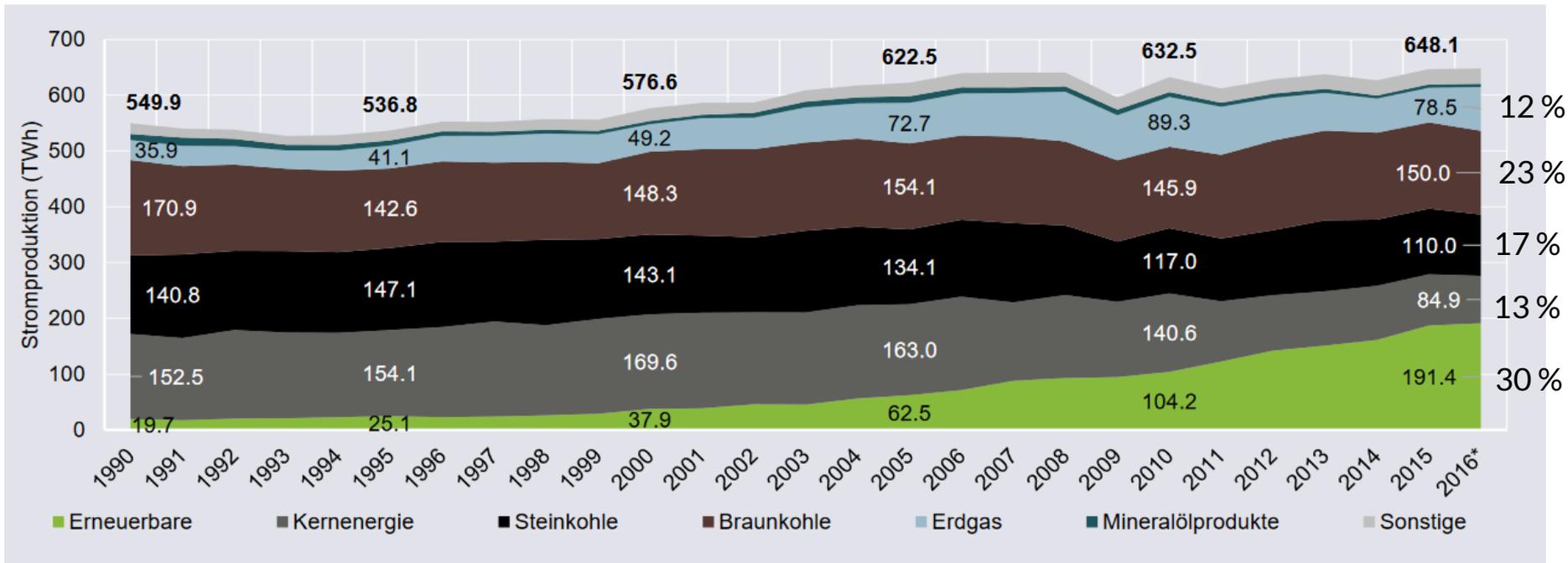
Global CO<sub>2</sub> emissions since 1980 (solid black) and country pledges under the Paris Agreement (dashed) compared to a high emissions scenario (orange) and a scenario compatible with limiting warming to 2°C above pre-industrial levels (blue). Source: Le Quéré, C. et al. (2016) based on Rogelj et al, (2016)

Quelle: Hohmeyer, 2017

# STAND DER ENERGIEWENDE IM BEREICH STROM



Stromerzeugung nach Energieträger in D (2000 – 2016)

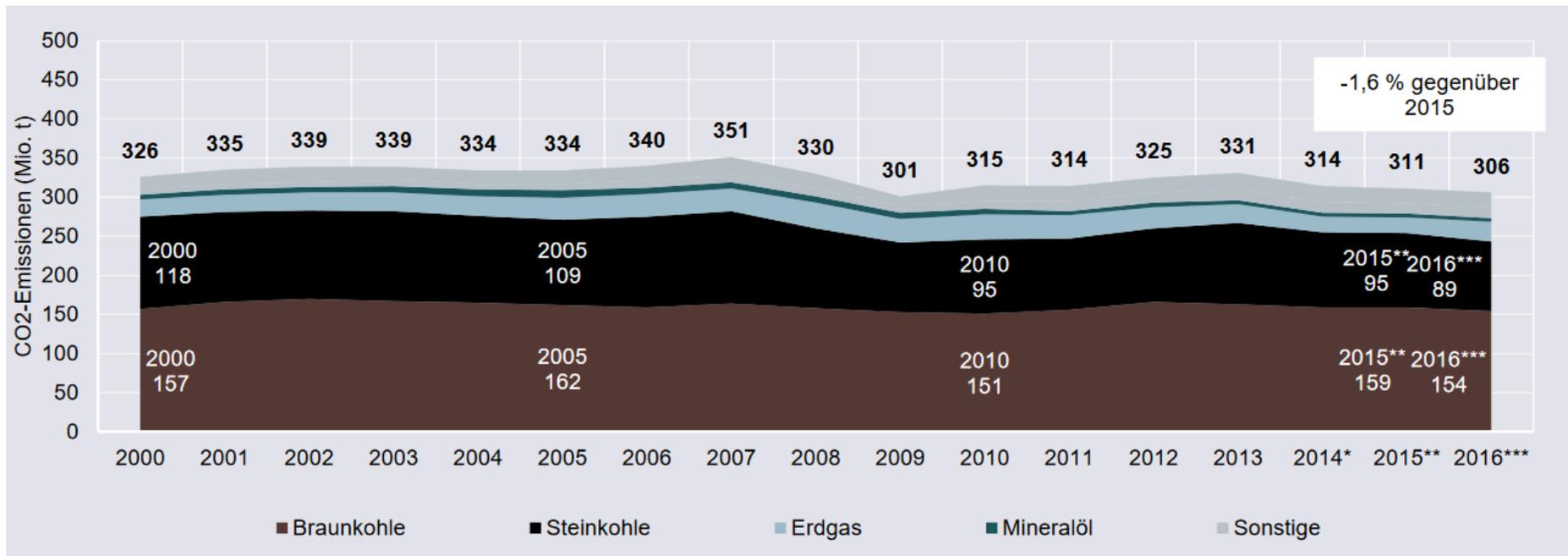


Quelle: Agora Energiewende, 2017

# STAND DER ENERGIEWENDE IM BEREICH STROM

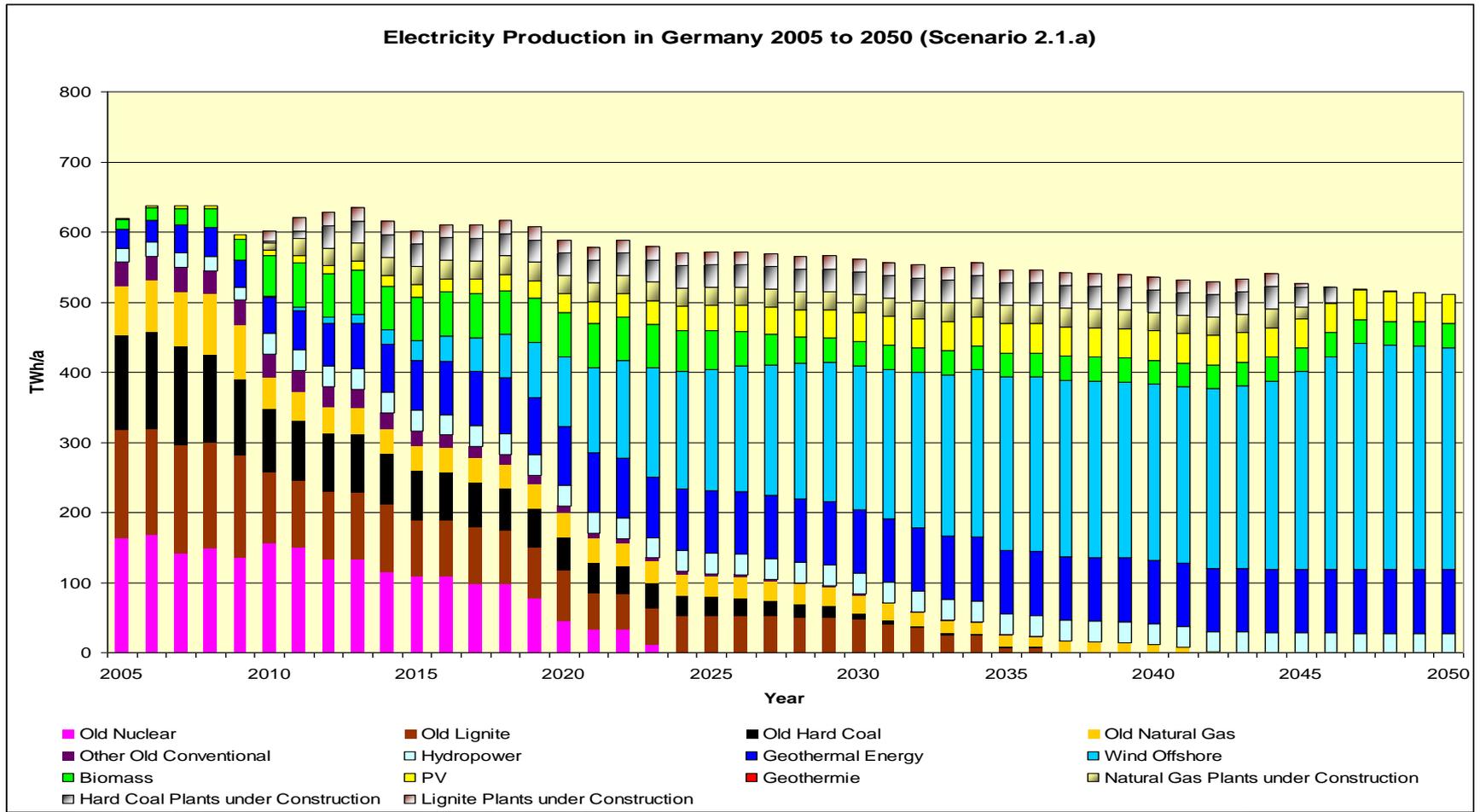


Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung in D (2000 – 2016)



Quelle: Agora Energiewende, 2017

# 100 % REGENERATIVE STROMVERSORGUNG FÜR DEUTSCHLAND



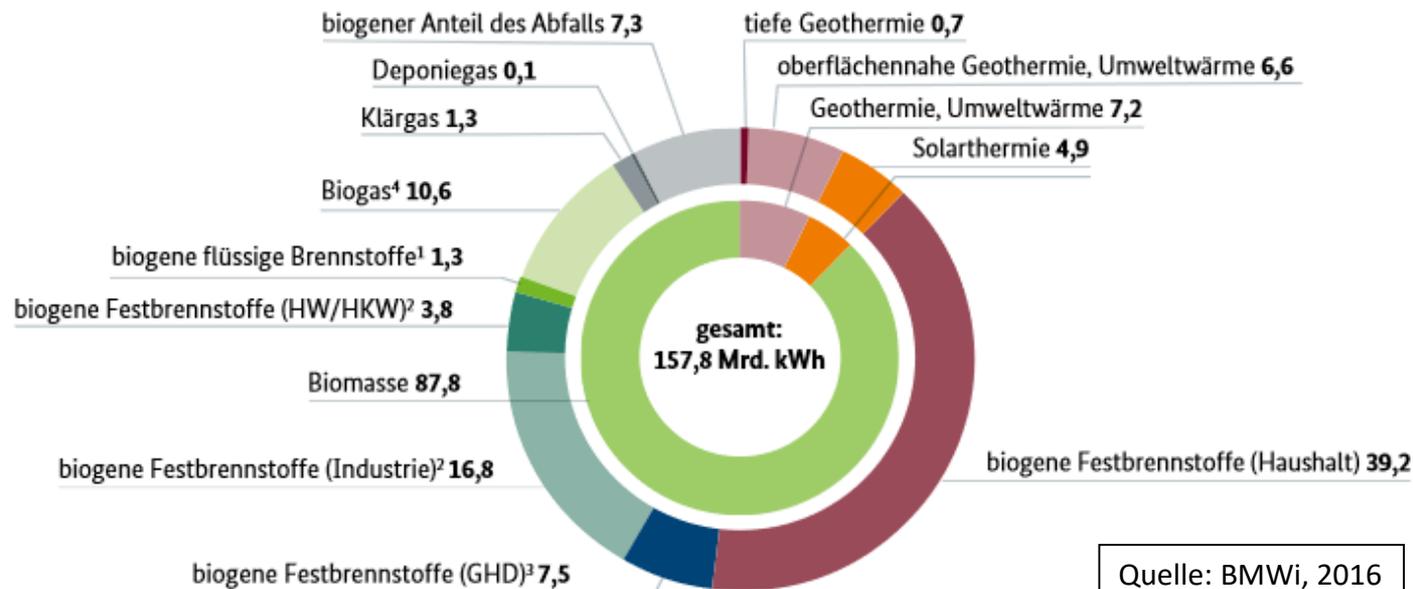
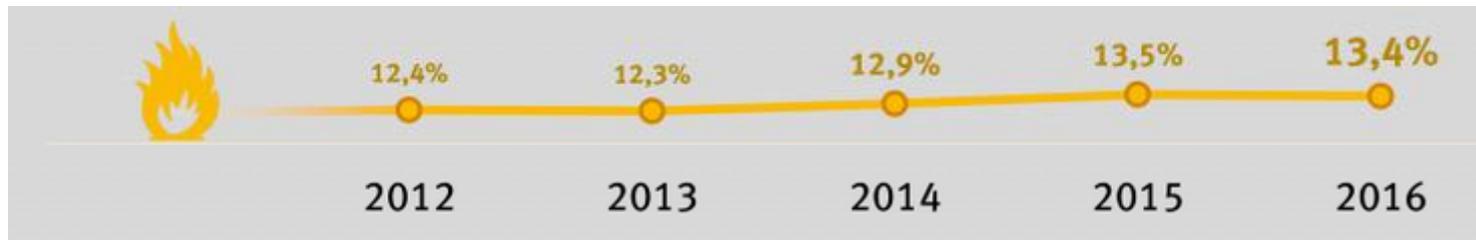
Quelle: SRU, 2011

# STAND DER ENERGIEWENDE IM BEREICH WÄRME



## Erneuerbare Energien im Wärmemarkt (2012 – 2016)

Quelle: Umweltbundesamt, 2017

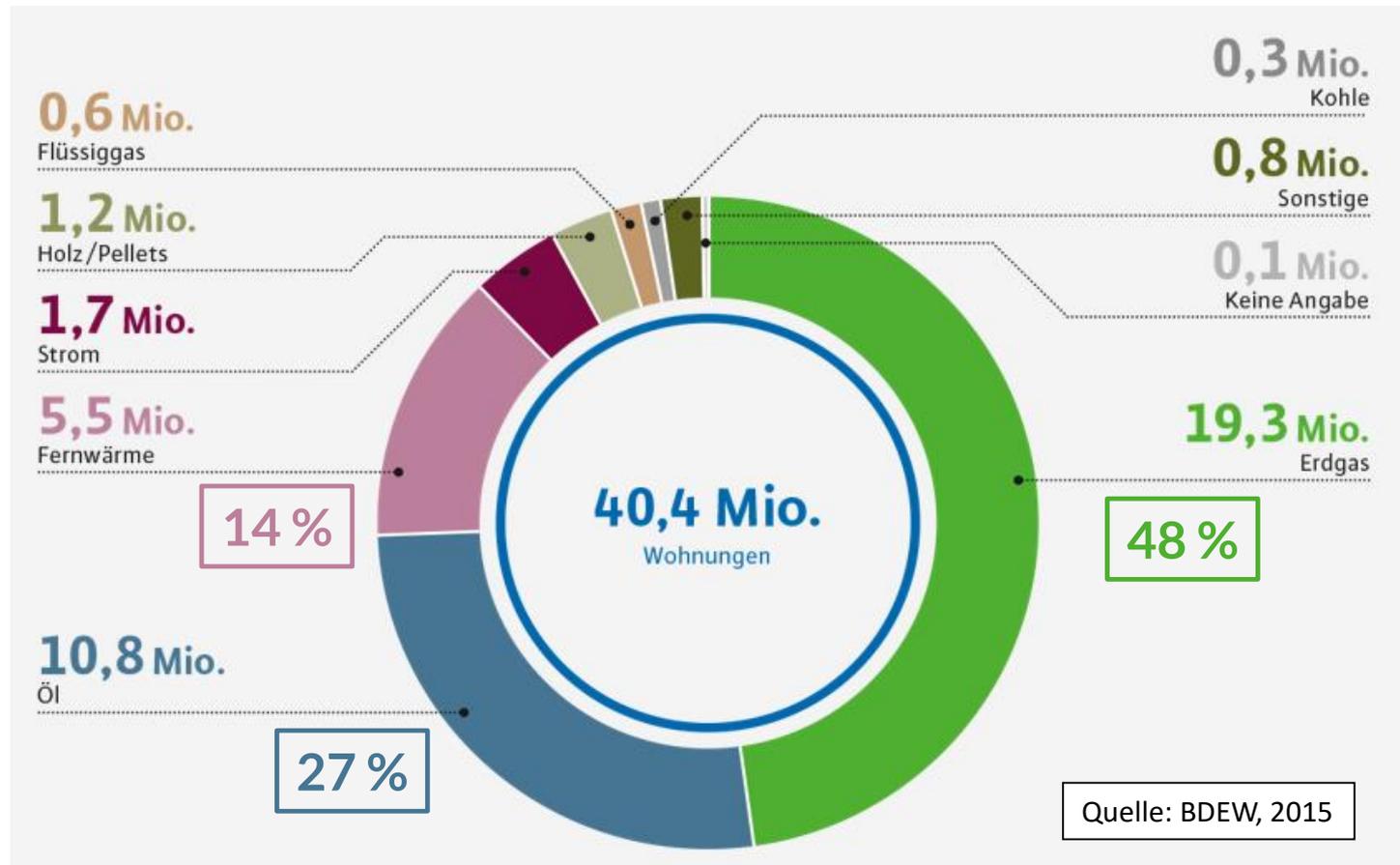


Quelle: BMWi, 2016

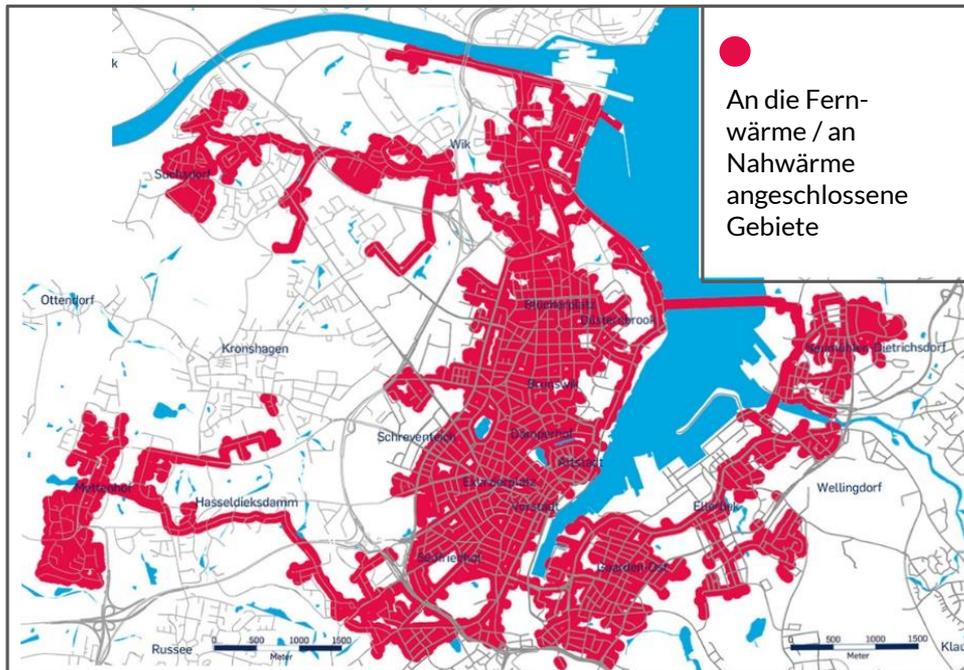
# STAND DER ENERGIEWENDE IM BEREICH WÄRME



Heizungssysteme in Wohngebäuden nach Energieträger in D



# BEDEUTUNG DER FERNWÄRME FÜR DAS ENERGIESYSTEM IN STÄDTEN



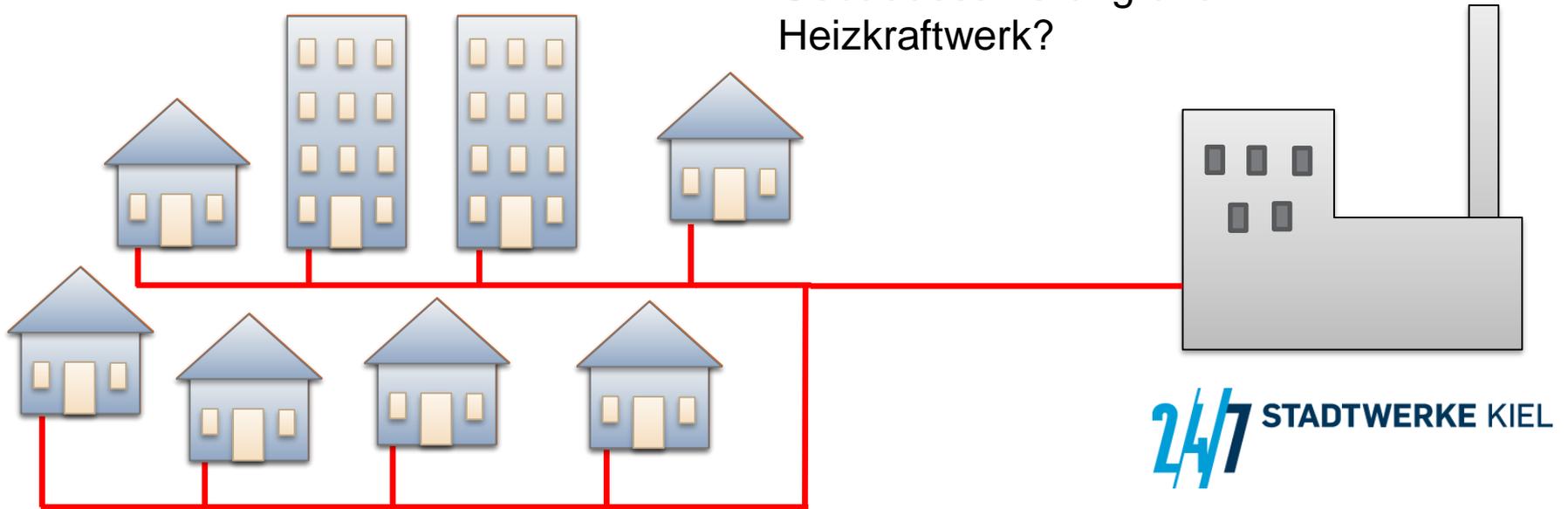
Quelle: Stadtwerke Kiel

- Umstellung auf CO<sub>2</sub>-neutrale Energieträger kann „zentral“ erfolgen → Steuerungsfunktion
- Hohe Flexibilität beim Einsatz verschiedener Energieträger und Technologien
- Solidarische Verteilung etwaiger Zusatzkosten für den Klimaschutz

# BEDEUTUNG ABGESTIMMTER LOKALER KONZEPTE



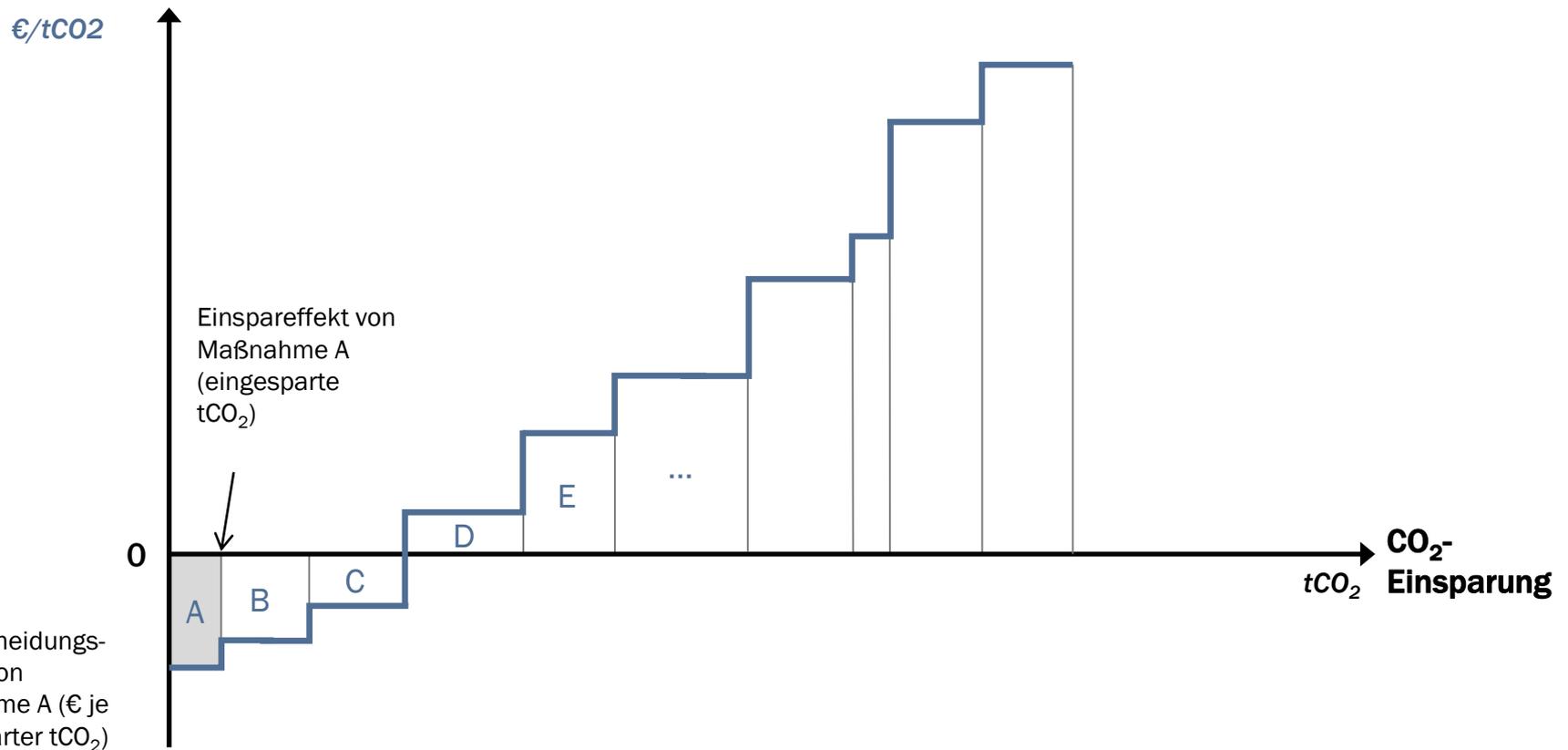
Optimale Kombination aus Gebäudesanierung und EE im Heizkraftwerk?



