

Kurzinput 1: Abwärmenutzung im Fokus der Energie- und Industrietransformation

Dietmar Schüwer, Wuppertal Institut

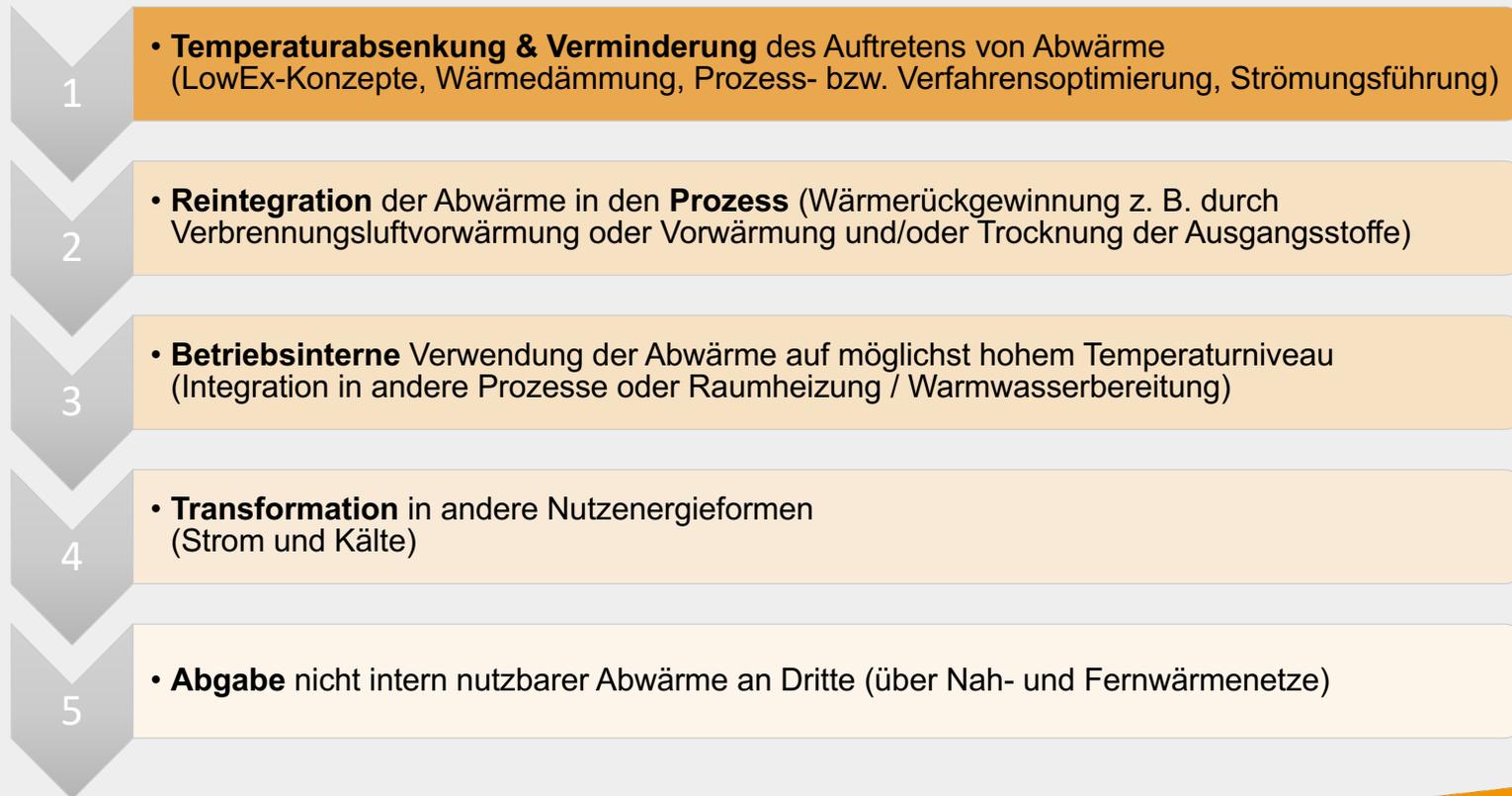


Foto: Prime Images via Getty Images

06. September 2024

Konferenz Wissenschaft trifft Wirtschaft IV
Forum 3.1: Industrie meets Kommunen - Von Abwärme zu Mehrwert

Priorisierung der Abwärmenutzung



← **Fokus dieses Forums!**

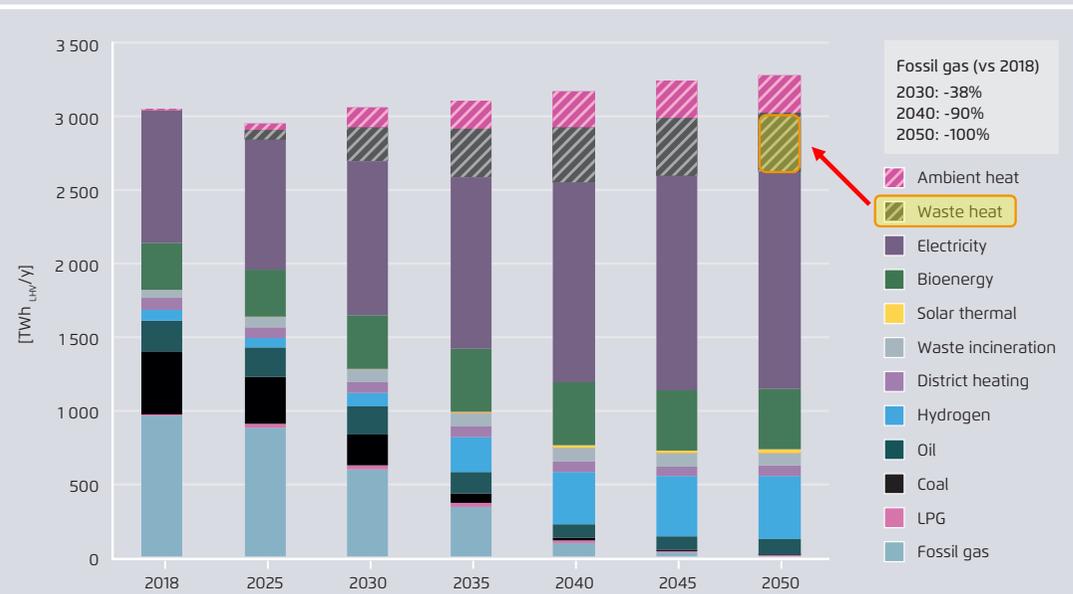
Quelle: Eigene Darstellung (nach SAENA 2012)

Abwärme kann ein bedeutender Baustein werden für die Dekarbonisierung...

... der industriellen Prozesswärmeversorgung

Final energy consumption in industry, EU-27

Figure 16



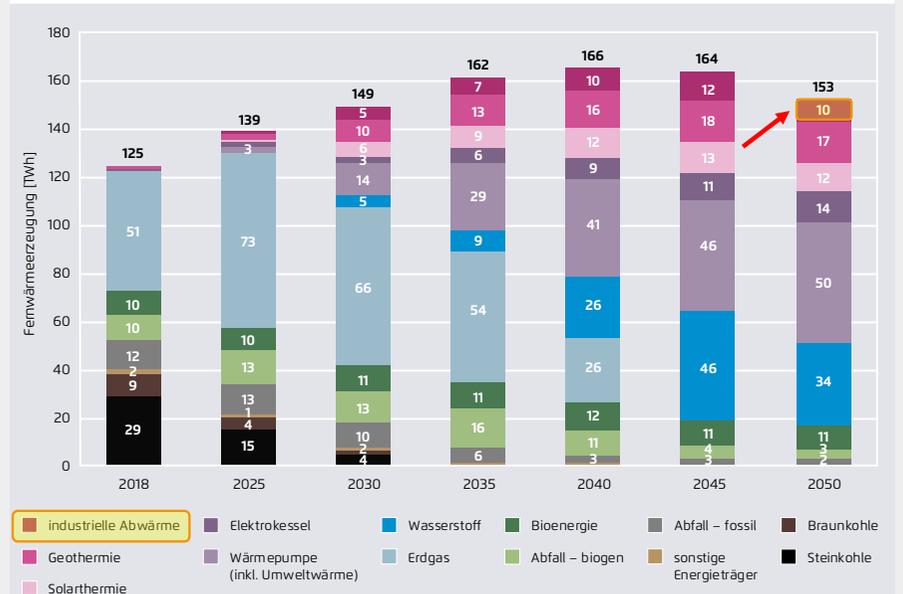
Wuppertal Institute modelling (2023). *H₂ and bioenergy demand includes non-energy demand