# OPTIMIERUNG DER VERMEIDUNGSKOSTEN



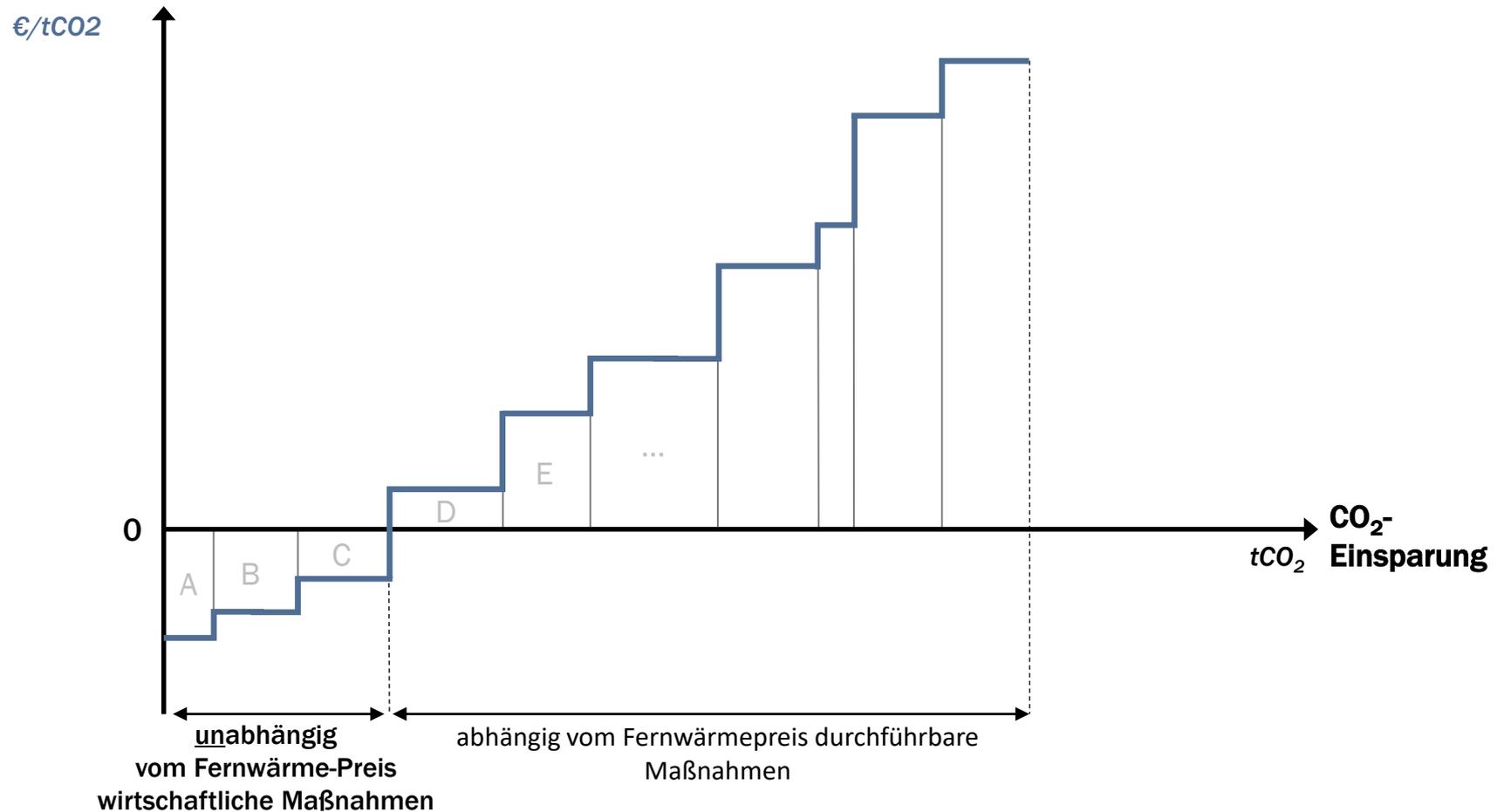
## Vermeidungskosten der Einsparmaßnahmen



# OPTIMIERUNG DER VERMEIDUNGSKOSTEN



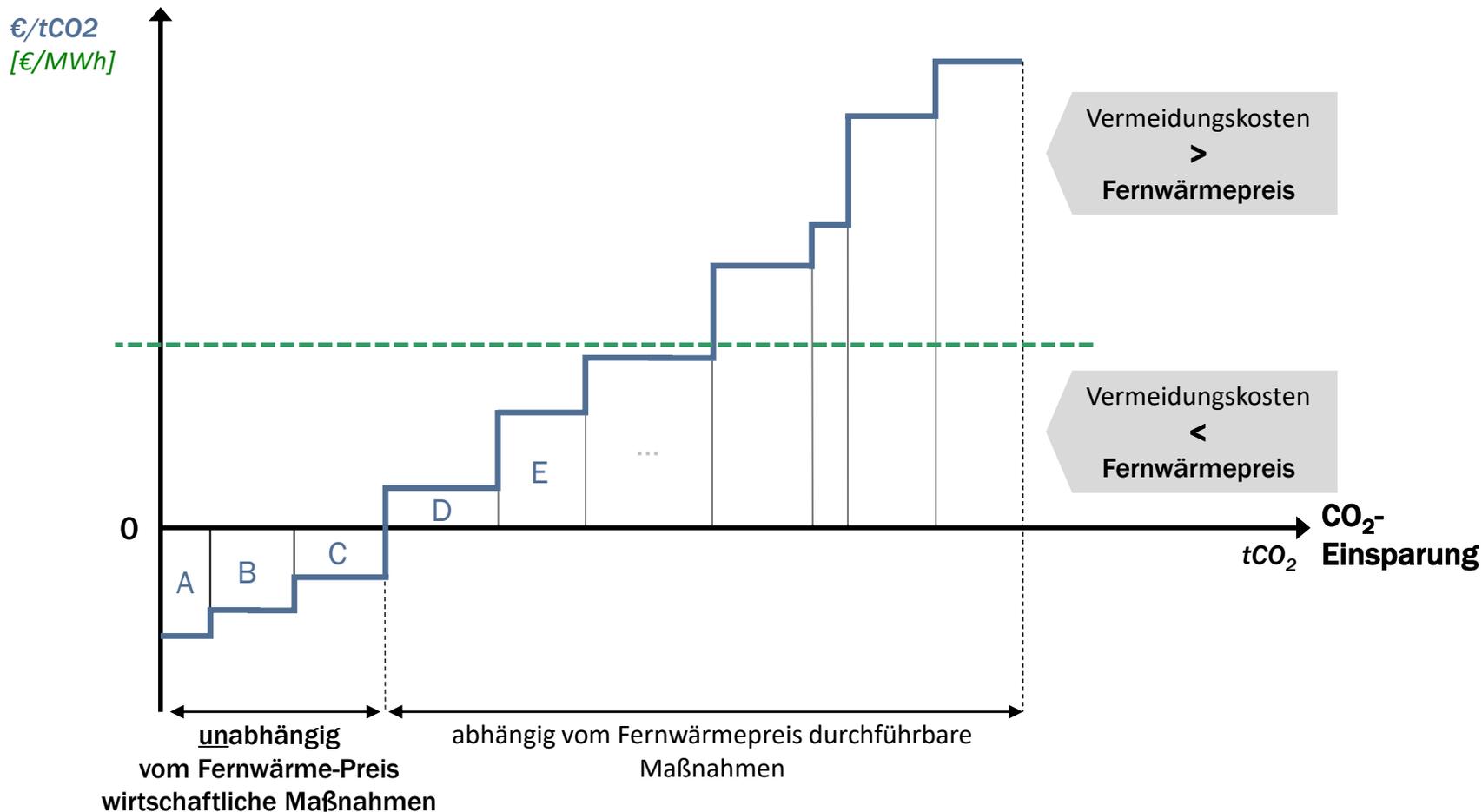
## Vermeidungskosten der Einsparmaßnahmen



# OPTIMIERUNG DER VERMEIDUNGSKOSTEN



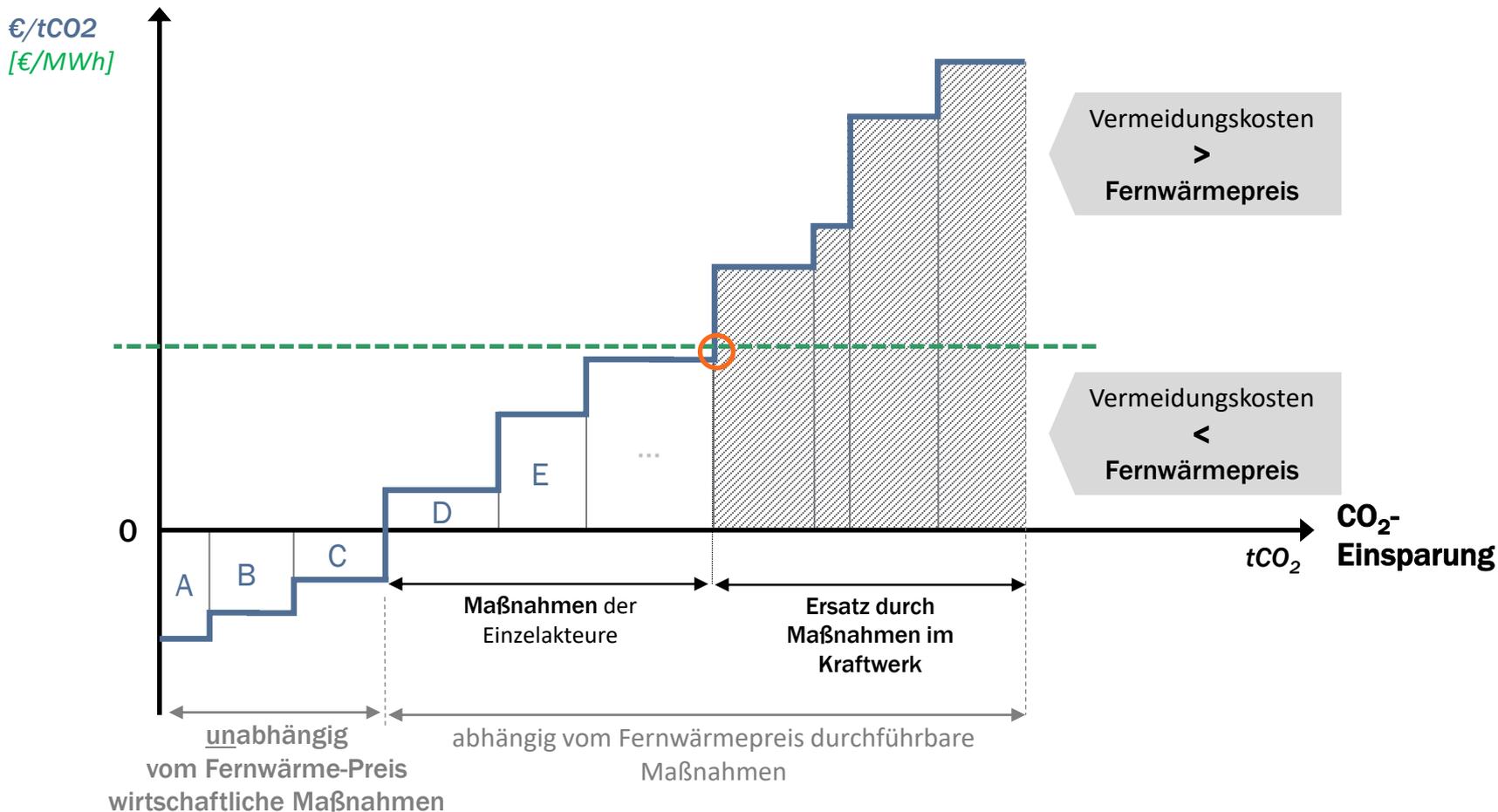
Vermeidungskosten der  
Einsparmaßnahmen  
Preis Fernwärme



# OPTIMIERUNG DER VERMEIDUNGSKOSTEN



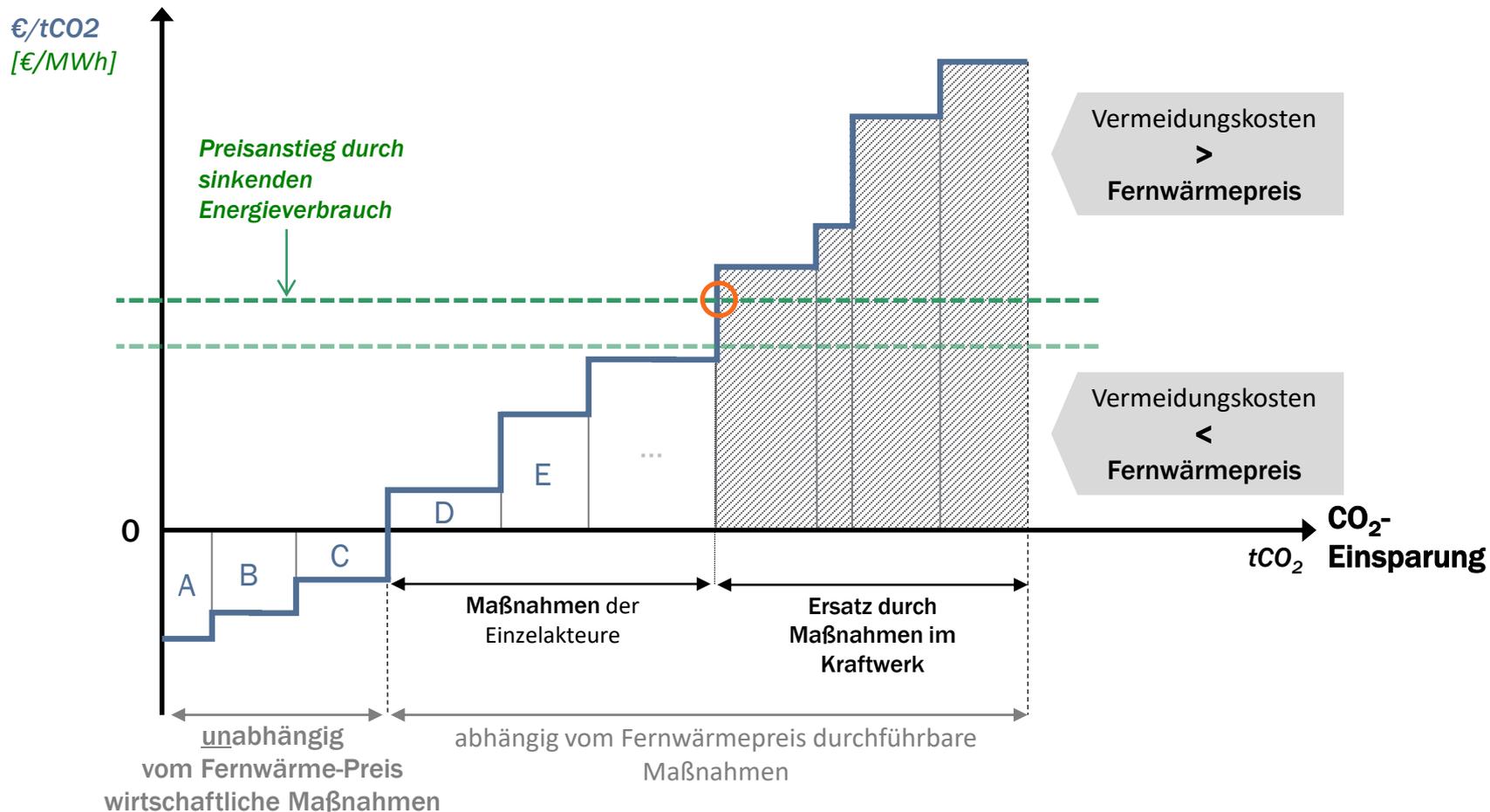
Vermeidungskosten der  
Einsparmaßnahmen  
Preis Fernwärme



# OPTIMIERUNG DER VERMEIDUNGSKOSTEN



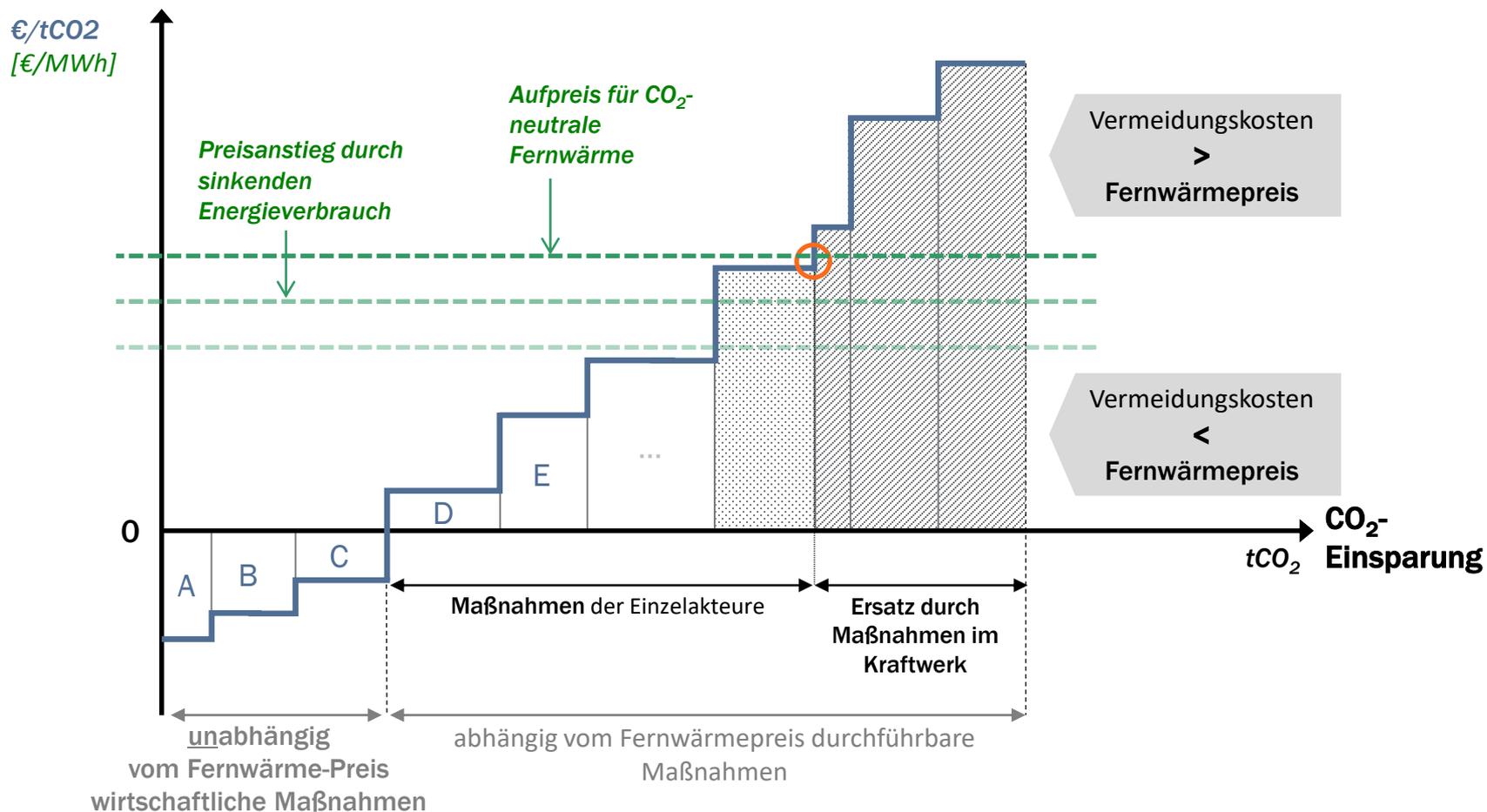
Vermeidungskosten der  
Einsparmaßnahmen  
Preis Fernwärme



# OPTIMIERUNG DER VERMEIDUNGSKOSTEN



Vermeidungskosten der  
Einsparmaßnahmen  
Preis Fernwärme



# AUSBLICK UND SCHLUSSFOLGERUNG



- ❖ Für den internationalen Klimaschutz ist es von entscheidender Wichtigkeit, dass Vorreiter-Städte mit großem Engagement vorangehen: Genau dies ist das Ziel des Projekts „Masterplan 100 % Klimaschutz“
- ❖ Eine kooperative und auf die Zielerreichung im Jahr 2050 abgestimmte Strategie verspricht individuelle Kostenvorteile für die Akteure.
- ❖ Die lokale Strategie zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung ist zentrale Einflussgröße für die Strategien in den Sektoren Haushalte, Unternehmen und Mobilität
- ❖ Lassen Sie uns gemeinsam einen Weg zur CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung der Landeshauptstadt Kiel im Jahr 2050 entwickeln!



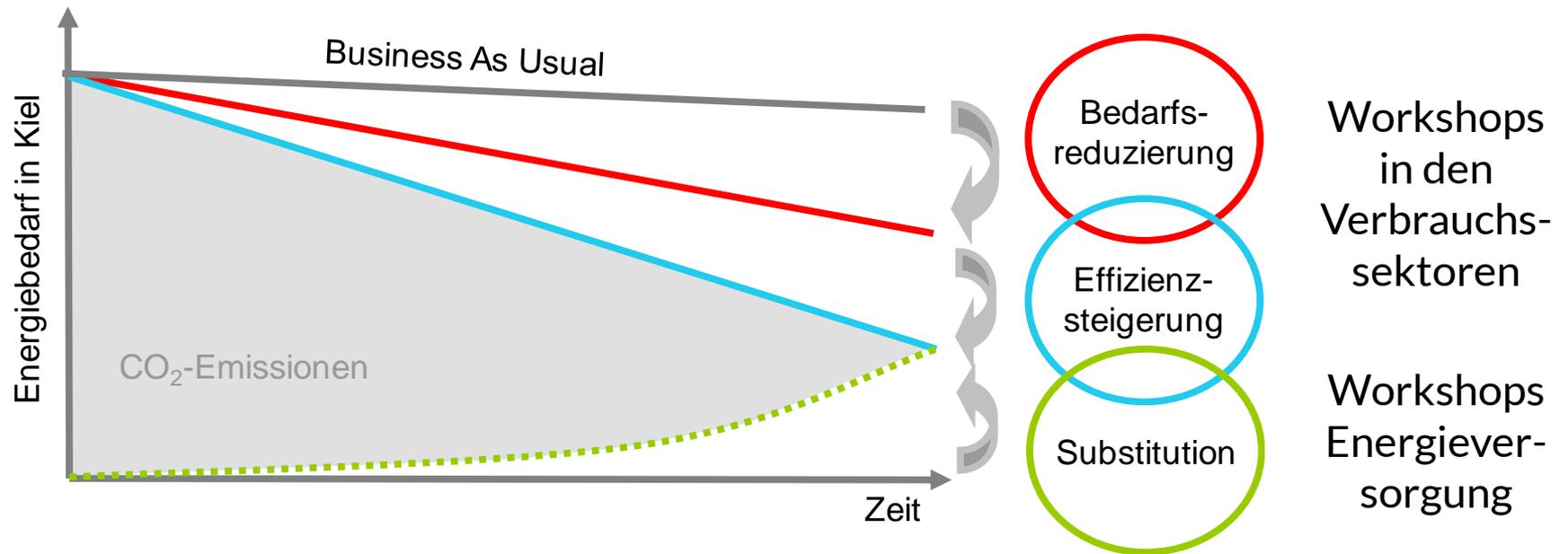
**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# ZIELE UND METHODIK DER KONZEPTERSTELLUNG CO<sub>2</sub>- NEUTRALE ENERGIEVERSORGUNG

---

# GANZHEITLICHER ANSATZ

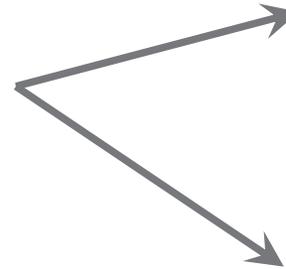


Zielsetzung für das Jahr 2050: Deckung des verbleibenden Energieverbrauchs in der Landeshauptstadt Kiel durch CO<sub>2</sub>-neutrale Energieträger (Strom, Wärme, Kraftstoffe) zu jeder Stunde im Jahr

# DAS ENDENERGIEBASIERTE TERRITORIALPRINZIP

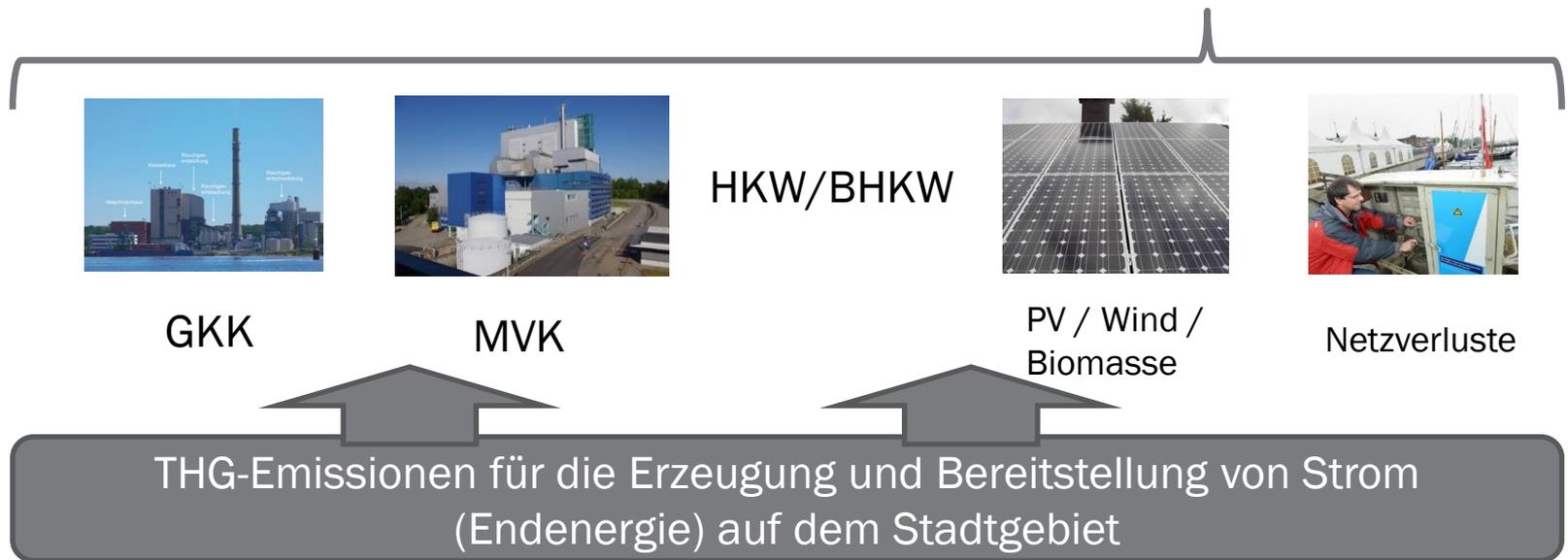


1 kWh Endenergie Strom

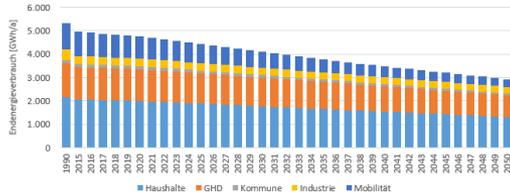


Strom-Bundesmix: Direkte und indirekte Emissionen  
0,620 t/MWh CO<sub>2</sub> Äq

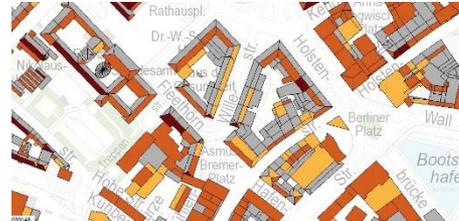
Territorialmix: Direkte und indirekte Emissionen  
1,012 t/MWh CO<sub>2</sub> Äq



# METHODIK ZUR ERSTELLUNG DES KONZEPTS ENERGIEVERSORGUNG 2050



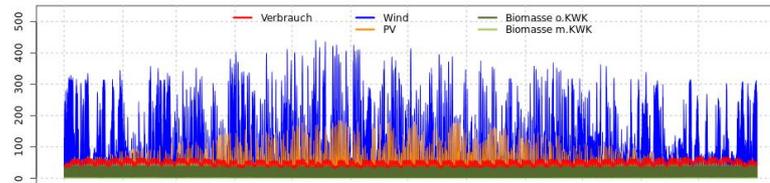
Entwicklung des Energieverbrauches (Literatur und Workshops)



Potentiale CO<sub>2</sub>-neutraler Energieproduktion (Literatur und Berechnung)

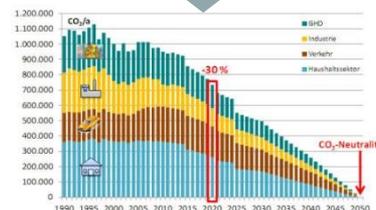


Treiber und Hemmnisse (Diskussion)



Modellierung und Szenario (Gruppen & Diskussion)

Zielpfad für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen



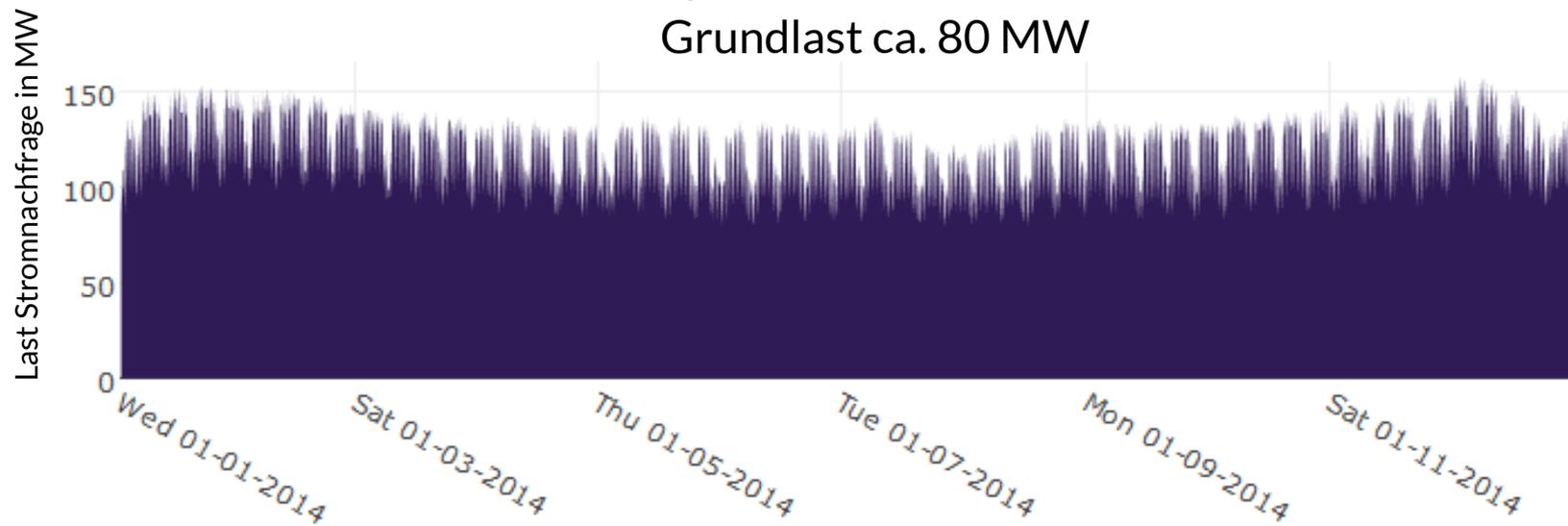
Wege und Strategien für die Umsetzung

# METHODIK IM BEREICH STROMERZEUGUNG



Lastverlauf Stromnachfrage in Kiel im Jahr 2014

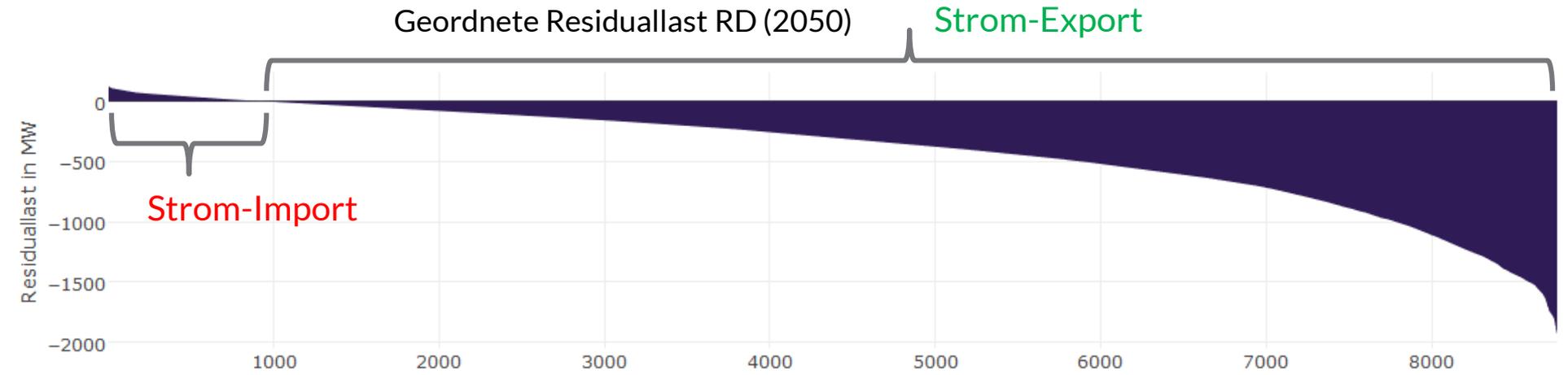
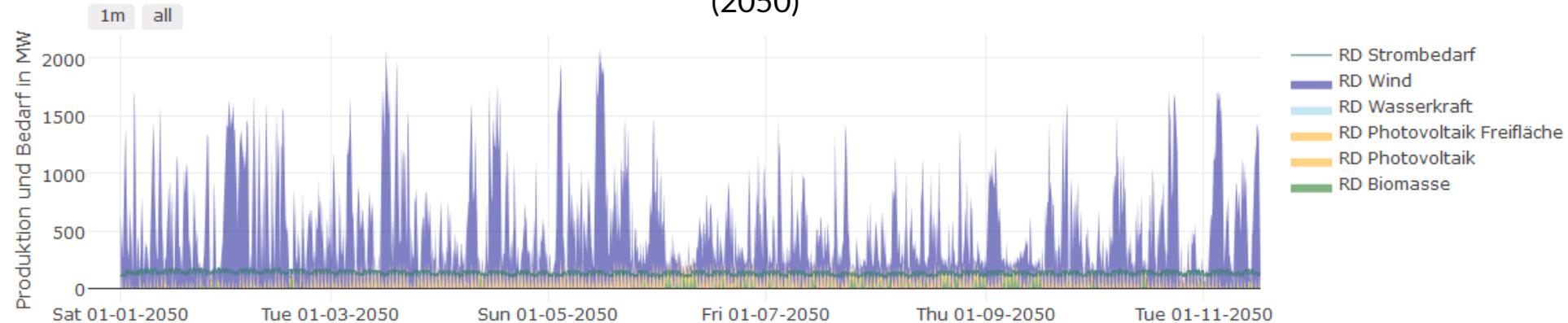
Spitzenlast ca. 155 MW  
Grundlast ca. 80 MW



# METHODIK IM BEREICH STROMERZEUGUNG



Stündliche Produktion und Bedarf in RD (Strom)  
(2050)



# POTENTIALANALYSE REGENERATIVE ENERGIEVERSORGUNG



Zu betrachtende Potentiale für die 100 % CO<sub>2</sub>-neutrale Strom- und Wärmeerzeugung:

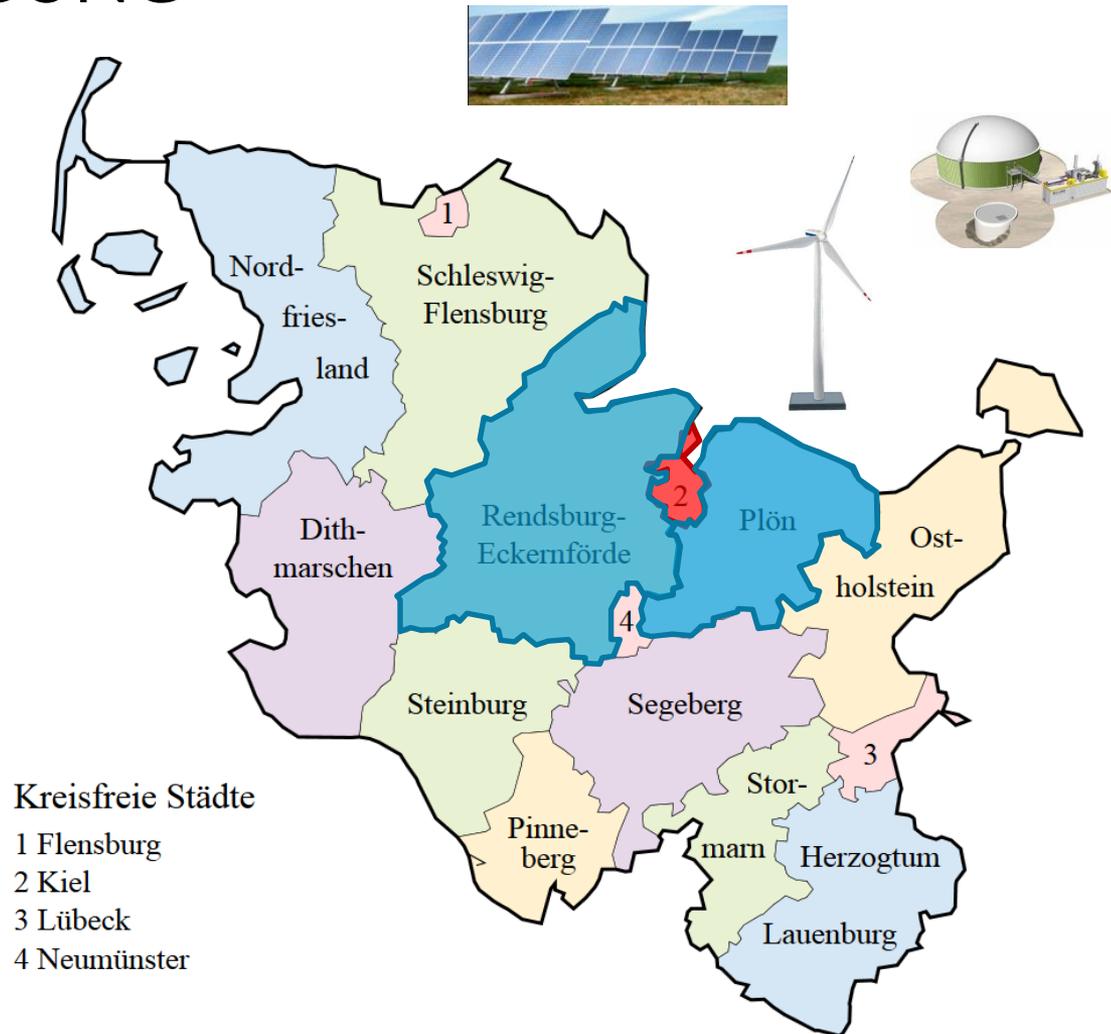
- + LH Kiel
- + Kreis Plön
- + Kreis RD-ECK

Daraus zu deckender Endenergieverbrauch:

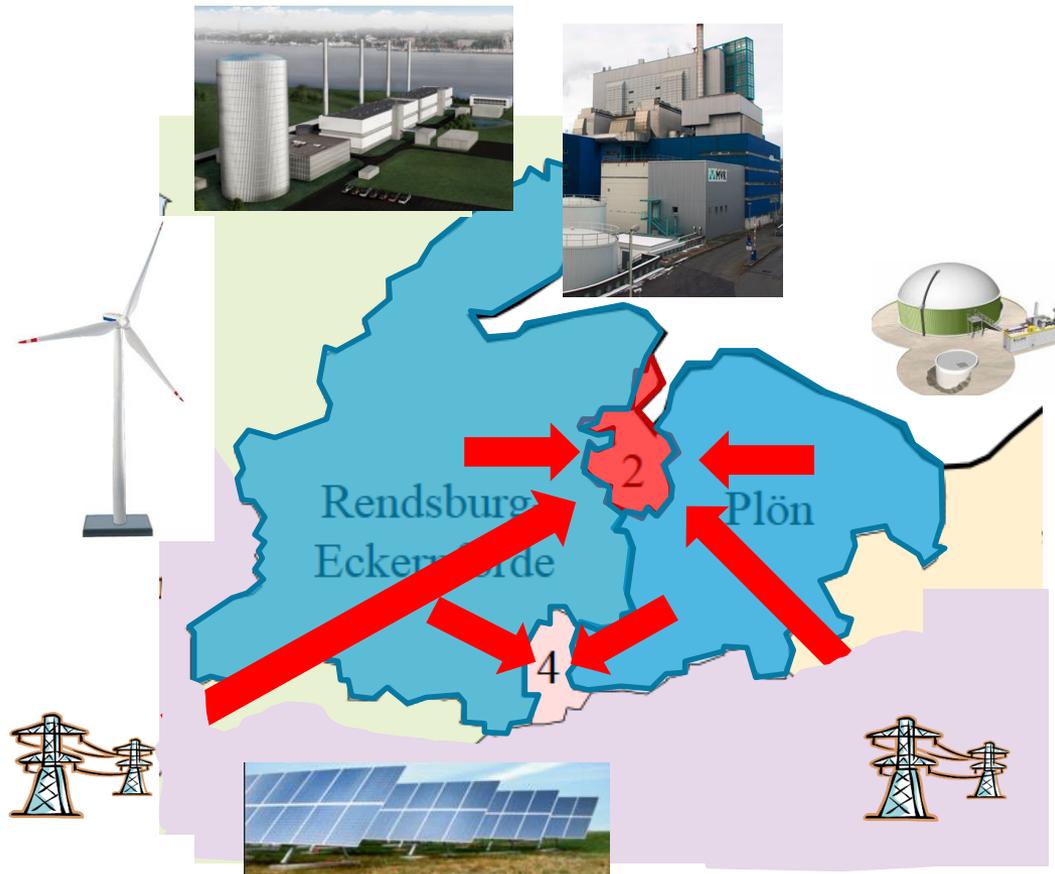
- Kreis Plön
- Kreis RD-ECK
- ½ Stadt Neumünster

---

= Nutzbares Potential für die LH Kiel



# REGIONALE BETRACHTUNG IM BEREICH STROM



Deckung des Stromverbrauchs in Kiel (8760 h/a):

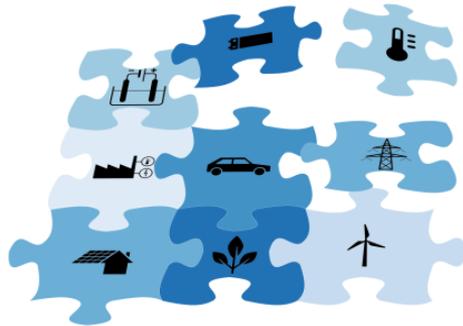
1. Erzeugung auf dem Stadtgebiet (konventionelle Heiz-/Kraft-Werke, Photovoltaik)
2. Import von Überschussstrom aus dem Kieler Umland (Wind, Photovoltaik, Bioenergie) – *falls verfügbar*
3. Import aus dem deutschen Netzgebiet

→ Einsatzoptimierung der Erzeugungsanlagen entsprechend variabler Kosten

# MODELLIERUNG DES ENERGIESYSTEMS



basierend auf OEMOF



entwickelt bei



gefördert von



Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH



Das Modell des regionalen Energiesystems basiert auf den Ergebnissen des Projekts:

## Open Source Energie-Modell Schleswig-Holstein (openMod.sh)

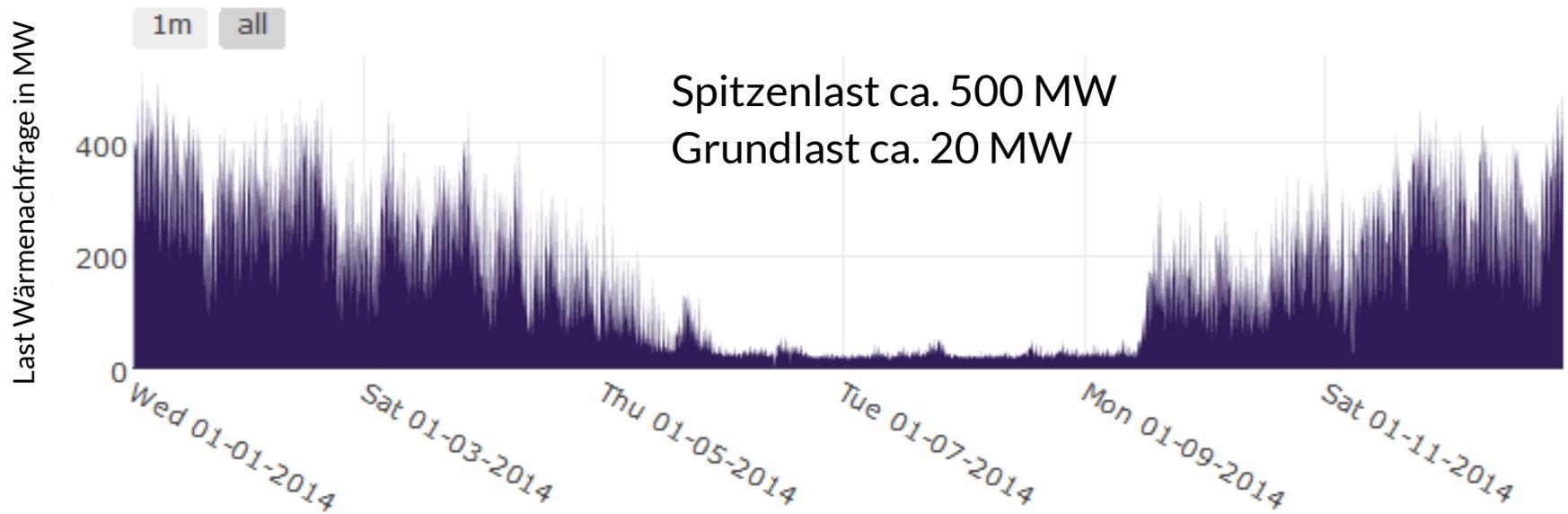
Ein regionales Strom-Wärme-Modell für Schleswig-Holstein basierend auf Open Source und Open Data

Entwicklung einer Modell-Plattform für Kiel: Simon Hilpert, Clemens Wingenbach, Thomas Breitenstein

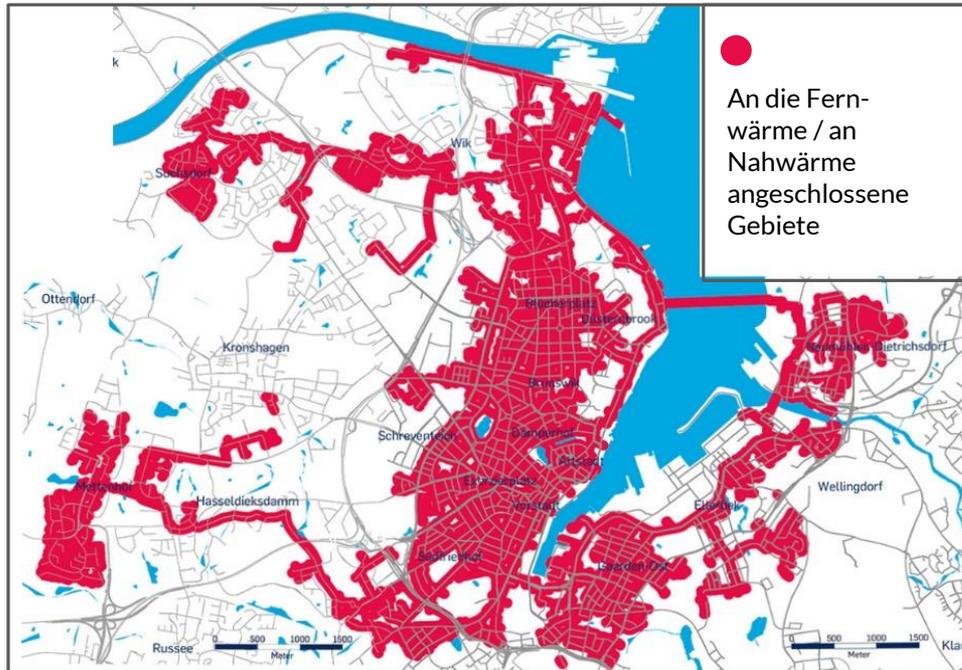
# METHODIK IM BEREICH LEITUNGSGEBUNDENE WÄRMERZEUGUNG



Lastverlauf Fern- und Nahwärme-Nachfrage in Kiel im Jahr 2014



# METHODIK IM BEREICH LEITUNGSGEBUNDENE WÄRMERZEUGUNG



Deckung des leitungsgebundenen Wärmeverbrauchs in Kiel (8760 h/a):

1. Heizkraftwerke in Grundlast / stromgeführte Heizkraftwerke
2. Wärmegeführte Heizkraftwerke / BHKW
3. Heizwerke, zukünftig auch: Power to Heat
4. Zukünftig: ggf. weitere Versorgungsoptionen

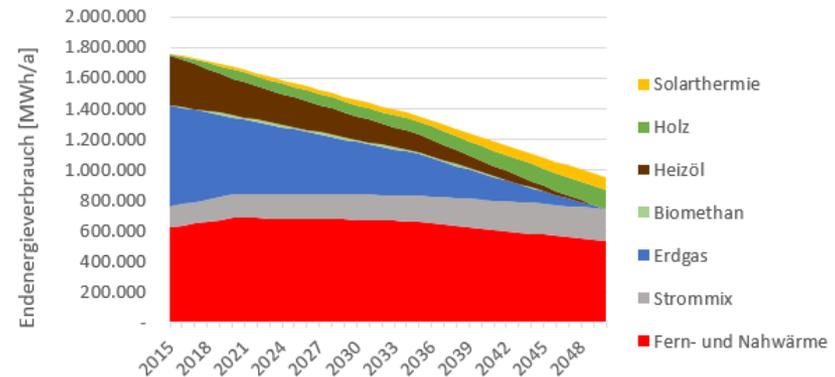
→ Hohe Wechselwirkungen mit dem Bereich Stromerzeugung



# METHODIK IM BEREICH NICHT-LEITUNGSGEBUNDENE WÄRMEVERSORGUNG



	2015	2020	2035	2050
<b>Wärme - Haushalte</b>				
<b>Raumwärme</b>				
davon Fern- und Nahwärme	38,00%	43,0%	50,0%	50,0%
davon Erdgas	41,00%	32,0%	21,0%	0,0%
davon Biomethan	0,00%	1,0%	1,0%	0,0%
davon Heizöl	20,40%	15,0%	9,0%	0,0%
davon Holz	0,30%	4,0%	6,0%	12,0%
davon Solarthermie	0,20%	1,0%	3,0%	8,0%
davon Wärmepumpe	0,10%	4,0%	10,0%	30,0%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>Warmwasser</b>				
Anteil dezentrale Erzeugung	40%	40%	45%	50%
Anteil zentrale Erzeugung	60%	60%	55%	50%