Agora et al.: Breaking free from fossil gas (Mai 23)

... UND der kommunalen Wärmeversorgung

Fernwärmeerzeugung

Abbildung 21



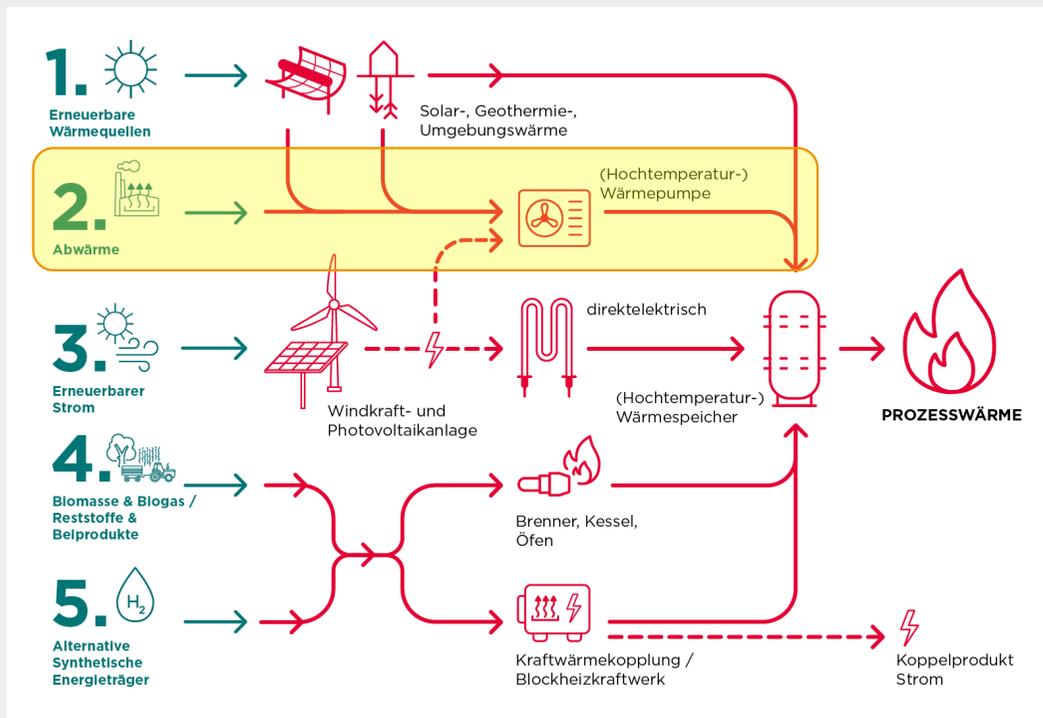
Prognos (2021)

Prognos et al.: Klimaneutrales Deutschland 2045 (Jün 21)