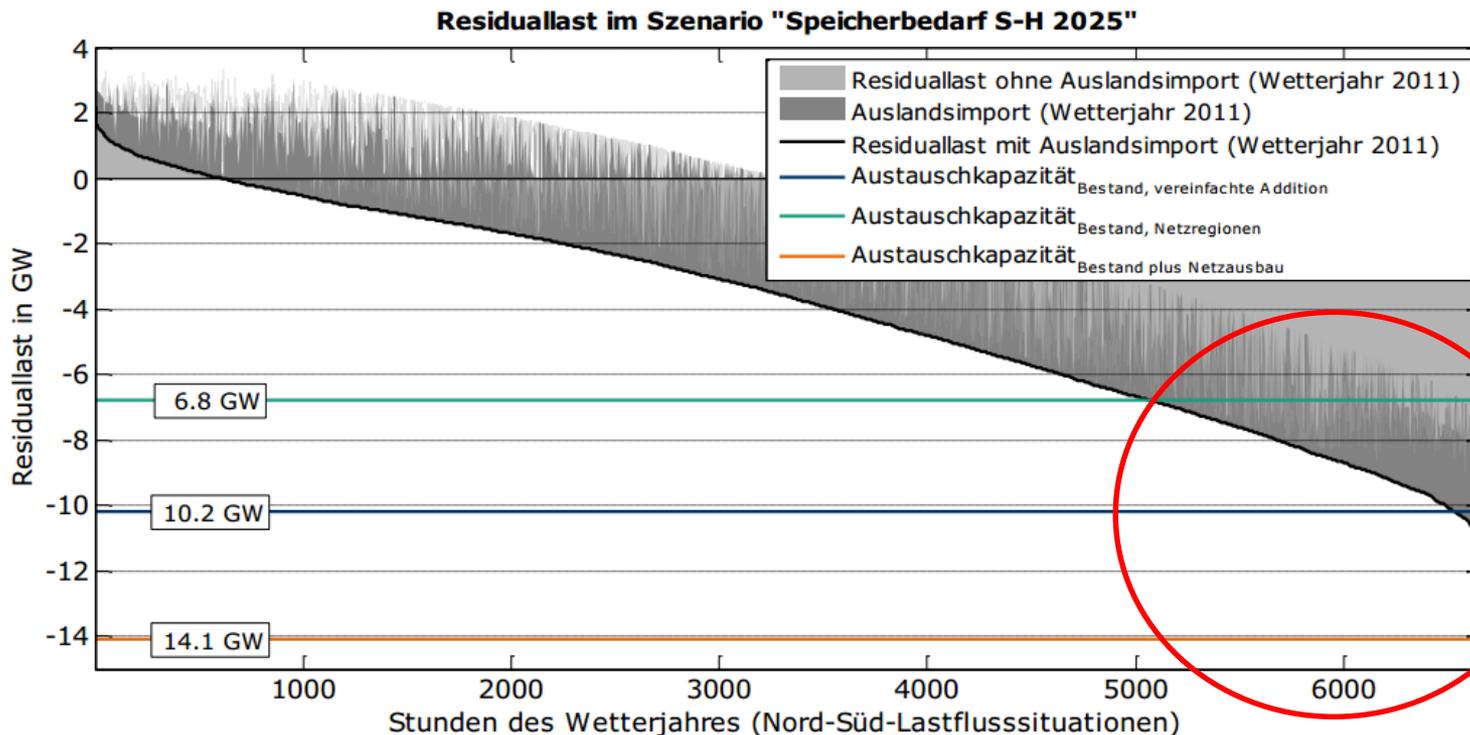
- Abschätzung des Ausbaupotentials der Kieler Fern- und Nahwärme
- Energieträger- / Systemumstellung der verbleibenden Einzelheizungen
- Berücksichtigung der Warmwasserbereitstellung
- CO<sub>2</sub>-neutrale Heizungssysteme:
  - Wärmepumpen (Luft/Erdbwärme)
  - Holzpellets / Holzhackschnitzel
  - Biomethan
  - Solarthermie

# GROßTECHNISCHE STROMSPEICHER



„Speicher sind keine Alternative zum Netzausbau“

Bei Unterstellung eines Netzausbaus nach Netzentwicklungsplan (NEP):  
[Im Jahr 2025] „... entstehen keine nennenswerten Überschusssituationen, die einen Speicherbedarf im Übertragungsnetz rechtfertigen“



Quelle:  
Energiespeicher  
in Schleswig-  
Holstein,  
Ecofys,  
Fraunhofer IWES,  
2014

# GROßTECHNISCHE STROMSPEICHER



Wirtschaftlichkeitsberechnung im Fall der ungünstigsten Netzausbausituation  
 → Maximales Einsatzpotential für Stromspeicher im Übertragungsnetz

„Trotz optimistischer Annahmen ist [im untersuchten Szenario] eine Wirtschaftlichkeit schwierig darstellbar“

Speichertechnologie	Einheit	Stromverlagerungs- bzw. Wasserstoff-/ Methangestehungskosten				
		1 GW	2 GW	3 GW	4 GW	5 GW
Li-Ion-Batterie	€/MWh <sub>el</sub>	359	437	551	704	877
Blei-Säure-Batterie Variante I	€/MWh <sub>el</sub>	162	198	249	319	397
Blei-Säure-Batterie Variante II	€/MWh <sub>el</sub>	728	886	1.117	1.428	1.779
Hochtemperaturbatterie (NaS)	€/MWh <sub>el</sub>	231	281	355	453	565
Redox-Flow-Batterie	€/MWh <sub>el</sub>	252	307	387	494	616
Adiabater Druckluftspeicher	€/MWh <sub>el</sub>	131	159	201	257	320
H <sub>2</sub> -basierte Energiespeicher	€/MWh <sub>th</sub>	248	302	380	486	606
CH <sub>4</sub> -basierte Energiespeicher	€/MWh <sub>th</sub>	372	454	572	731	911

Quelle:  
 Energie-  
 speicher  
 in Schleswig-  
 Holstein,  
 Ecofys,  
 Fraunhofer  
 IWES,  
 2014

# GROßTECHNISCHE WÄRMESPEICHER

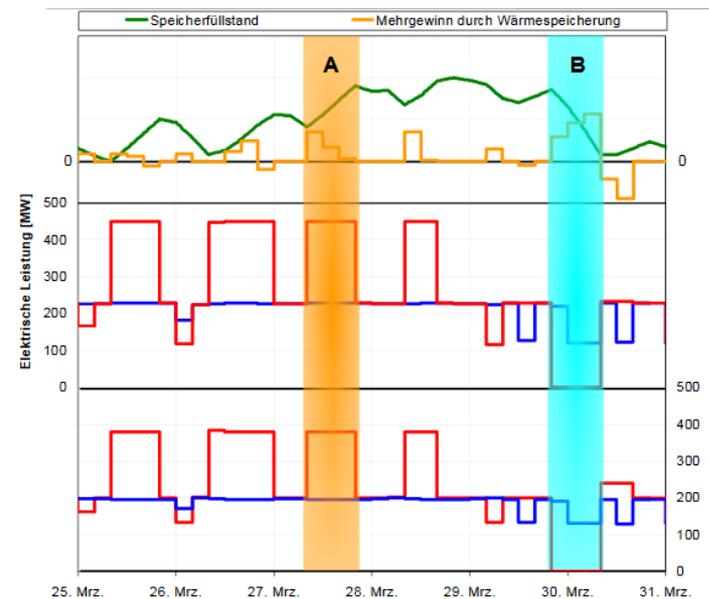


Quelle: sh:z, 2016

Kiel: Wärmespeicher mit  $1.500 \text{ MWh}_{\text{th}}$  Kapazität und  $200 \text{ MW}_{\text{th}}$  Lade-/Entladeleistung

Quelle: TU Berlin, 2011

- Geringe spezifische Speicherkosten
- Optimierung der stromgeführten Fahrweise in Kraft-Wärme-Kopplung
- Optimierung Sektorkopplung Strom im Wärmemarkt z.B. Power to Heat





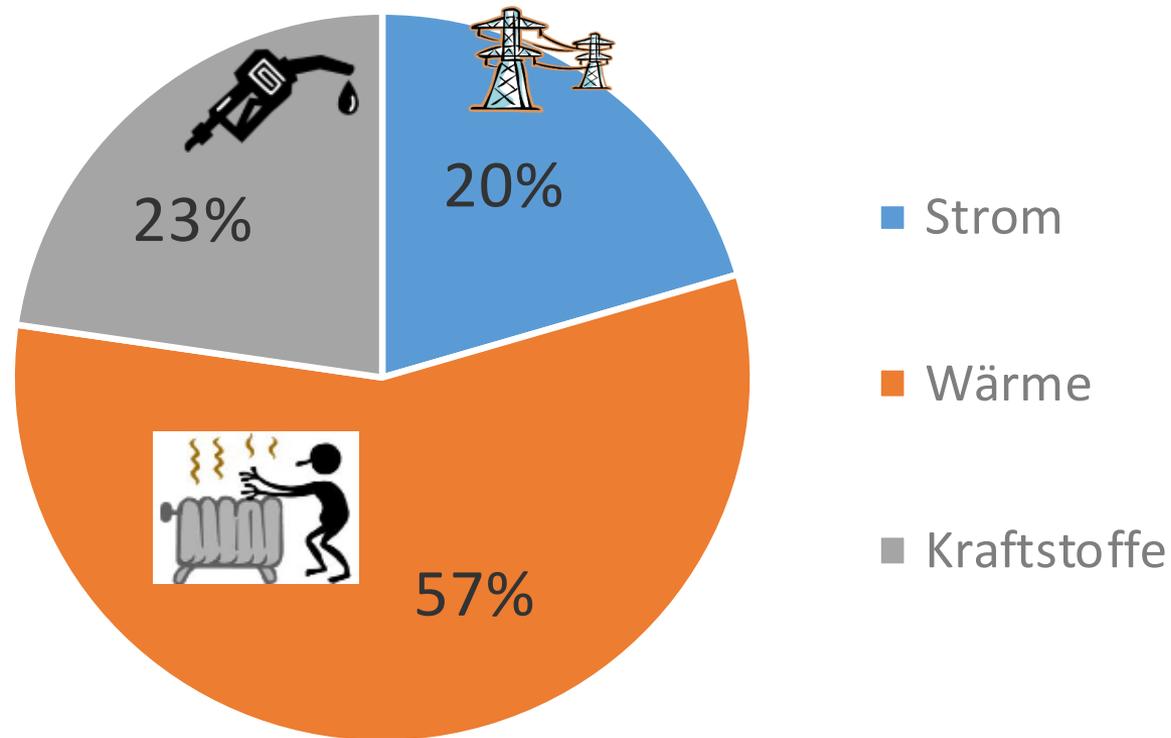
**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# STROMVERBRAUCH UND STROMERZEUGUNG HEUTE UND MORGEN

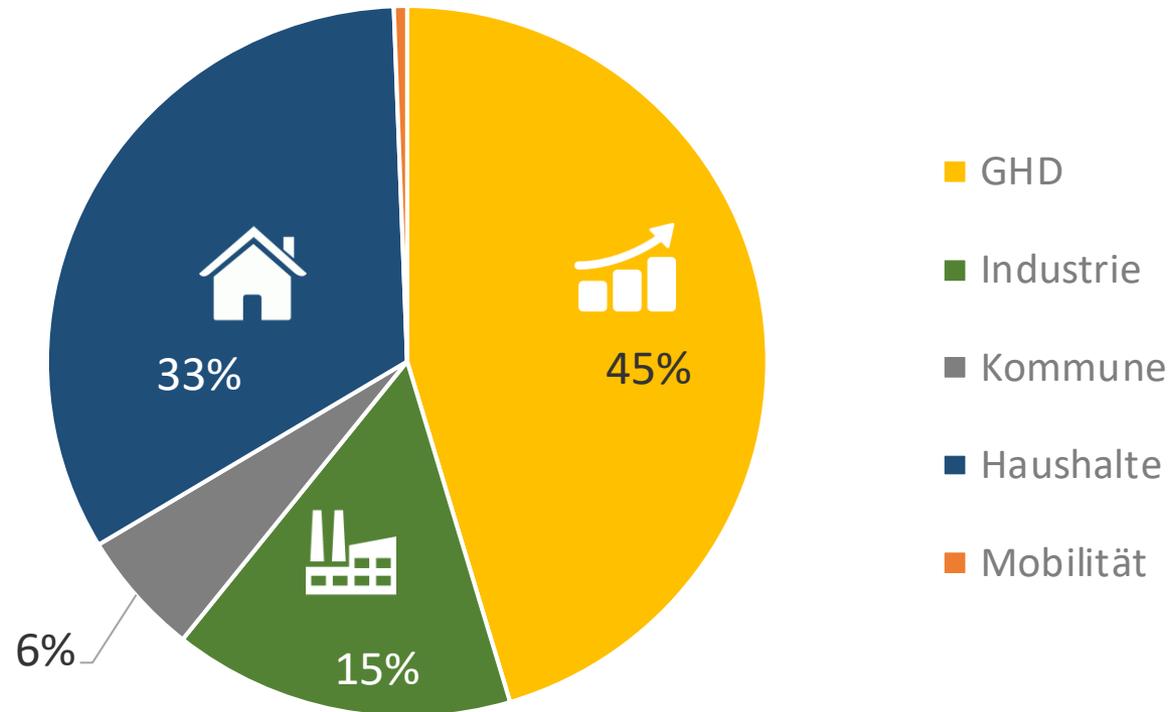
---

# STATUS-QUO ENERGIEVERBRAUCH IM JAHR 2014



Endenergieverbrauch Gesamt: 4.381 GWh  
NICHT witterungsbereinigt

# STROMVERBRAUCH IM JAHR 2014



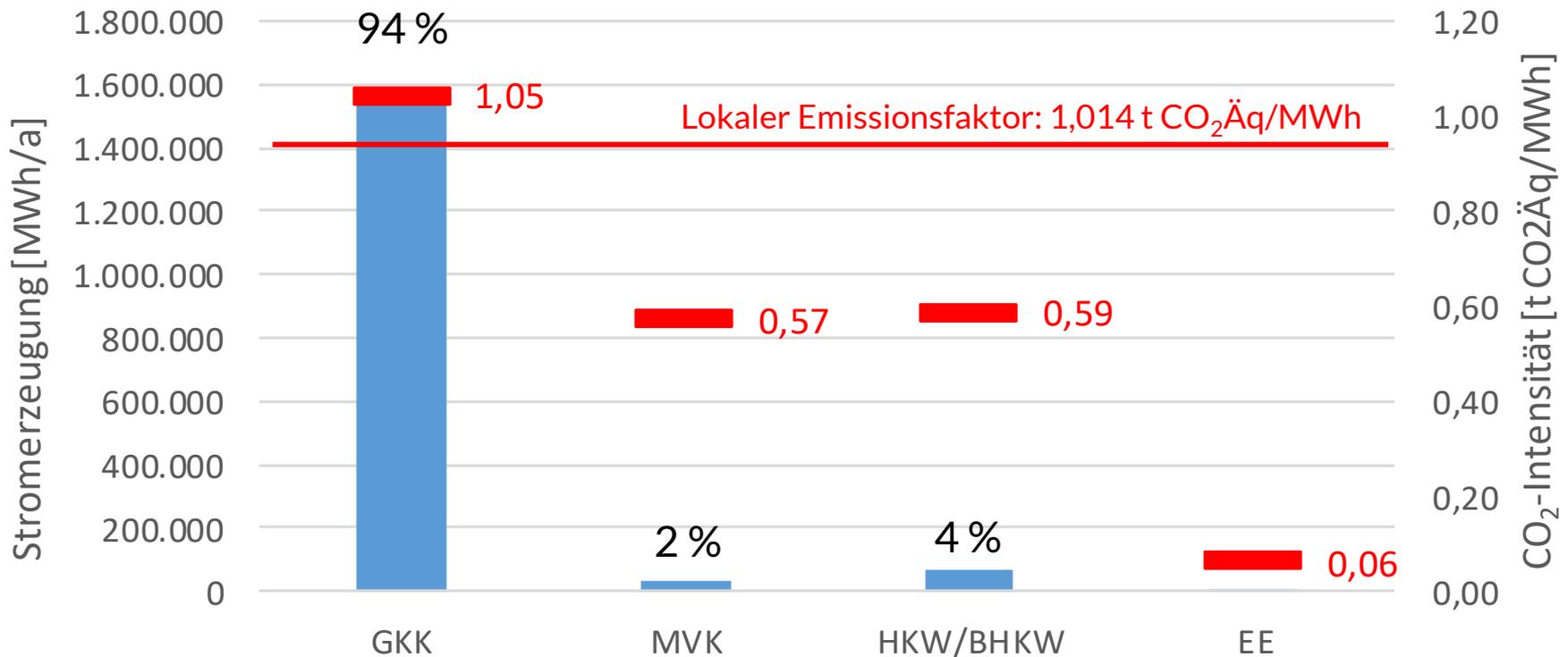
Stromverbrauch Gesamt: 896.000 GWh

# STRUKTUR DER STROMERZEUGUNG AUF DEM STADTGEBIET IM JAHR 2014



Gruppe der Erzeugungsanlagen - Abkürzung	Einzelanlage(n)	Primärer Energieträger
GKK	Gemeinschaftskraftwerk Kiel	Steinkohle
MVK	Müllverbrennung Kiel	Abfall
HKW / BHKW	HKW Humboldtstraße, BHKW auf dem Stadtgebiet (Nahwärme / Objektversorgung)	Erdgas
EE	Photovoltaik, Wasserkraft	/

# STRUKTUR DER STROMERZEUGUNG AUF DEM STADTGEBIET IM JAHR 2014



Gesamterzeugung: 1.676 GWh/a (187 % des Kieler Stromverbrauchs)

Resultierende THG-Emissionen nach dem Territorialprinzip: 909.000 t CO<sub>2</sub>Äq

# KENNWERTE DES NEUEN GASMOTORENKRAFTWERKS



Quelle: Stadtwerke Kiel

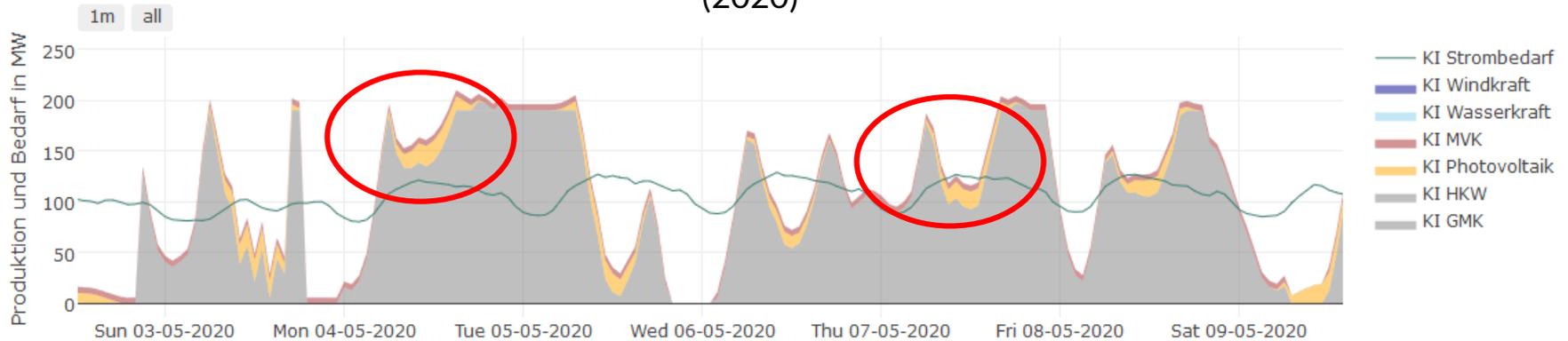
- 20 Motoren à  $9,5 \text{ MW}_{\text{el}}$  und  $9,5 \text{ MW}_{\text{th}}$
- Energieträger: Erdgas
- Stromgeführt
- Wärmespeicher mit  $1.500 \text{ MWh}_{\text{th}}$  Kapazität und  $200 \text{ MW}_{\text{th}}$  Lade-/ Entladeleistung
- Elektrodenheizkessel mit Erzeugungskapazität von  $35 \text{ MW}_{\text{th}}$
- Inbetriebnahme: 2018

→ Flexible Strom- und Wärmeerzeugung mit hoher Fähigkeit zur strommarkt-optimierten Fahrweise sowie der Integration von Strom im Wärmemarkt

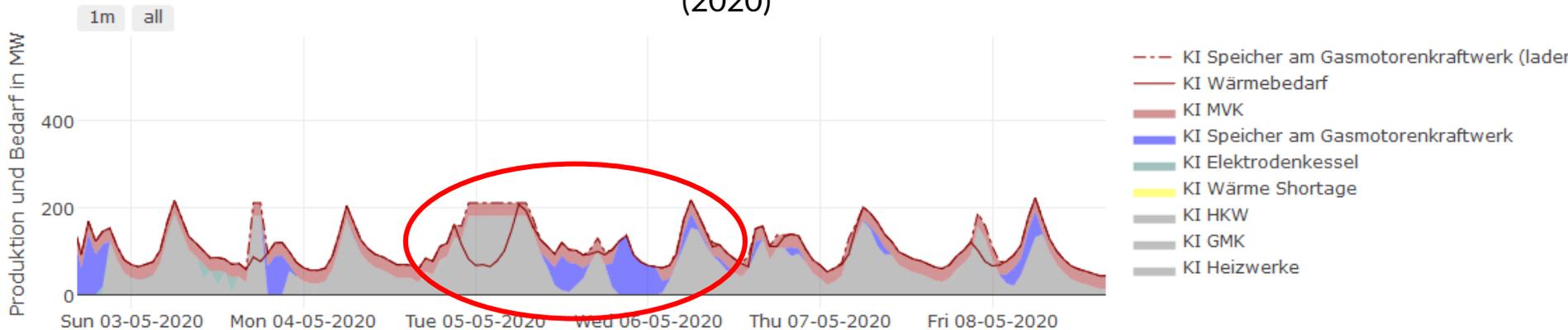
# STRUKTUR DER STROMERZEUGUNG MIT DEM KÜSTENKRAFTWERK



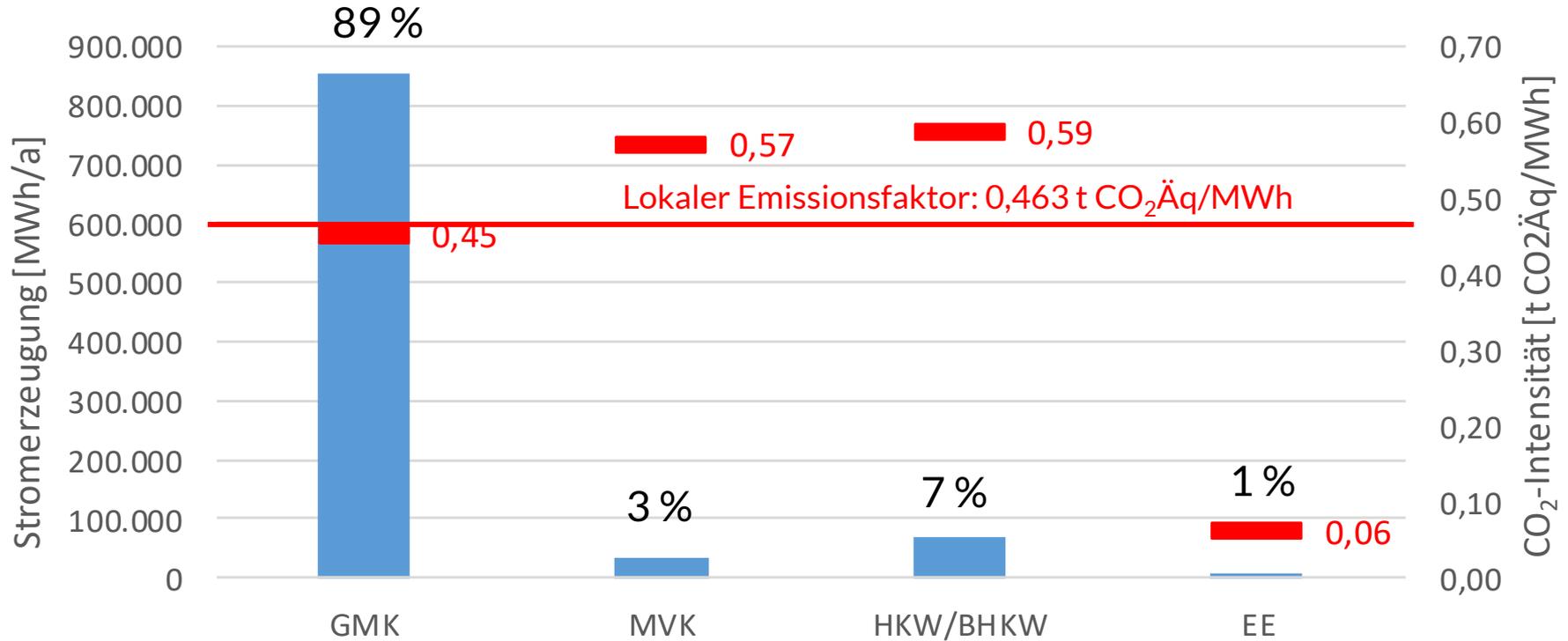
Stündliche Produktion und Bedarf in KI (Strom)  
(2020)



Stündliche Produktion und Bedarf in KI (Wärme)  
(2020)



# STRUKTUR DER STROMERZEUGUNG MIT DEM KÜSTENKRAFTWERK

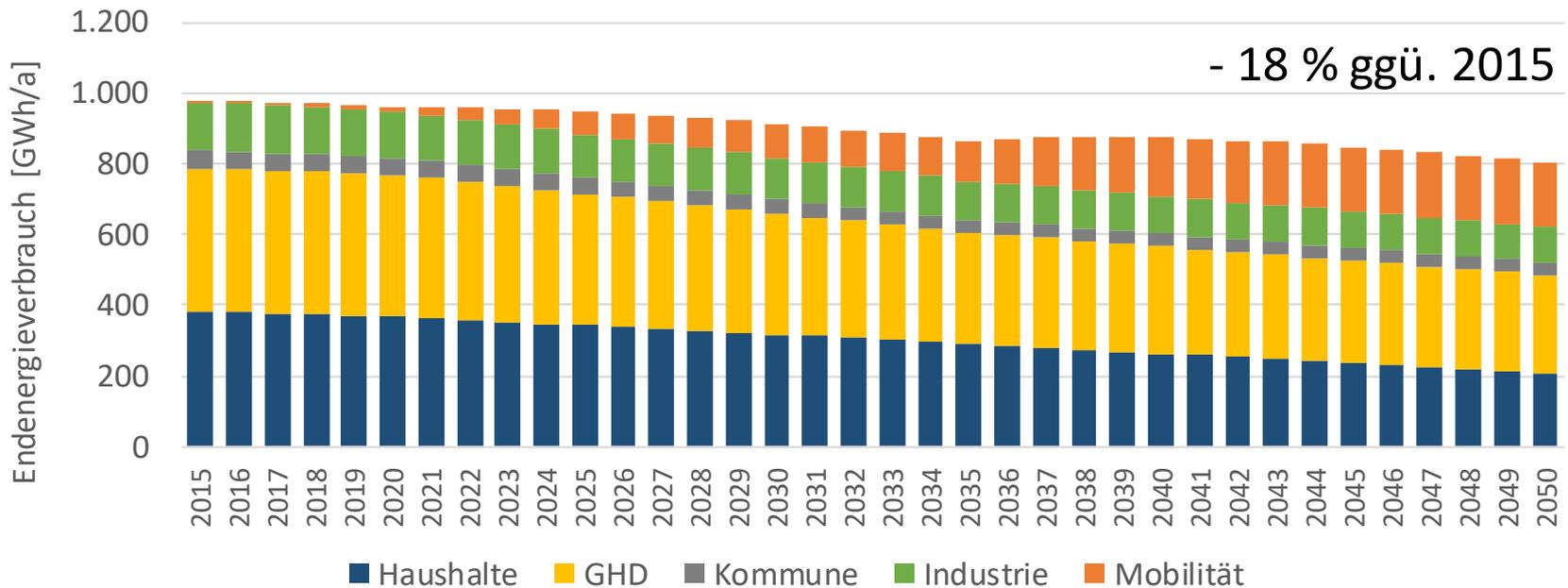


Gesamterzeugung: 961.000 GWh/a (107 % des Kieler Stromverbrauchs im Jahr 2014)  
 Resultierende THG-Emissionen nach dem Territorialprinzip: 415.000 t CO<sub>2</sub>Äq

# ENTWICKLUNG DES STROMVERBRAUCHS BIS ZUM JAHR 2050



Entwicklung des Stromverbrauchs - Workshopergebnisse (vorläufig!)





**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

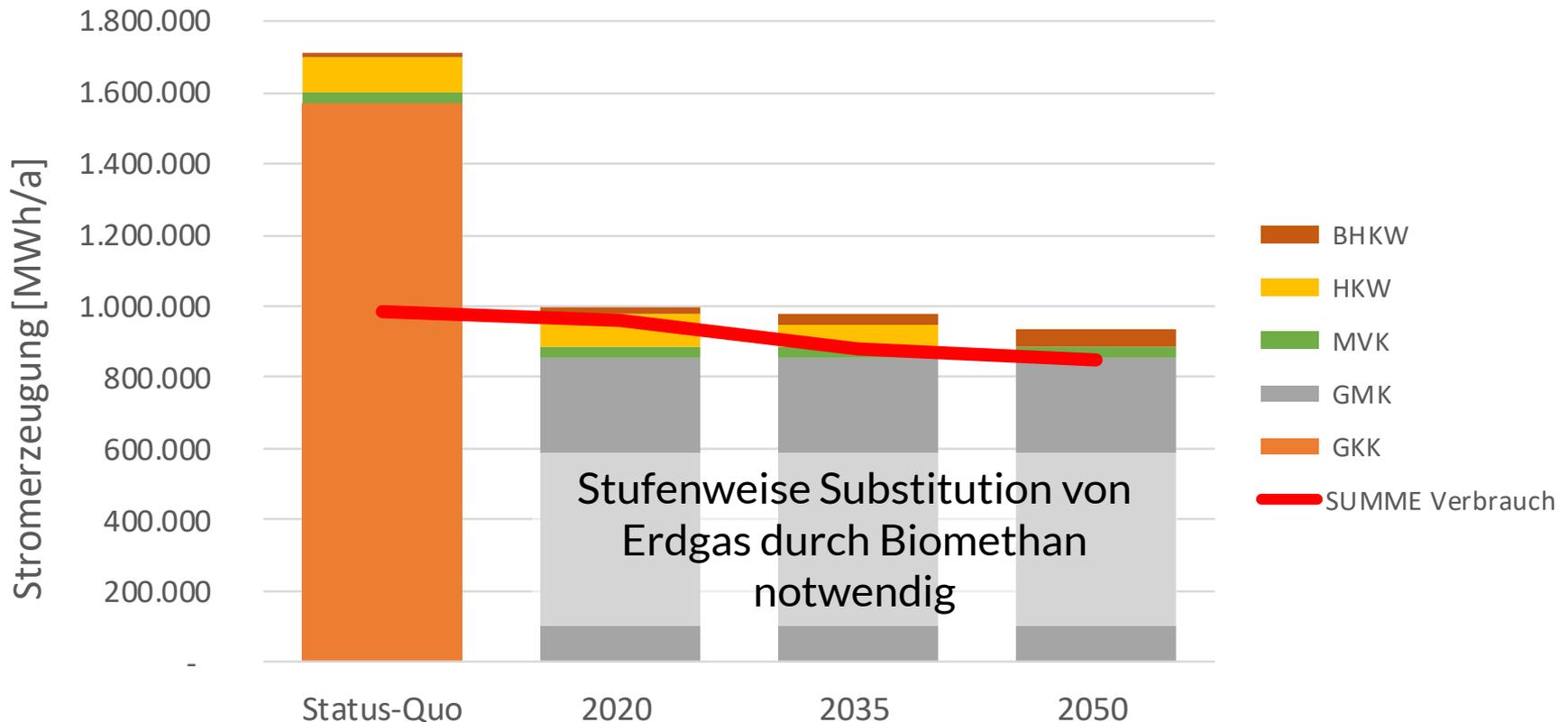
# POTENTIALE UND RESSOURCEN FÜR DIE STROMVERSORGUNG VON MORGEN

---

# ZUKÜNFTIGE STROMERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK



Szenario Strom GMK 4500h 2050



2050: **21 % der 2016 in D eingespeisten Menge an Biomethan für das GMK!**  
**335 % der Stadtfläche für die Erzeugung von Biomethan!**

# ZUKÜNFTIGE STROMERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK



## Biomethan:

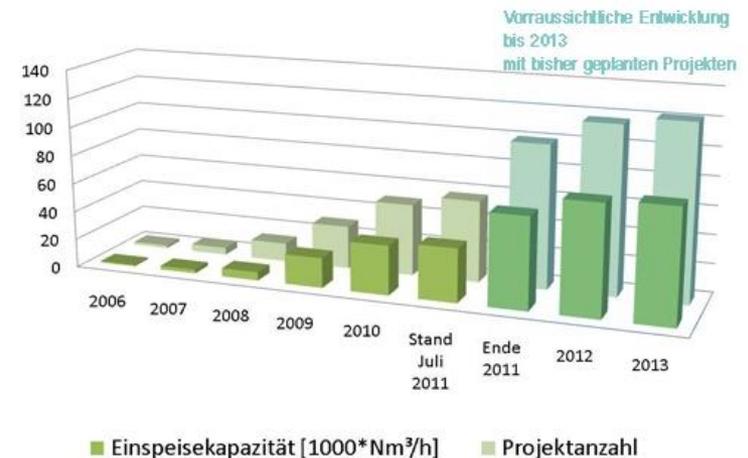
- Auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas
- (Synthesegas aus fester Biomasse)
- (Methan aus der Umwandlung überschüssigen Windstroms)
- „Virtuelle“ Lieferung über Bilanzkreis
- Beimischungsprodukte verfügbar

Quelle: biogaspartner.de

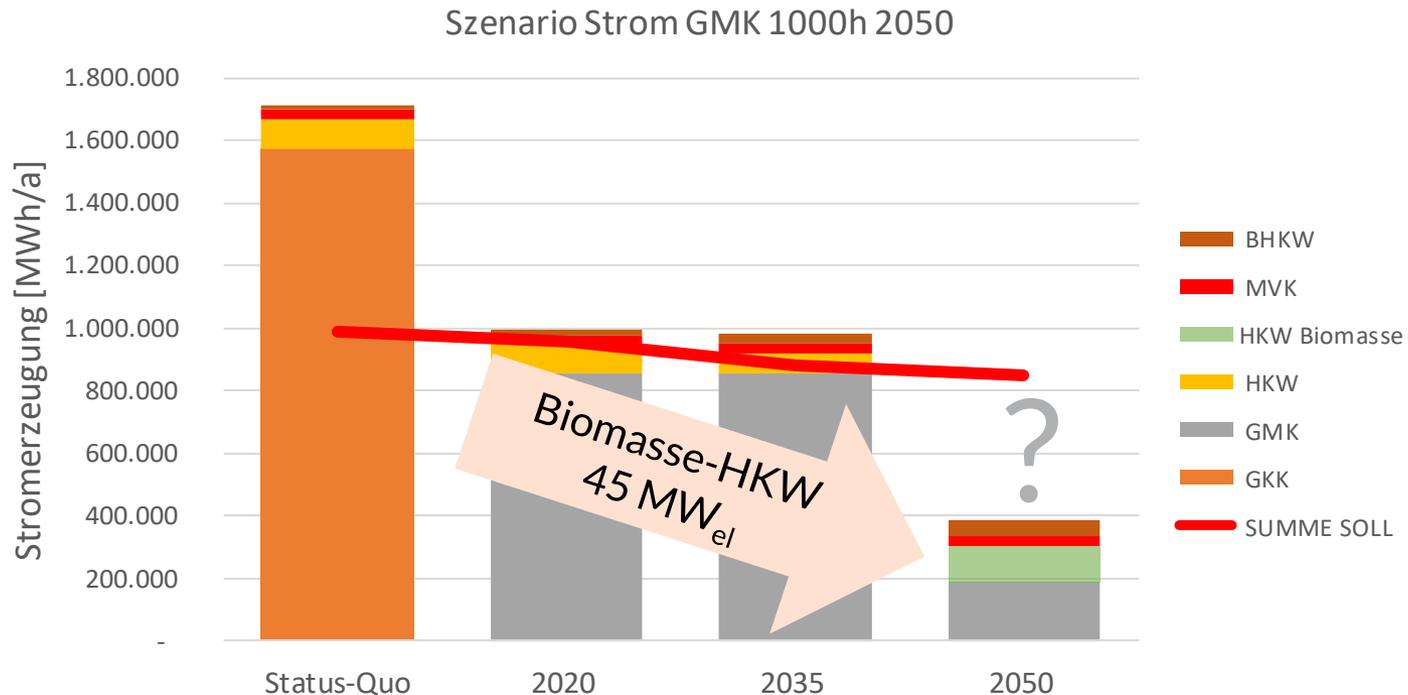
## Der Markt in Deutschland:

- 2006-2016: Wachstum auf 9.400 GWh/a (2016)
- Zielsetzung der Bundesregierung: 10 % d. Erdgasverbrauchs bis 2030

**ABER: Kein regionaler Energieträger!  
Auch national stark beschränkte Potentiale!  
Hohe Kosten für Biogas-Substitute!**



# ZUKÜNFTIGE STROMERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK



## Wichtige Fragestellungen:

- Welchen Beitrag kann die Photovoltaik auf dem Stadtgebiet zur Stromversorgung leisten?
- Wie viel Überschussstrom aus regenerativen Energiequellen steht regional / national zur Versorgung städtischer Gebiete zur Verfügung?

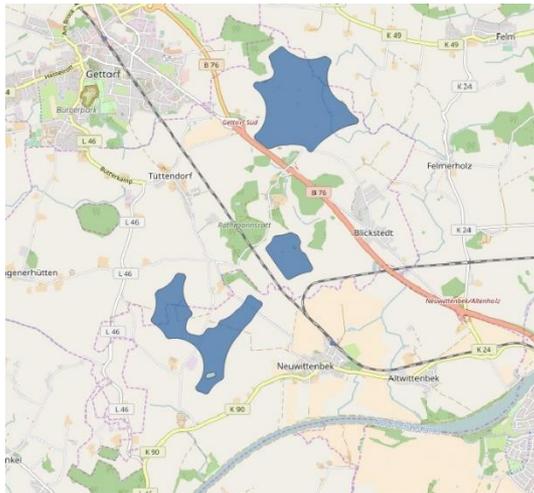
# POTENTIALE ZUR NUTZUNG REGENERATIVER ENERGIETRÄGER IN STADT UND UMLAND



Energieträger	Quelle für Potentialanalyse
Photovoltaik Kiel	Solardachkataster der Landeshauptstadt Kiel, 2011
Photovoltaik Umland	Abschätzung der Dachflächen auf Basis des Gebäudebestands
Windenergie	Windenergieplanung des Landes Schleswig-Holstein, Entwurf Stand 06. Dezember 2016
Bioenergie (Energiepflanzen, Gülle, Stroh, Abfälle, Klärschlamm, Altholz)	Pöyry Potentialuntersuchung Schleswig-Holstein, 2014
Photovoltaik Freifläche	Abschätzung der verfügbaren Flächen auf Basis der Flächennutzung im ländlichen Raum
Solarthermie	Siehe Photovoltaik
Tiefe Geothermie	Hr. Prof. Bauer (CAU), Hr. Hese (LLUR), Fr. Thomsen (LLUR)

# POTENTIALE WINDENERGIE

- Regionalplanung Windenergie  
Entwurf, Stand Dezember 2016
- Neuanlagen: ~ 3 MW Anlagenleistung,  
2.600 Volllaststundenäquivalente

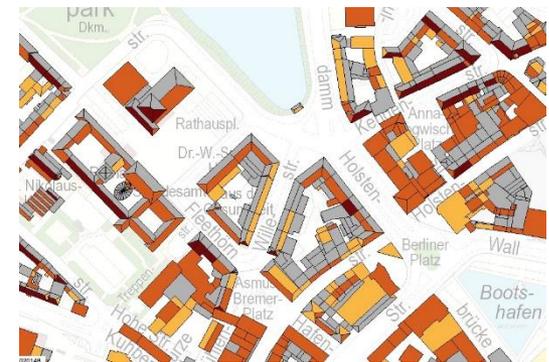


	Bestand	Potential
Kiel	- MW <sub>el</sub>	- MW <sub>el</sub>
Rd.-Eck.	229 MW <sub>el</sub>	4.046 MW <sub>el</sub>
Plön	45 MW <sub>el</sub>	571 MW <sub>el</sub>

# POTENTIALE PHOTOVOLTAIK DACHFLÄCHEN



- ❖ Kiel: Solardachkataster Landeshauptstadt Kiel, 2011
- ❖ Umland: Abschätzung der Dachflächen auf Basis von Gebäudebestandsdaten
- ❖ 150 W je m<sup>2</sup> ausgewählter Dachfläche



Flächenverteilung auf dem Stadtgebiet Kiel:

Eignung	Anteil an Dachfläche
„Nicht geeignet“	36 %
„Geeignet“	14 %
„Gut geeignet“	43 %
„Sehr gut geeignet“	7 %

	Bestand	Potential
Kiel	9,4 MW <sub>el</sub>	250 MW <sub>el</sub>
Rd.-Eck.	123 MW <sub>el</sub>	800 MW <sub>el</sub>
Plön	35 MW <sub>el</sub>	380 MW <sub>el</sub>

# POTENTIALE PHOTOVOLTAIK FREIFLÄCHE

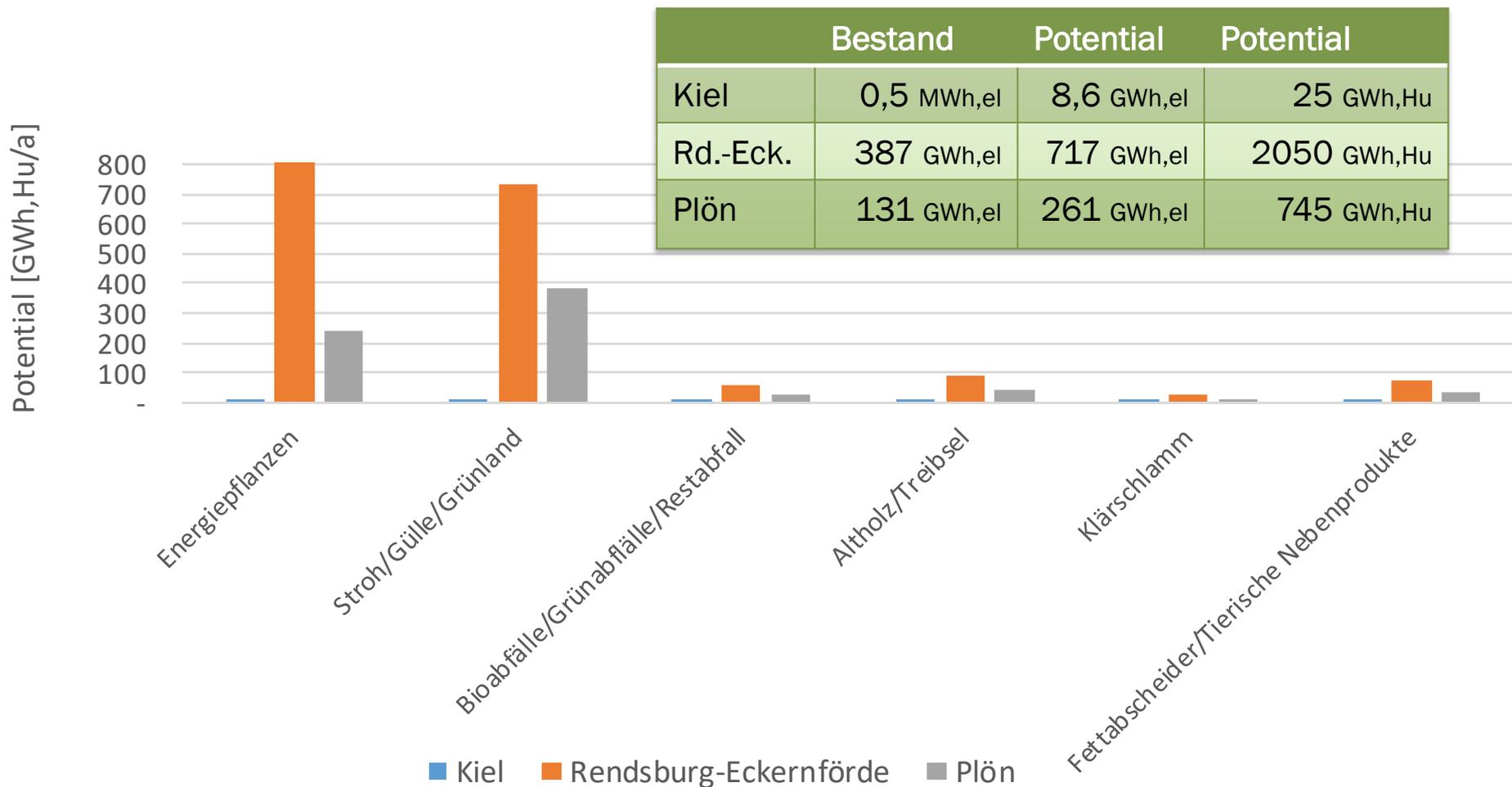


- Umland: Abschätzung der un bebauten Fläche
- Flächenkonkurrenz zu Windkraft und Biomasse berücksichtigen!
- Nach § 48 (1) des EEG verfügbare Flächen:  
Versiegelte Flächen, Konversionsflächen, Flächen entlang Autobahnen oder Schienenwegen
- ~ 0,6 MW pro Hektar Freifläche

	Bestand	Potential
Kiel	- MW <sub>el</sub>	- MW <sub>el</sub>
Rd.-Eck.	5 MW <sub>el</sub>	2.530 MW <sub>el</sub>
Plön	0,02 MW <sub>el</sub>	922 MW <sub>el</sub>

(Quellen: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Zensus, 2011)

# POTENTIALS IM BEREICH BIOENERGIE

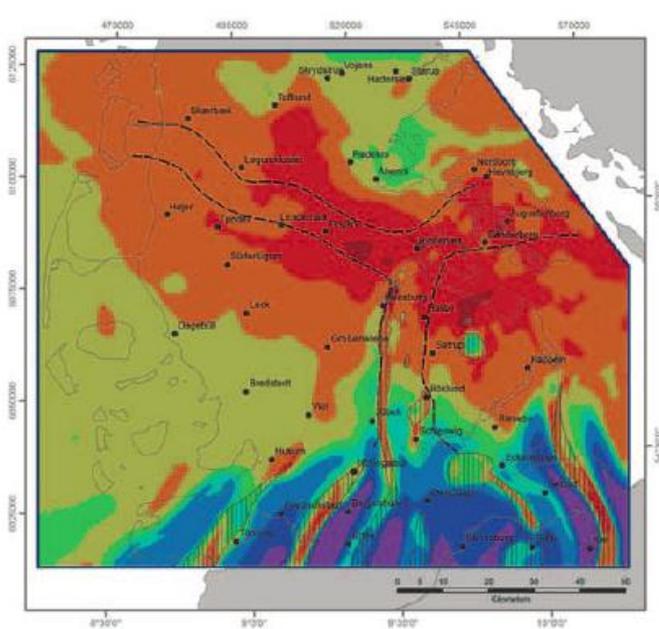


Quelle: Pyöry, 2014

# POTENTIALE IM BEREICH TIEFE GEOOTHERMIE



Keine Eignung für die Stromerzeugung, ggf. Wärmequelle für Wärmepumpen im MW<sub>th</sub>-Bereich



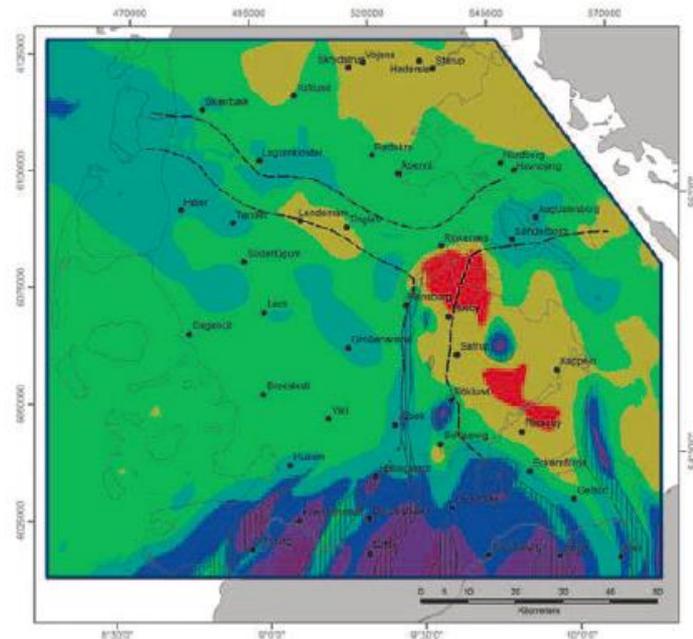
2 km below sea level

Temperature (°C)



--- Trend of fault system

▨ Salt diapir and salt wall



3 km below sea level

Temperature (°C)