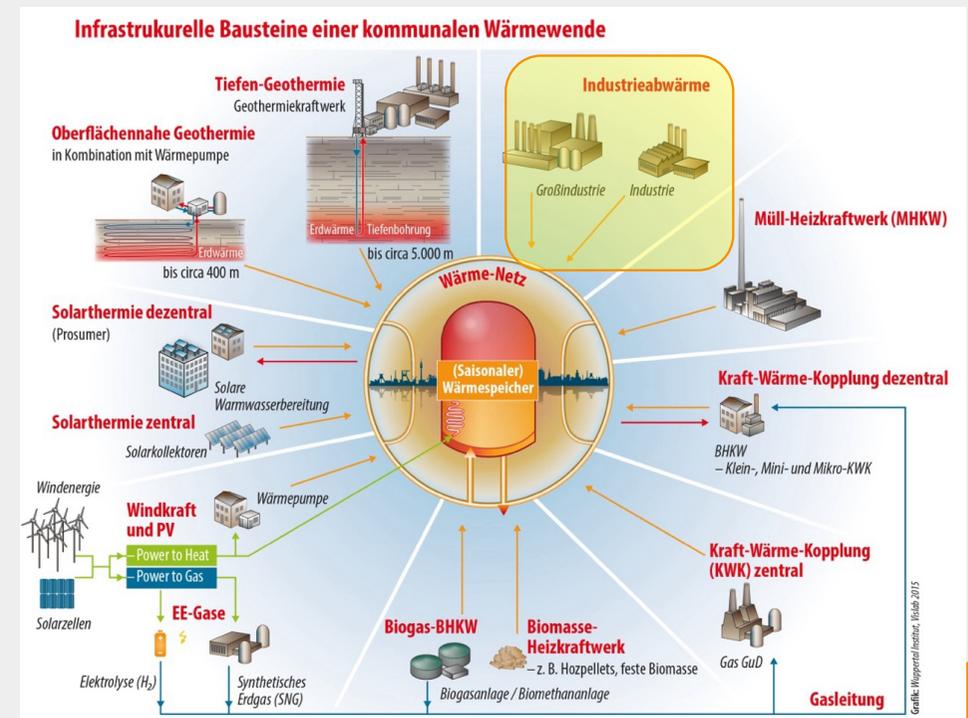
Abwärme kann jeweils ein bedeutender Baustein werden für die Dekarbonisierung...

... der industriellen Prozesswärmeversorgung

... UND der kommunalen Wärmeversorgung



Quelle: Schüwer und Holtz in et 10/2023



Quelle: Wuppertal Institut

Quelle: Wuppertal Institut, März 2015

Screening von „Abwärme“

in neun aktuellen Klimaneutralitäts-Studien (Jun 21 bis Mai 23)



- Häufigkeit der Nennung des Begriffs „Abwärme“: zwischen „0“ (THG-neutrales Deutschland bis 2045) und „10“ (Klimapfade 2.0)
- Nur 4 Studien mit quantitativen Aussagen zur Abwärmenutzung in der FW bzw. 2 Studien in der industriellen Prozesswärme:

Abwärme / Fernwärme / Prozesswärme in TWh	2018	2030		2045		2050	
	Abwärme	Abwärme	Anteil an FW/PW	Abwärme	Anteil an FW/PW	Abwärme	Anteil an FW/PW
Dena Leitstudie: Fernwärme	-	7	6 % (von 124)	14	13 % (von 109)	14	14 % (von 101)
Klimapfade 2.0: Fernwärme Prozesswärme ¹⁾	-	5 36	3 % (von 157) 8 % (von 444)	10 15	6 % (von 163) 4 % (von 366)	-	-
KNDE: Fernwärme	2	5	3 % (von 149)	12	7% (von 164)	10	7% (von 153)
EU-Szenario							
GExit (EU 27)²⁾: Fernwärme	2	48	7 % (von 710)	133	22 % (von 615)	154	26 % (von 585)
Prozesswärme	0	250	8 % (von 3.050)	300	10 % (von 3.150)	400	12 % (von 3.300)

- Insgesamt nur wenige (detaillierte) Aussagen zur Abwärme, quantitativ teilweise unscharf (z.B. subsummiert unter „Wärmepumpe“)
- Kontext der Nennung i.d.R. Energiesektor (Senke), nicht Industriesektor (Quelle), eine Studie (SCI4Climate.NRW) nennt Kontext Nutzung von Abwärme zur „*energieeffizienten CO₂-Abscheidung in der Zementindustrie (Aminwäsche)*“
- I.d.R. keine Aussagen über Impact der Industrie-Transformation (Dekarbonisierung) auf zukünftige Abwärmepotenziale

¹⁾ Klimapfade 2.0: Fernwärme und Abwärme gemeinsam ausgewiesen ²⁾ GExit-Studie: Ambient and waste heat gemeinsam ausgewiesen

Mögliche Auswirkungen der Industriedekarbonisierung auf die Nutzung industrieller Abwärme - eine erste qualitative Einordnung