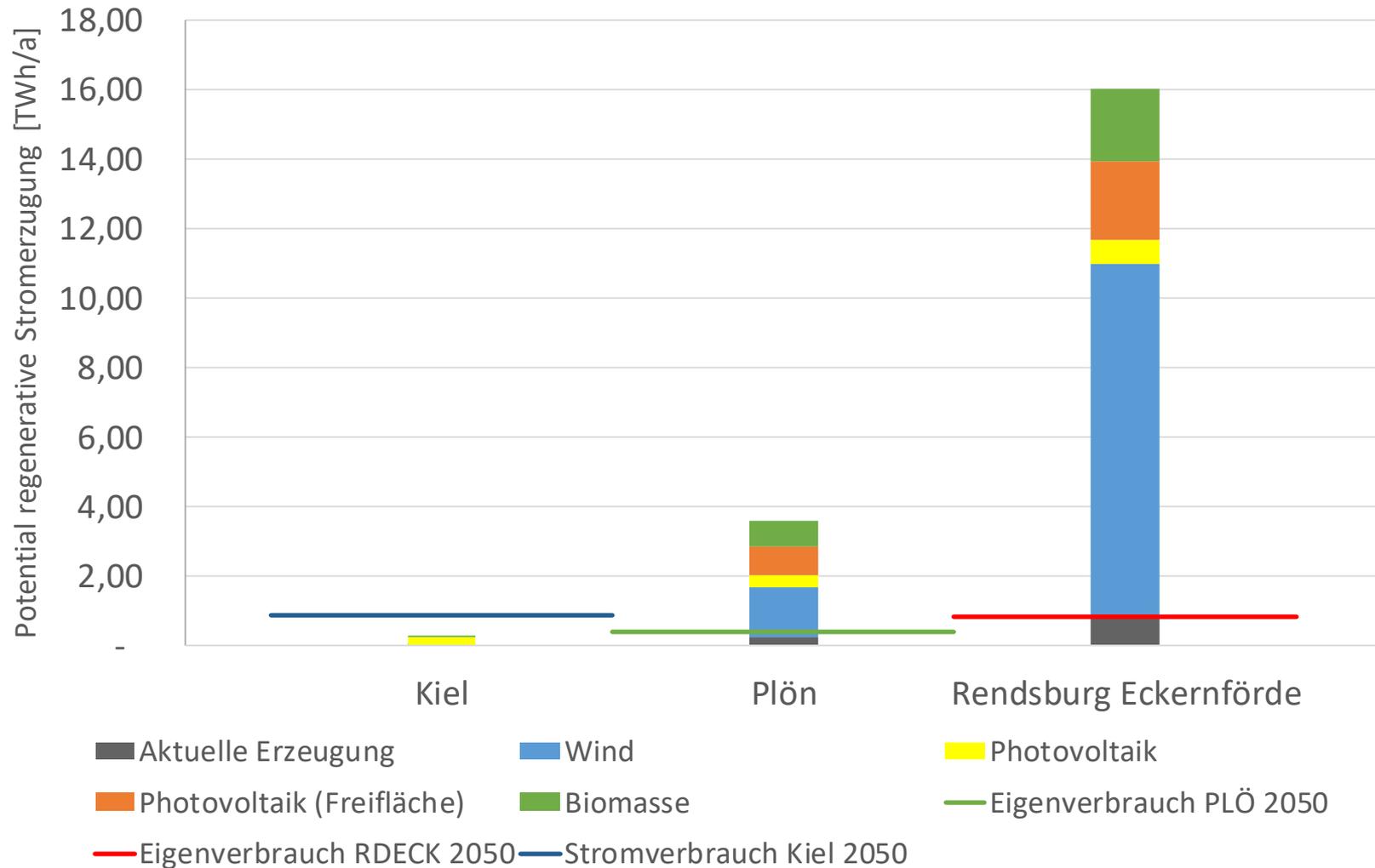


--- Trend of fault system

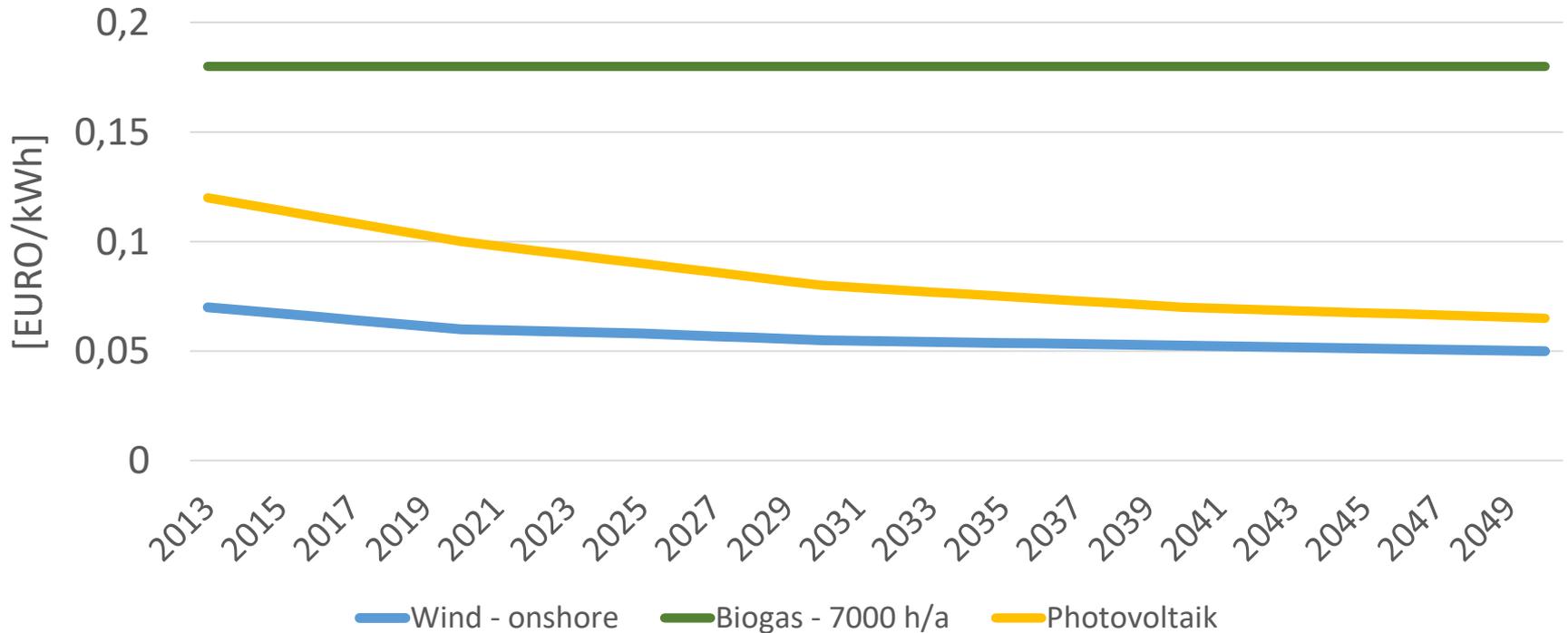
▨ Salt diapir and salt wall

Quelle: Kirsch et al., 2014

# ERGEBNISSE DER POTENTIALANALYSE REGENERATIVE STROMERZEUGUNG



# STROM-GESTEHUNGSKOSTEN REGENERATIVER ENERGIETRÄGER



Photovoltaik und Wind: Variable Kosten = 0



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# ARBEITSGRUPPENPHASE

---

# MODELLIERUNG DER STROMERZEUGUNG



Eingabemöglichkeit	Art der Eingabe
Bestand und Fahrweise der konventionellen Erzeugungsanlagen auf dem Stadtgebiet	Voreinstellung
Im Stützjahr zur Verfügung gestellte Erzeugungskapazität regenerativer Erzeugungsanlagen (Kiel und Umland)	Schieberegler
Anteil von Biomethan am Erdgasbezug für die konventionellen Erzeugungsanlagen auf dem Stadtgebiet	Schieberegler

Ausgabe (u.a.)
Zeitreihen Stromerzeugung (Kiel und Umland) vs. Stromverbrauch
Austausch von Strommengen zwischen Kiel und Umland, Import aus BRD
CO <sub>2</sub> -Emissionen der Stromerzeugung auf dem Stadtgebiet / CO <sub>2</sub> -Intensität
Flächenbedarf für Photovoltaik, Biomethan-Import, Biomasse-Import
Für Wärmepumpen (Einzelheizungen) nutzbarer Überschussstrom



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# VORSTELLUNG UND ZUSAMMENFÜHRUNG DER ARBEITSGRUPPEN- ERGEBNISSE

---



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# BEGRÜßUNG DES VOLLSTÄNDIGEN TEILNEHMER\*INNENKREISES

---

BÜRGERMEISTER PETER TODESKINO



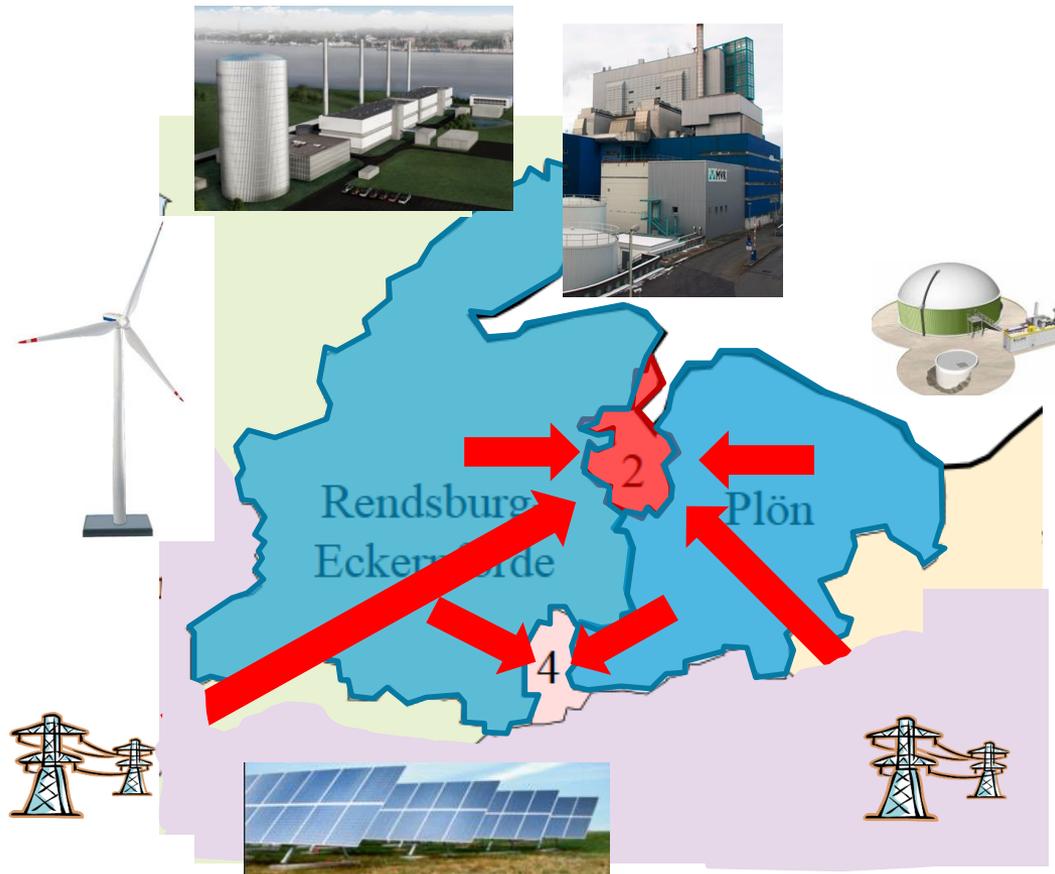
**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

ERGEBNISSE DES  
VORMITTAGS (100 % CO<sub>2</sub>-  
NEUTRALE  
STROMVERSORGUNG)

---

# REGIONALE BETRACHTUNG IM BEREICH STROM



Deckung des Stromverbrauchs in Kiel (8760 h/a):

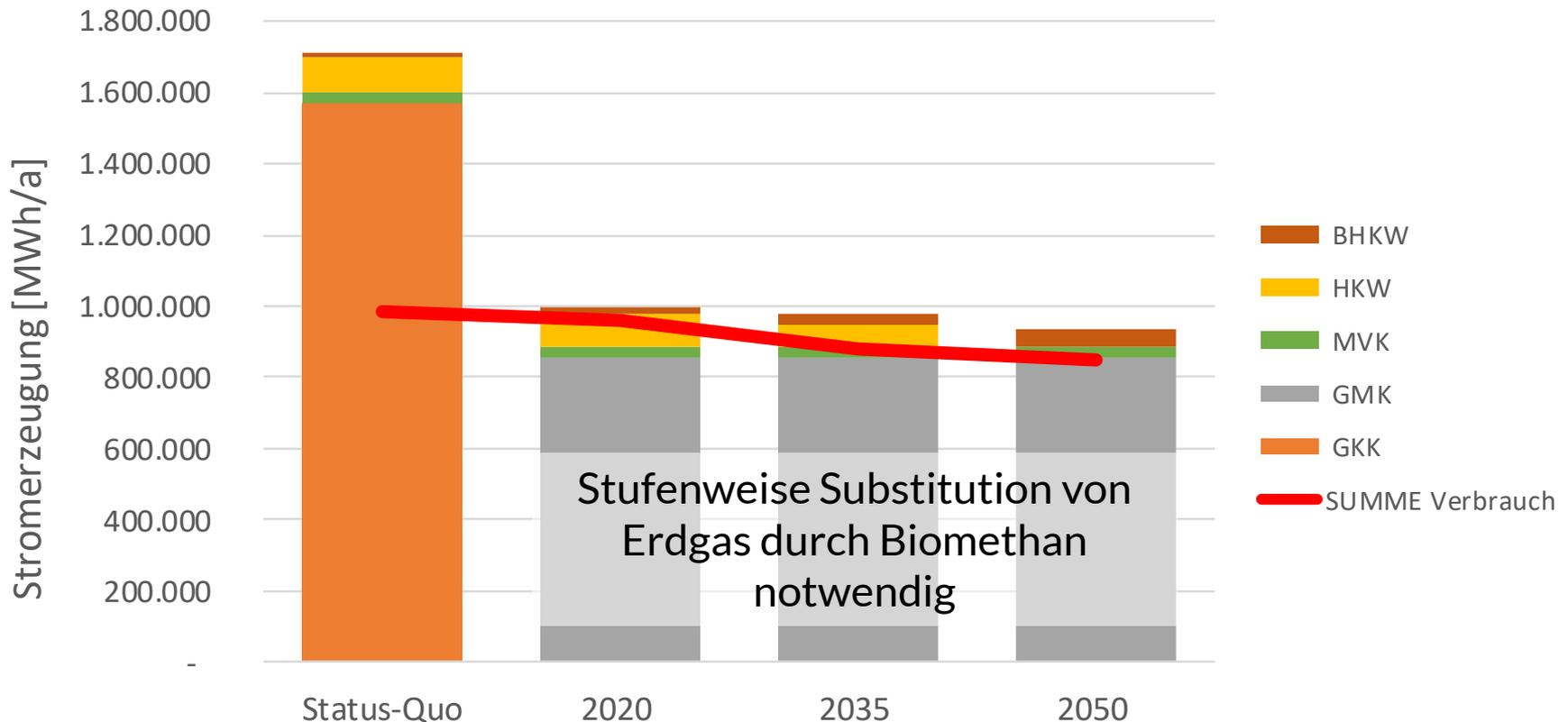
1. Erzeugung auf dem Stadtgebiet (konventionelle Heiz-/Kraft-Werke, Photovoltaik)
2. Import von Überschussstrom aus dem Kieler Umland (Wind, Photovoltaik, Bioenergie) – *falls verfügbar*
3. Import aus dem deutschen Netzgebiet

→ Einsatzoptimierung der Erzeugungsanlagen entsprechend variabler Kosten

# ZUKÜNFTIGE STROMERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK

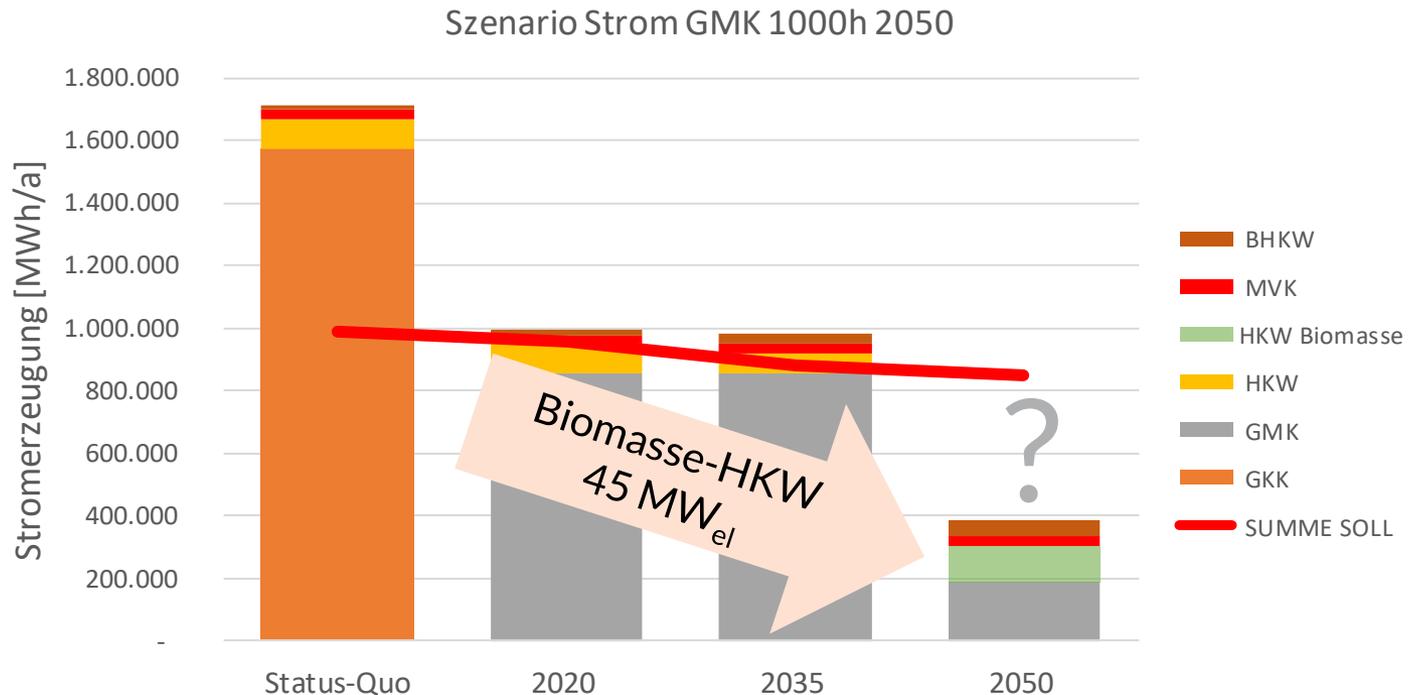


Szenario Strom GMK 4500h 2050



2050: **21 % der 2016 in D eingespeisten Menge an Biomethan für das GMK!**  
**335 % der Stadtfläche für die Erzeugung von Biomethan!**

# ZUKÜNFTIGE STROMERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK



## Wichtige Fragestellungen:

- Welchen Beitrag kann die Photovoltaik auf dem Stadtgebiet zur Stromversorgung leisten?
- Wie viel Überschussstrom aus regenerativen Energiequellen steht regional / national zur Versorgung städtischer Gebiete zur Verfügung?

# ZUKÜNFTIGE STROMERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK



Ergebnisse der Modellierung



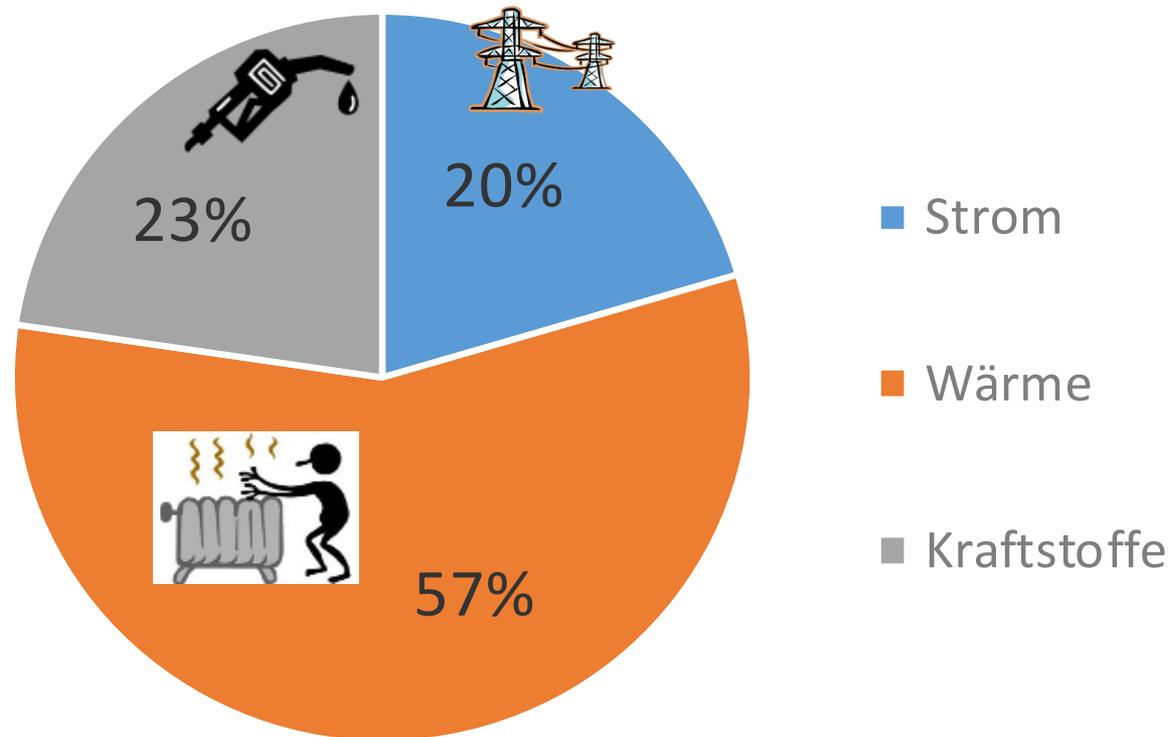
**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# WÄRMEVERBRAUCH UND WÄRMEERZEUGUNG HEUTE UND MORGEN

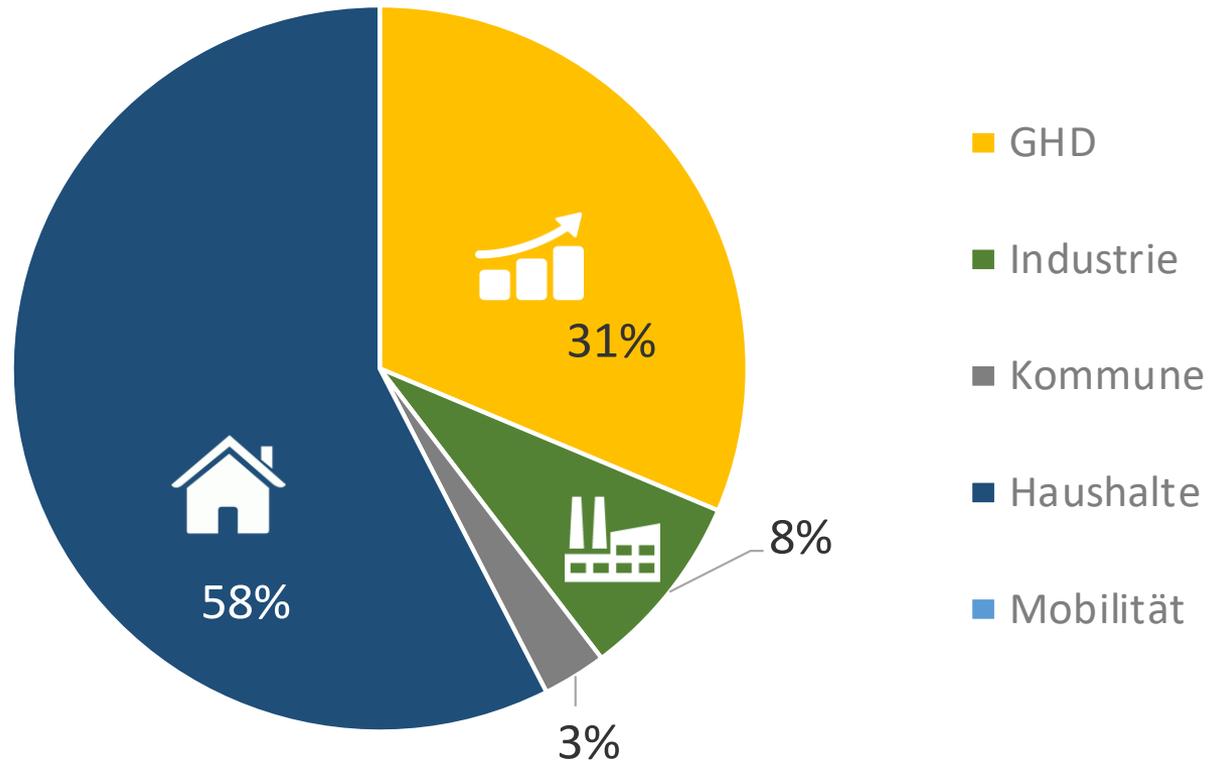
---

# STATUS-QUO ENERGIEVERBRAUCH IM JAHR 2014



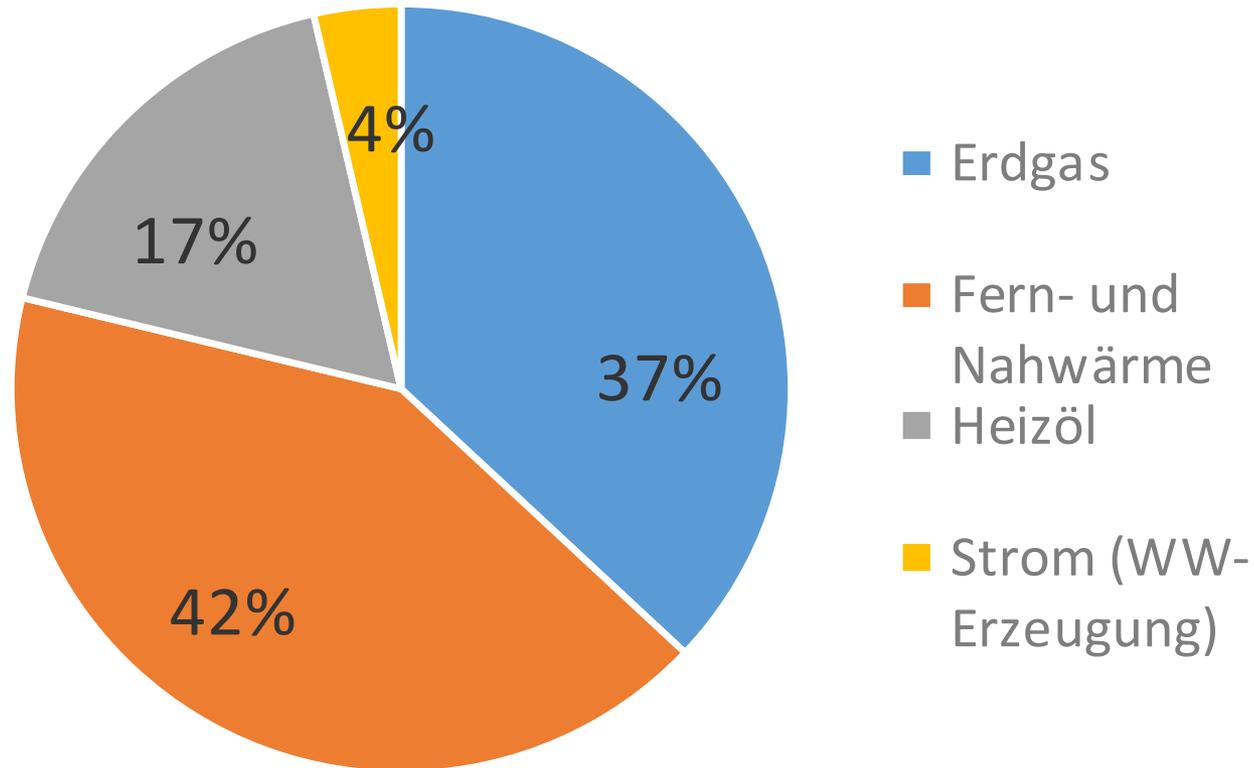
Endenergieverbrauch Gesamt: 4.381 GWh  
NICHT witterungsbereinigt

# WÄRMEVERBRAUCH IM JAHR 2014



Wärmeverbrauch Gesamt: 2.475 GWh  
NICHT witterungsbereinigt!

# STRUKTUR DES WÄRMEVERBRAUCHS IM JAHR 2014

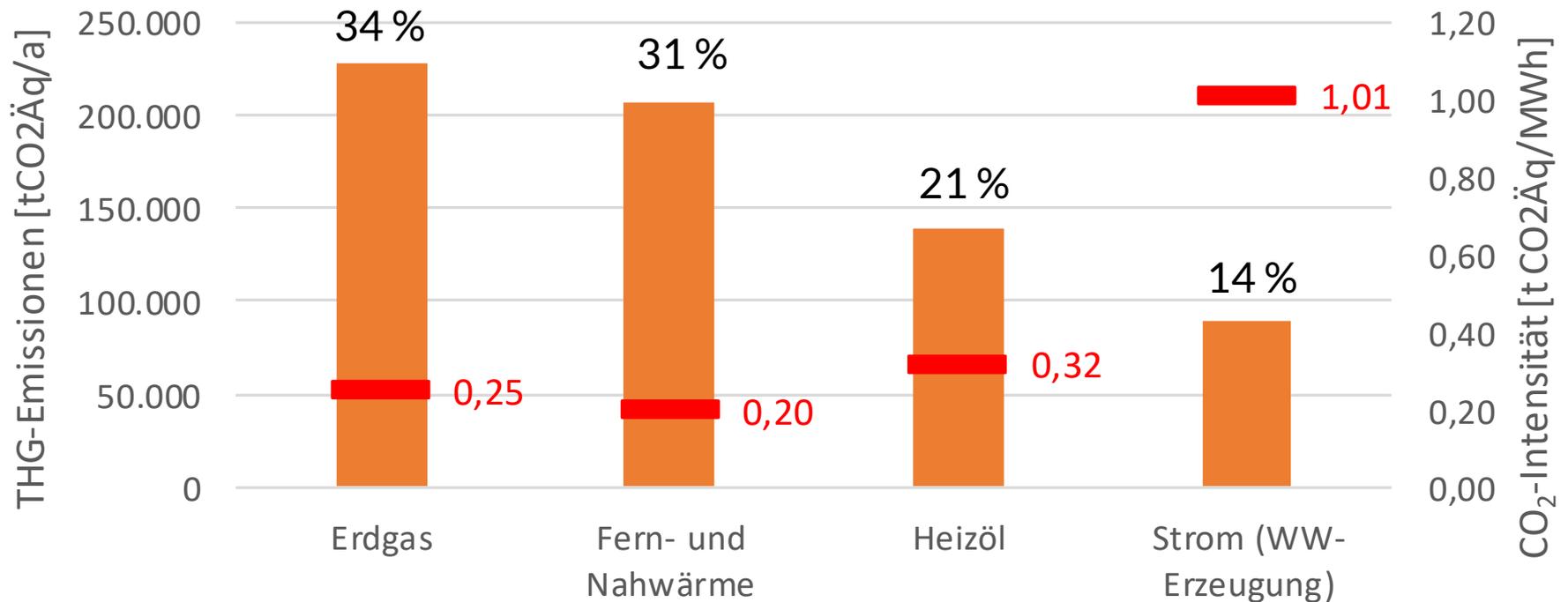


Wärmeverbrauch Gesamt: 2.475 GWh  
NICHT witterungsbereinigt!

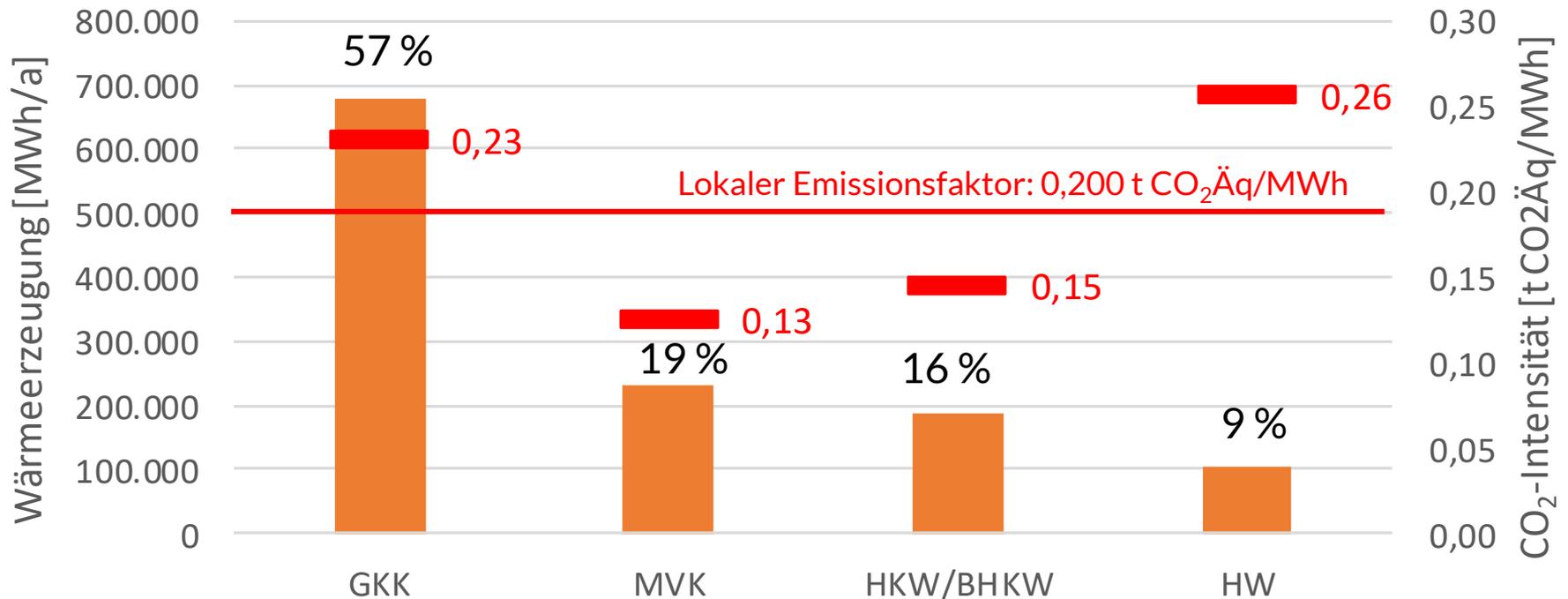
# TREIBHAUSGASEMISSIONEN IM WÄRMESEKTOR 2014



## Treibhausgasemissionen und CO<sub>2</sub>-Intensität im Wärmesektor 2014

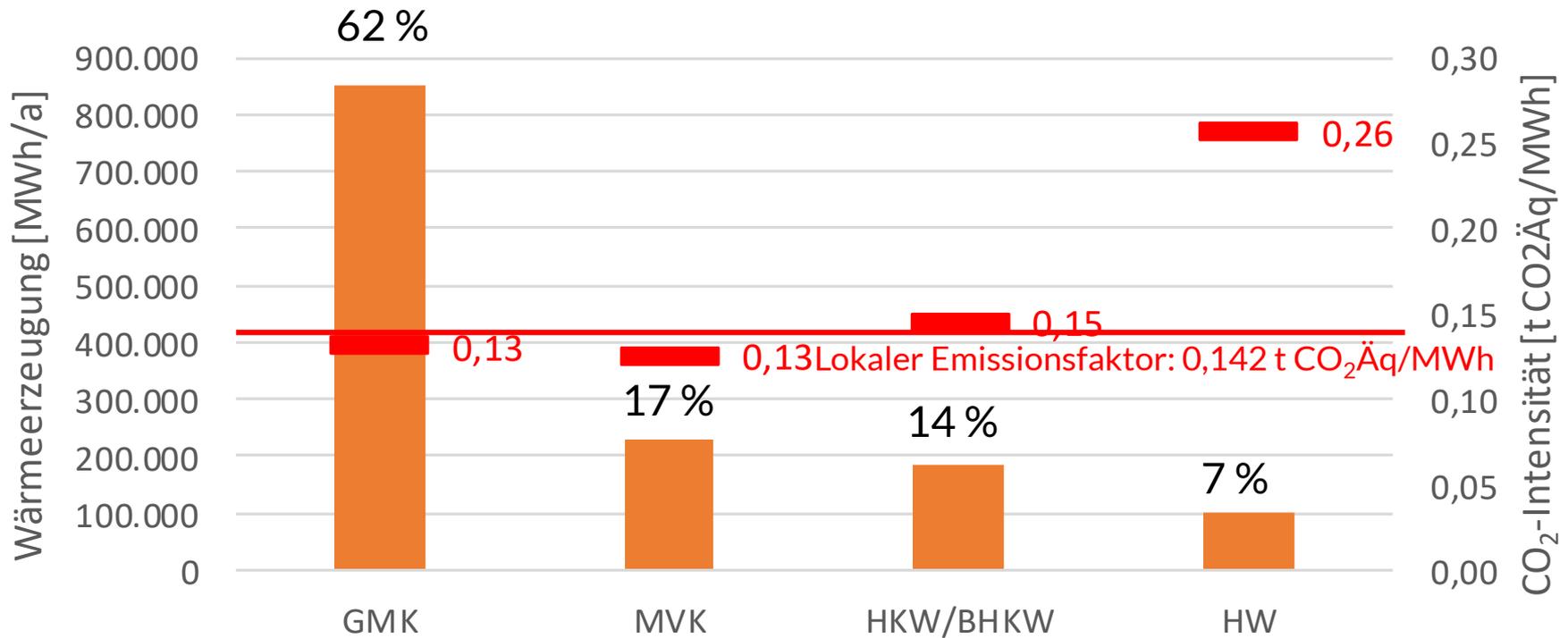


# STRUKTUR DER LEITUNGSGEBUNDENEN WÄRMEERZEUGUNG IM JAHR 2014



Gesamterzeugung: 1.197 GWh/a (~ Wärmeabgabe an Kunden inkl. Netzverluste)  
 Resultierende THG-Emissionen nach dem Territorialprinzip: 205.000 t CO<sub>2</sub>Äq

# STRUKTUR DER LEITUNGSGEBUNDENEN WÄRMEERZEUGUNG MIT DEM KÜSTENKRAFTWERK



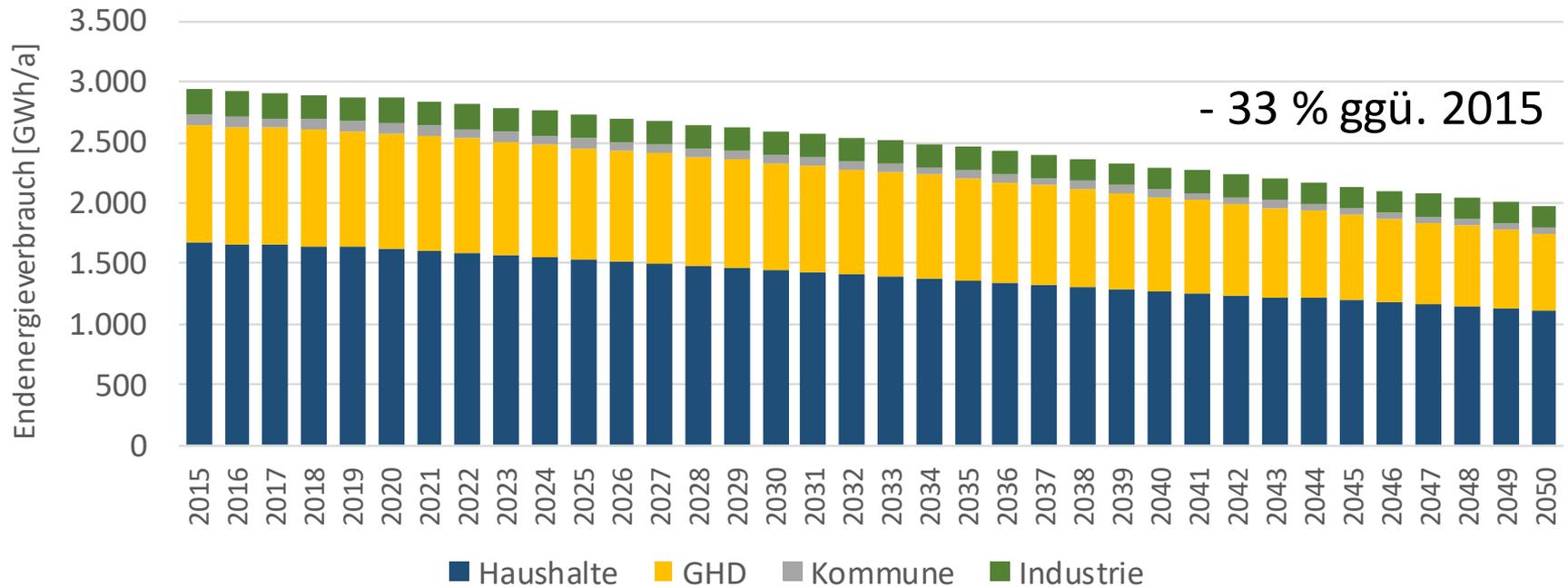
Theoretische Gesamterzeugung: 1.368 GWh/a (Überproduktion – Anpassung der Fahrweise notwendig)

Resultierende THG-Emissionen nach dem Territorialprinzip: 150.000 t CO<sub>2</sub>Äq

# ENTWICKLUNG DES WÄRMEVERBRAUCHS BIS ZUM JAHR 2050



Entwicklung des Wärmeverbrauchs - Workshopergebnisse (vorläufig!)

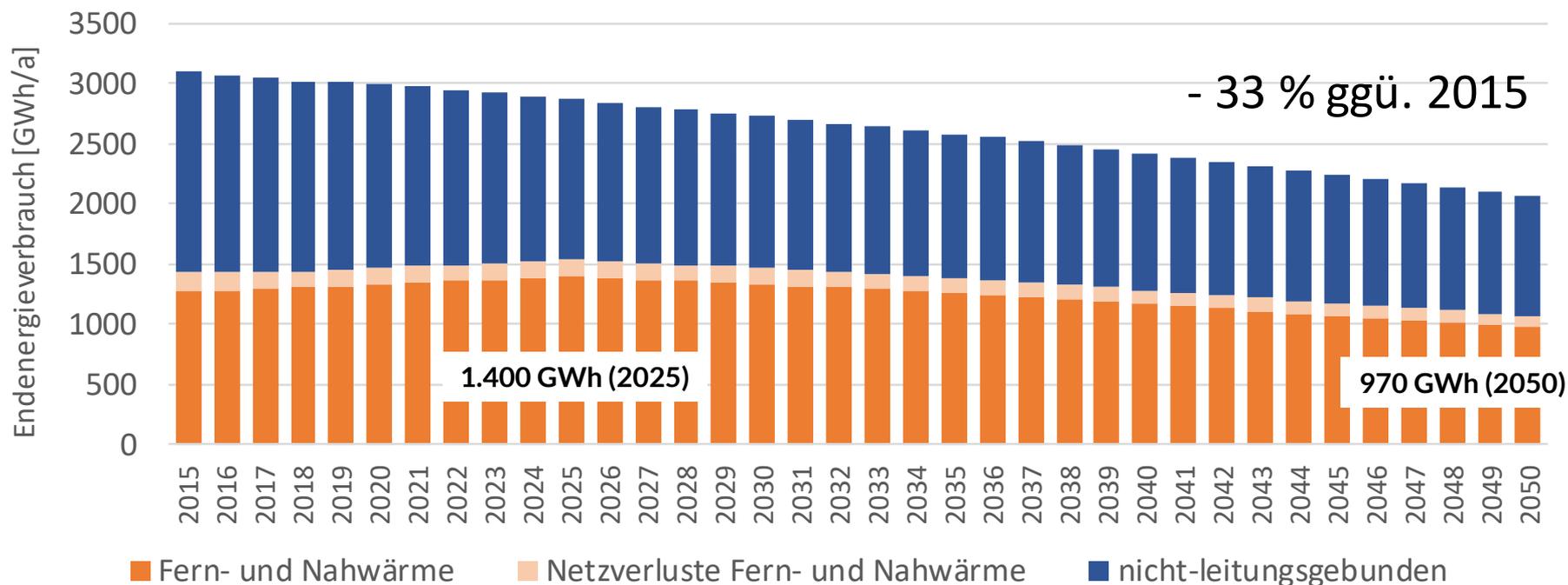


Witterungsbereinigt!

# ENTWICKLUNG LEITUNGSGEBUNDENER WÄRMEERZEUGUNG



Entwicklung des Wärmeverbrauchs - Workshopergebnisse (vorläufig!)

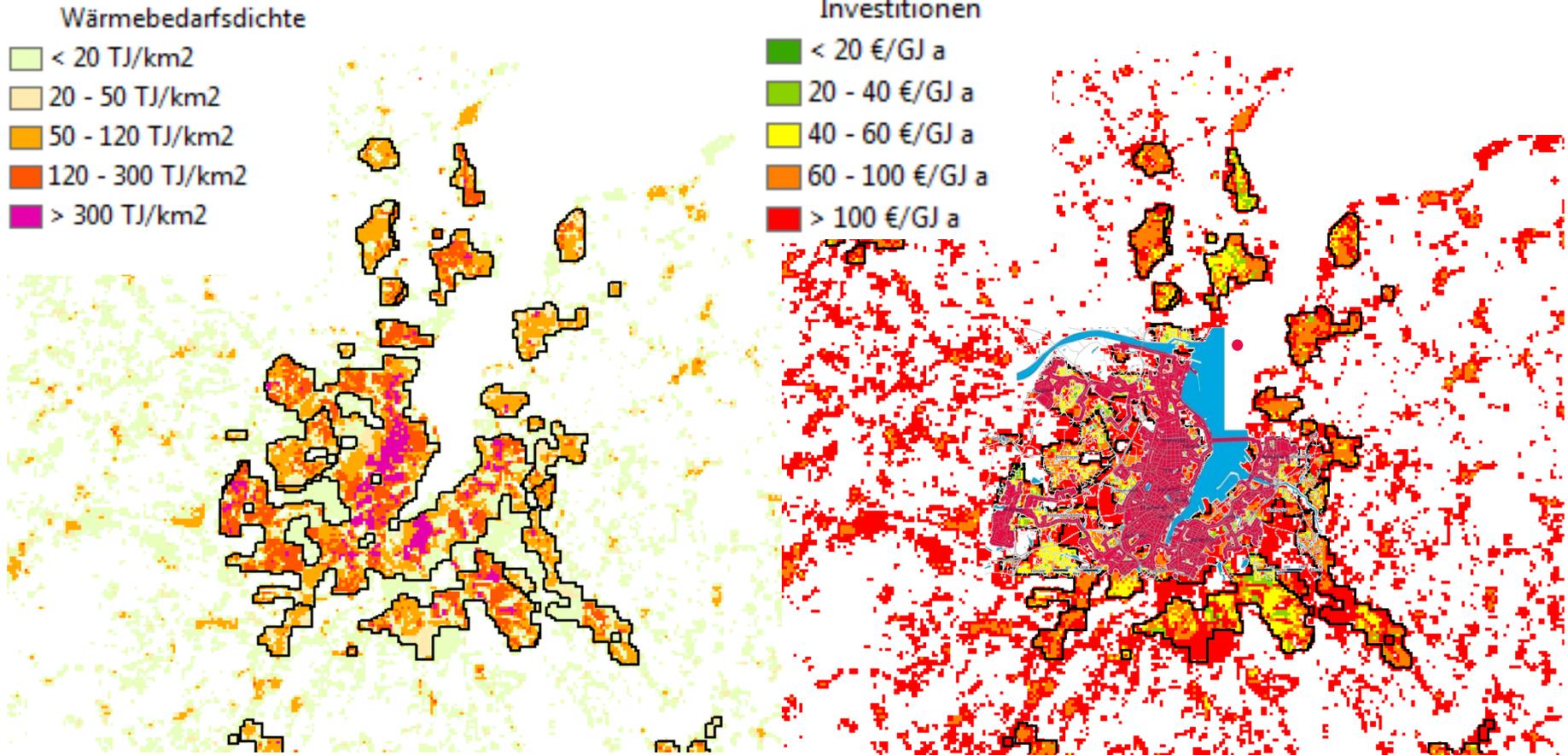


Witterungsbereinigt!

Prognose:

- + 1 % Fern- und Nahwärmeversorgung p.a. durch Netzausbau bis zum Jahr 2025
- Anschließend konstanter Marktanteil bis zum Jahr 2050

# ENTWICKLUNG LEITUNGSgebUNDENER WÄRMEERZEUGUNG



Quelle: Möller, Wiechers, 2017



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

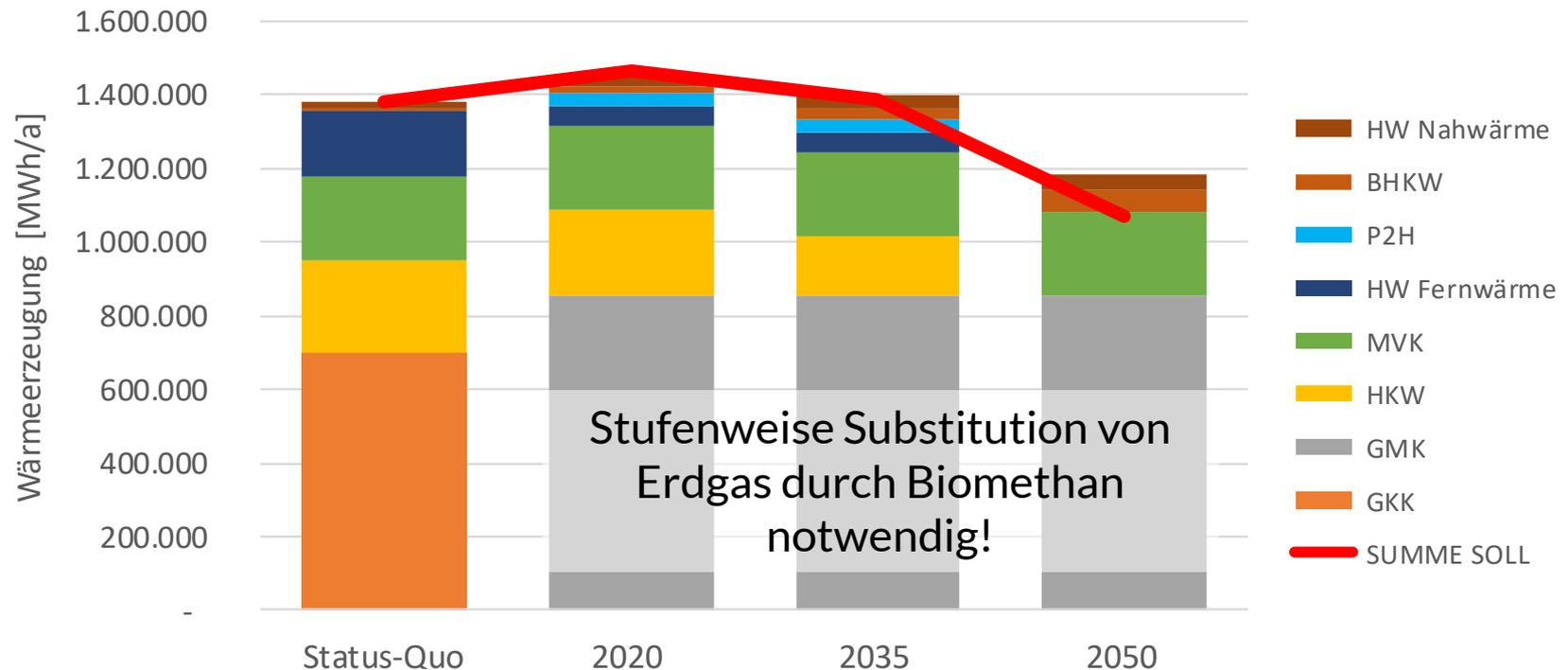
# POTENTIALE UND RESSOURCEN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG VON MORGEN

---

# ZUKÜNFTIGE WÄRMEERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK

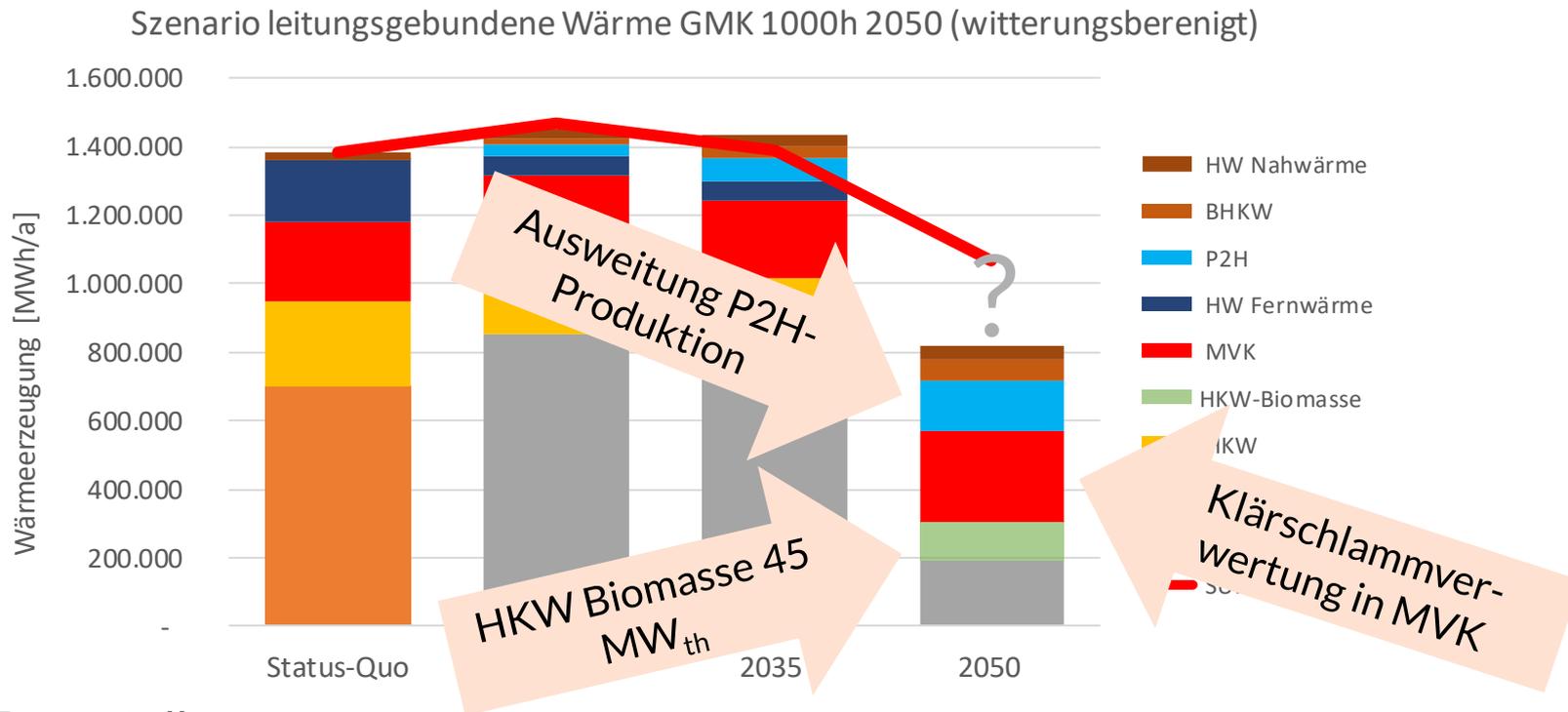


Szenario leitungsgebundene Wärme GMK 4500h 2050  
(witterungsbereinigt)



2050: **21 % der 2016 in D eingespeisten Menge an Biomethan für das GMK!**  
**335 % der Stadtfläche für die Erzeugung von Biomethan!**

# ZUKÜNFTIGE WÄRMEERZEUGUNG MIT DEM 2018 BESTEHENDEN ANLAGENPARK



## Wichtige Fragestellungen:

- Welche CO<sub>2</sub>-neutralen Erzeugungsanlagen können im Jahr 2050 im Bereich der Mittellast (2000 – 3000 Stunden im Jahr) geeignete Optionen darstellen und eine Kapazität von ca. 100 – 150 MW<sub>th</sub> liefern?
- Wie kann eine optimale Kopplung mit dem Strommarkt erreicht werden?

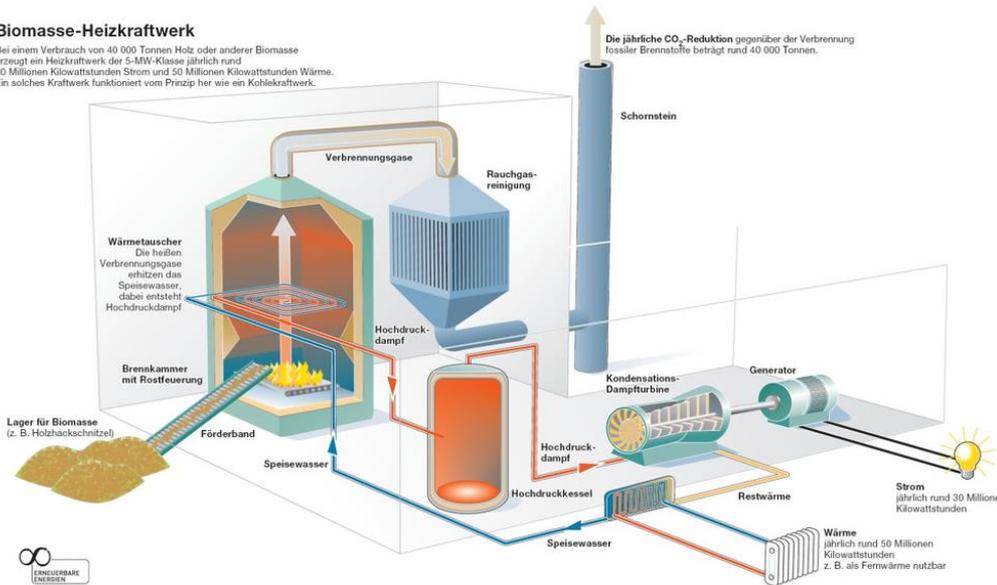
# IDEE 1: BIOMASSE-HEIZKRAFTWERK / HEIZWERK MIT FLEXIBLEM BETRIEB



## Biomasse-Heizkraftwerk

Bei einem Verbrauch von 40 000 Tonnen Holz oder anderer Biomasse erzeugt ein Heizkraftwerk der 5-MW-Klasse jährlich rund 30 Millionen Kilowattstunden Strom und 50 Millionen Kilowattstunden Wärme. Ein solches Kraftwerk funktioniert vom Prinzip her wie ein Kohlekraftwerk.

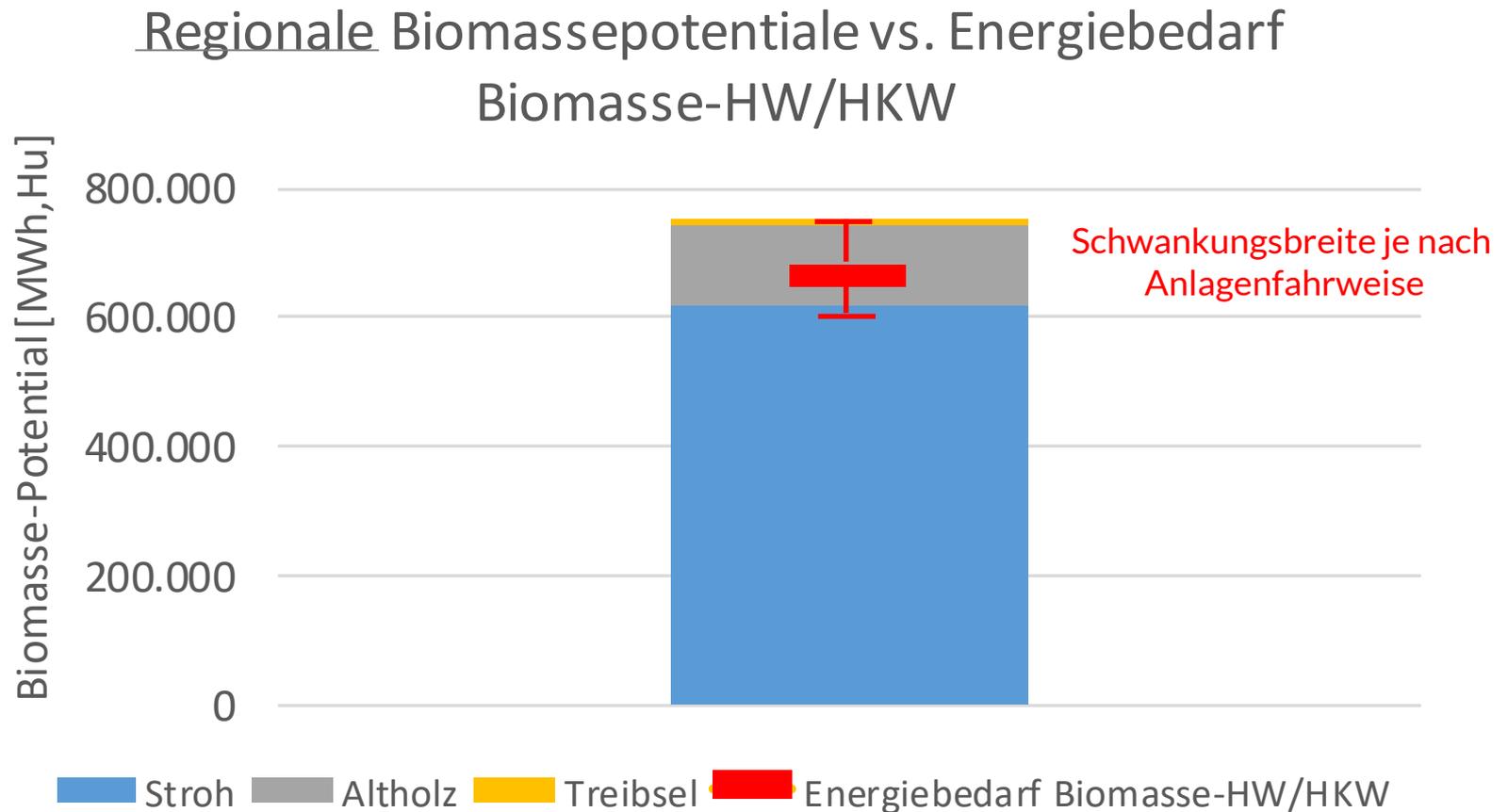
Die jährliche CO<sub>2</sub>-Reduktion gegenüber der Verbrennung fossiler Brennstoffe beträgt rund 40 000 Tonnen.



Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien

- Wechselnder Betrieb zwischen KWK-Betrieb (45 MW<sub>th</sub>) und reiner Wärmeauskopplung (100 MW<sub>th</sub>)
- Bei hoher Windstromerzeugung und Wärmebedarf: Reine Wärmeerzeugung → Keine Abwärme aus dem GMK
- Bei wenig Windstromerzeugung: KWK-Erzeugung → Abwärme aus dem GMK ebenfalls vorhanden

# IDEE 1: BIOMASSE-HEIZKRAFTWERK / HEIZWERK MIT FLEXIBLEM BETRIEB



Quelle: Pyöry, 2014

# IDEE 2: GROßWÄRMEPUMPEN MIT TIEFER GEOTHERMIE ALS WÄRMEQUELLE



Wärmepumpe in Drammen, NO:

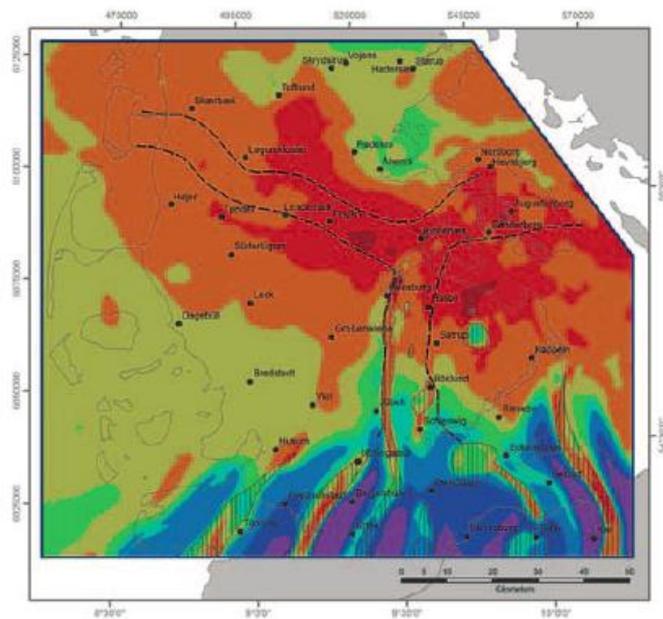
- 13,2 MW<sub>th</sub>
- Flusswasser als Wärmequelle
- Vorlauftemperatur Fernwärmenetz 90 °C
- COP > 3

Quelle: Sørensen, 2017

Großwärmepumpe(n) in Kiel, 2050??

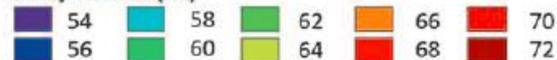
- X \* 15 MW<sub>th</sub>
- „Tiefe“ Geothermie als Wärmequelle
- Vorlauftemperatur Fernwärmenetz 2050?
- Deutliche Erhöhung des COP durch hohen Temperaturgradienten
- Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit: Bohrkosten tiefe Geothermie

# IDEE 2: GROßWÄRMEPUMPEN MIT TIEFER GEOTHERMIE ALS WÄRMEQUELLE



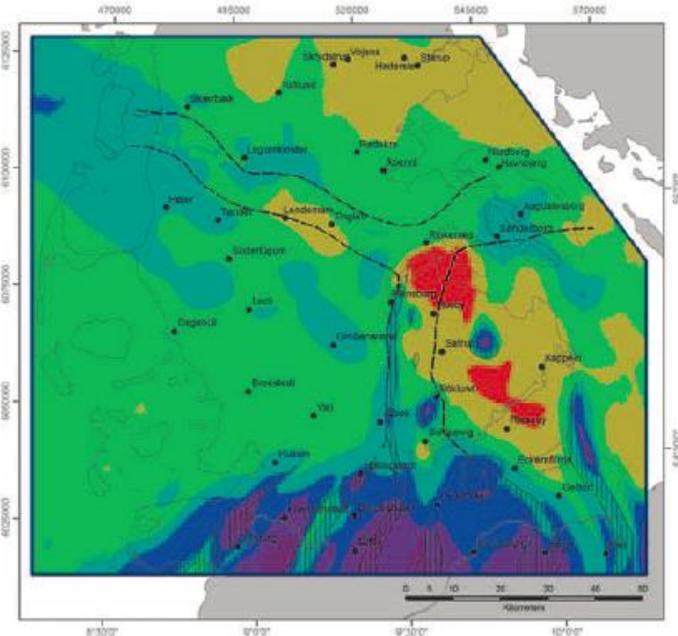
2 km below sea level

Temperature (°C)



--- Trend of fault system

▨ Salt diapir and salt wall



3 km below sea level

Temperature (°C)



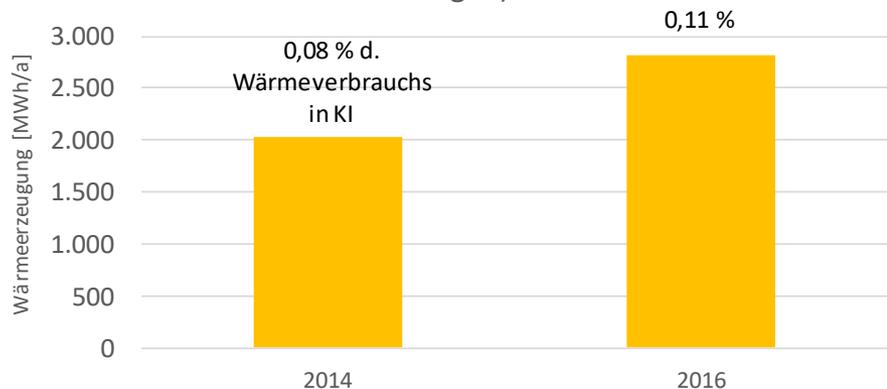
--- Trend of fault system

▨ Salt diapir and salt wall

Quelle: Kirsch et al., 2014

# SOLARTHERMIE

Solarthermie-Erzeugung in Kiel (BAFA-geförderte Anlagen)



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von BAFA, 2016



Annahme Gesamtpotential:  
Alle für die Erzeugung von Photovoltaik geeigneten Dachflächen werden für Solarthermie genutzt!



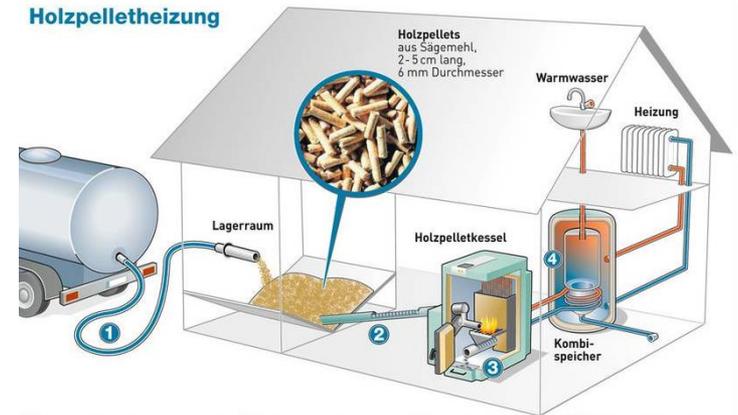
	Bestand	Potential
Kiel	2,8 GWh <sub>th</sub>	677 GWh <sub>th</sub>

Gesamtpotential

~ 27 % d. Wärmeverbrauchs 2014

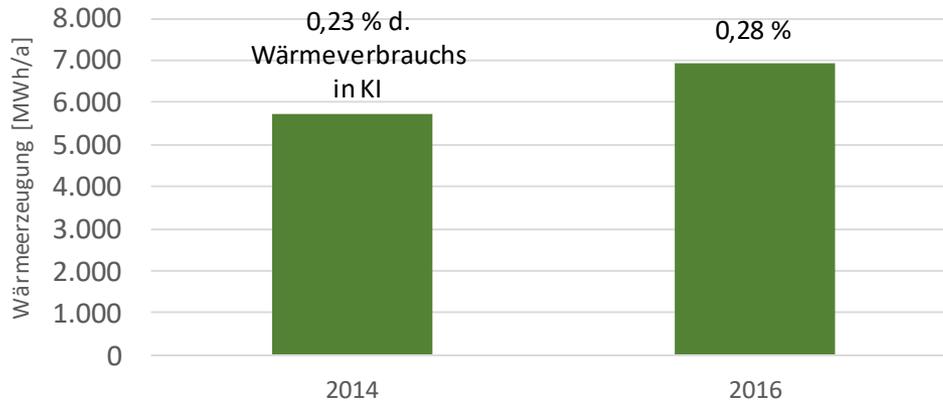
~ 67 % d. nicht-leitungsgebundenen Wärmeverbrauchs 2050

# HOLZHEIZUNGEN



Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien

Wärmeerzeugung aus Holz in Einzelheizungen (BAFA-geförderte Anlagen)



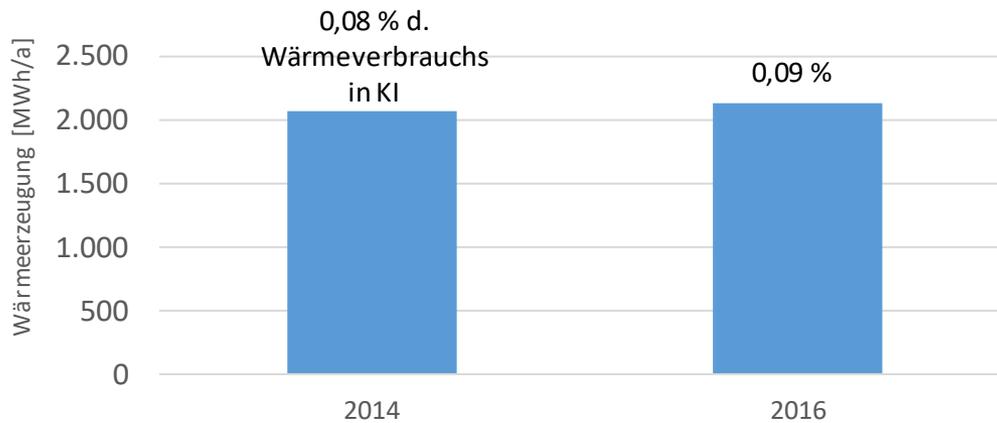
Quelle: eigene Berechnung auf Basis von BAFA, 2016

- Regionale Potentiale stark begrenzt und voraussichtlich für die leitungsgebundene Wärmeversorgung notwendig
- Import von Holzpellets möglich

# WÄRMEPUMPEN



Wärmeerzeugung aus Wärmepumpen (BAFA-geförderte Anlagen)



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von BAFA, 2016

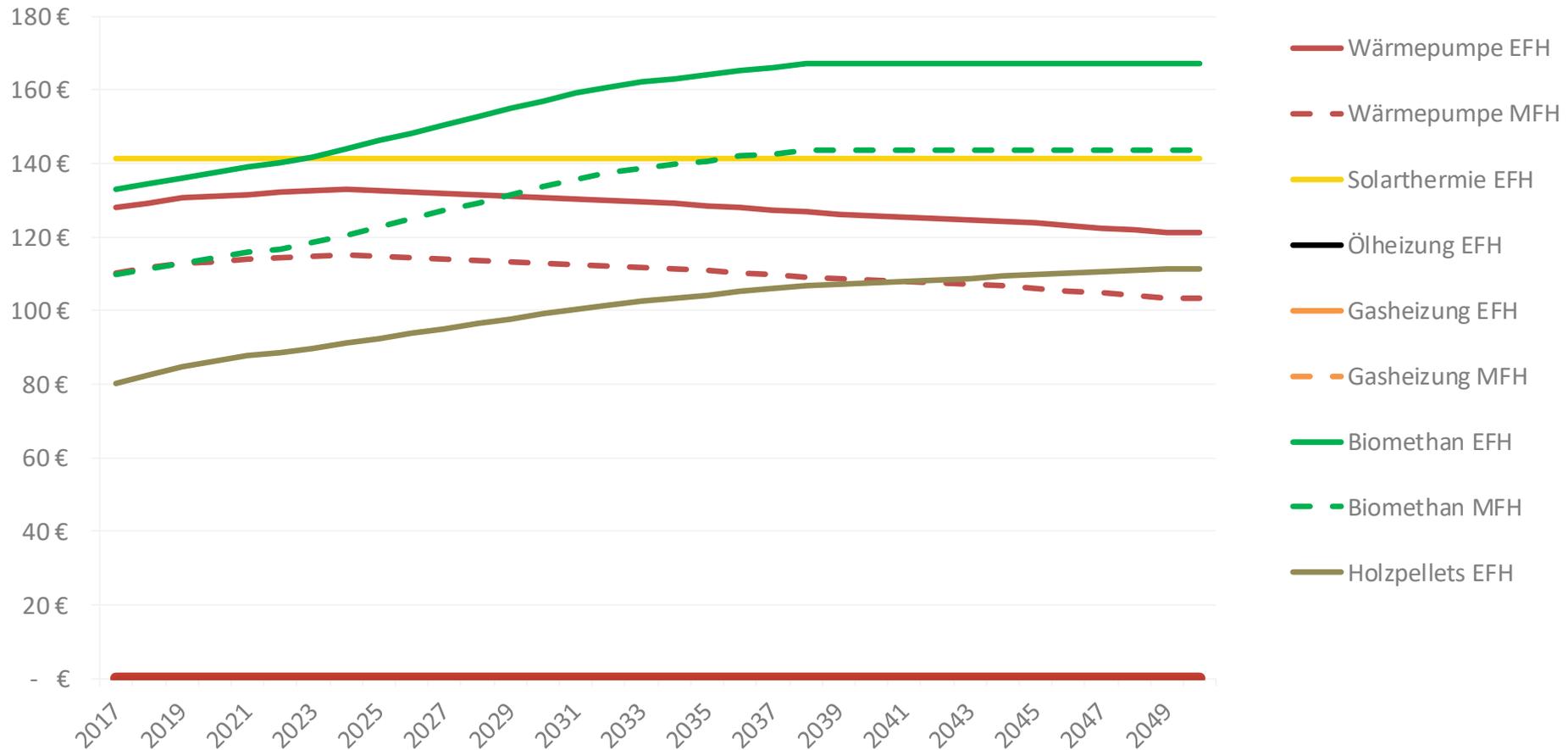


Quelle: sba-alternativenergie.de

Nutzbare Quellen für Umgebungswärme: Luft, Erdwärme, Wasser

- Gute Eignung bei Neubauten mit geringen Anforderungen an das Temperaturniveau im Heizungsverlauf
- Effiziente Nutzung des verfügbaren regenerativen Stroms
- Wärmespeicher zur strommarktgeführten Fahrweise

# WÄRME-GESTEHUNGSKOSTEN IN REFERENZGEBÄUDEN





**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# ARBEITSGRUPPENPHASE

---

# AG 1: MODELLIERUNG DER LEITUNGSGEBUNDENEN WÄRMEERZEUGUNG



## Ausgabe (u.a.)

Zeitreihen Wärmeerzeugung auf dem Stadtgebiet vs. Wärmeverbrauch

Fahrweise von PtH-Anlagen und Wärmespeicher

CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmeerzeugung auf dem Stadtgebiet / CO<sub>2</sub>-Intensität

Flächenbedarf für Biomethan-Import, Biomasse-Import

## Diskussion:

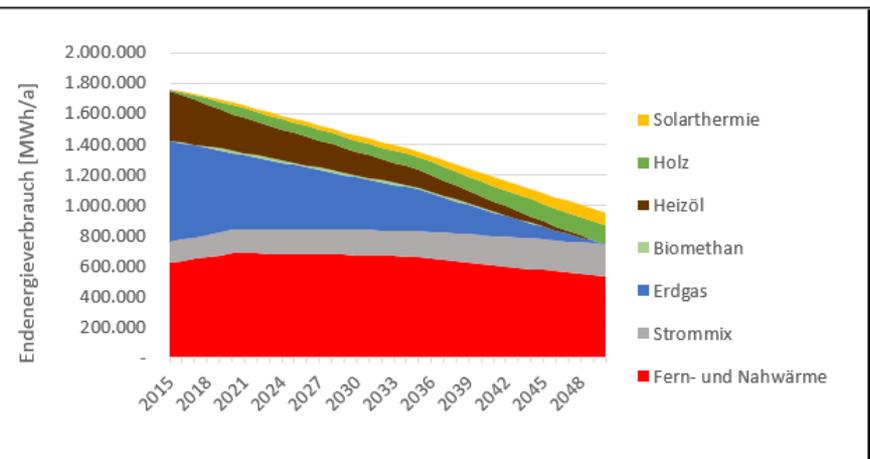
- Welche Technologien stehen zur Verfügung, um den Wärmebedarf bei verringerter Volllaststundenzahl des GMK alternativ zu decken?  
→ Bedarf: 100 – 150 MW<sub>th</sub> (2.000 – 3.000 Volllaststunden)
- Wo liegen die Vorteile und Herausforderungen der verschiedenen Technologien?
- Welche Versorgungsoption wird empfohlen?

# AG 2: CO<sub>2</sub>-NEUTRALITÄT DER NICHT-LEITUNGSGEBUNDENEN WÄRMEVERSORGUNG



1. Basis: Abschätzung des Anteils leitungsgebundener Wärmeversorgung in den Stützjahren → Strategie zur CO<sub>2</sub>-Neutralität im Jahr 2050 wird über das Energiemodell entwickelt
2. Erarbeitung eines Pfads zur CO<sub>2</sub>-neutralen Wärmeversorgung im Bereich nicht-leitungsgebundener Wärme

	2015	2020	2035	2050
<b>Wärme - Haushalte</b>				
<b>Raumwärme</b>				
davon Fern- und Nahwärme	38,00%	43,0%	50,0%	50,0%
davon Erdgas	41,00%	32,0%	21,0%	0,0%
davon Biomethan	0,00%	1,0%	1,0%	0,0%
davon Heizöl	20,40%	15,0%	9,0%	0,0%
davon Holz	0,30%	4,0%	6,0%	12,0%
davon Solarthermie	0,20%	1,0%	3,0%	8,0%
davon Wärmepumpe	0,10%	4,0%	10,0%	30,0%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>Warmwasser</b>				
Anteil dezentrale Erzeugung	40%	40%	45%	50%
Anteil zentrale Erzeugung	60%	60%	55%	50%





**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# VORSTELLUNG UND ZUSAMMENFÜHRUNG DER ARBEITSGRUPPEN- ERGEBNISSE

---



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

# UMSETZUNGSSTRATEGIEN

---

# UMSETZUNGSSTRATEGIEN



Leitfragen für die Diskussion:

- In welchen der heute diskutierten Entwicklungen sehen Sie große Herausforderungen für die zukünftige Energieversorgung der Landeshauptstadt Kiel?
- Welche Implikationen bestehen für zentrale Akteure der Umsetzungsphase (Energiewirtschaft / Wohnungswirtschaft)?
- Welche wichtigen langfristigen Weichenstellungen müssen erfolgen zur Realisierung des erarbeiteten Handlungsplanes?
  - Strategisch?
  - Beim Aufbau von Know-How?
  - Akteurseinbindung / Ansprache von Schlüsselpersonen?

# ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK



Workshop „Zukunft der Fernwärme“ am 09. Mai 2017

- Wie kann die Kieler Fernwärme bei Reduzierung des Wärmeverbrauchs langfristig zukunftsfähig erhalten bleiben?
- Wie kann eine Ausweitung der Fernwärmeversorgung kurz- und mittelfristig erreicht werden und welches sind die Erfolgsfaktoren hierfür?
- Wie kann die Effizienz des Fernwärme-Gesamtsystems gesteigert werden, um Energieverluste zu minimieren und die Wirtschaftlichkeit weiter zu verbessern?



**SCS** sustainable energy and climate strategies

**Hohmeyer | Partner**

VIELEN DANK FÜR IHRE  
MITARBEIT!

---