Indikator	Auswirkungen	Tendenz Abwärmepotenzial
Produktwechsel	<ul style="list-style-type: none"> Phase-out fossiler Produkte (z.B. Heizöl, Benzin) 	↓
Prozesswechsel	<ul style="list-style-type: none"> Phase-out abwärmeintensiver Prozesse (z.B. Ersatz Hochofenroute durch H₂-Direktreduktions-Anlage oder durch Import von Eisenschwamm DRI) 	↓ ↘
Elektrifizierung	<ul style="list-style-type: none"> Erhebliche Effizienzverbesserung (bessere Dosierung, keine Abgase, Bsp.: elektr. Kalzinator) Erhöhter Bedarf an Flexibilisierung (Strom schlechter speicherbar als Brennstoffe), aber gleichzeitig auch Potenzial für Flexibilisierung (PtH mit Wärmespeicher) 	↘
PtX	<ul style="list-style-type: none"> Gewisse Effizienzverbesserung im Bereich der Energienachfrage (Synthese angepasster und sauberer Brennstoffe) Ansonsten tendenziell eher gleichbleibende Abwärmeströme hinsichtlich Menge und Temperatur Aber: bei H₂-Produktion (Elektrolyse) sowie Bereitstellung synthetischer Kohlenwasserstoffe (Methanol-Synthese, Fischer-Tropsch-Prozess) möglicherweise hohe zusätzliche Abwärmemengen 	↘ → ↑
iCCS/CCU	<ul style="list-style-type: none"> Effizienzverluste (je nach Prozess höherer Dampf- oder Strombedarf) bzw. Nutzung (bisher ungenutzter) interner Abwärmeströme anstelle von Abwärmeabgabe an Dritte (z.B. Post-Combustion-CCS) Ansonsten etwa gleichbleibende Abwärmeströme hinsichtlich Menge und Temperatur 	↘ →

iCCS: Industrielles Carbon Capture and Storage, CCU: Carbon Capture and Usage, DRI: Direct Reduced Iron



et 10/2023

Bereitstellung klimaneutraler Prozesswärme für die Industrie: Ein 4-Stufen-Modell

Dietmar Schüwer und Georg Hübch

Die Bereitstellung industrieller Prozesswärme ist eine zentrale Herausforderung für ein zukünftiges klimaneutrales Energiesystem. In diesem Artikel wird die Vielfalt an etablierten und neuen Energieträgern und Technologien zur Erzeugung von klimaneutraler Prozesswärme vorgestellt. Zudem werden ihre wichtigsten Stärken und Schwächen skizziert, um daraus geeignete Anwendungsfelder und eine Priorisierung ihres Einsatzes zu identifizieren.

Im Jahr 2021 entfielen rund 67 % oder 472 TWh des gesamten industriellen Endenergiebedarfs von 699 TWh auf die Bereitstellung industrieller Prozesswärme. Von dieser Prozesswärme wird bisher mit 61 % nur ein Bruchteil gleichzeitig aus erneuerbaren Energien bereitgestellt. Weiterhin 8 % werden über Strom bzw. 7 % über Fernwärme zugeführt, während erneuerbar versorgt. Die Industrie stellt dabei vor der großen Herausforderung, diese in über drei Vierteln auf fossilen Energieträgern basierenden Prozesswärmebedarf in nur wenigen Jahrzehnten zu dekarbonisieren bzw. dezentralisieren [1].

Bereits heute stehen alternative Energieträger und Technologien für die Prozesswärmebereitstellung bereit bzw. werden in naher Zukunft verfügbar werden, die eine deutliche Minderung der CO₂-Emissionen ermöglichen bzw. die gleichzeitig lokal treibhausgasneutral sind. Im Folgenden werden diese alternativen Wärmeerzeugungsoptionen nach ihrem technischen Eigenschaften sowie nach ihrer Energie- und Ressourceneffizienz differenziert betrachtet und untersucht, wie sie nach diesem Gesichtspunkt möglichst optimal im industriellen und Gesamtenergiesystem eingesetzt werden können.

Technologien für eine klimaneutrale Prozesswärme

Abb. 1 zeigt die technischen Möglichkeiten zur Dekarbonisierung industrieller Prozesswärmeerzeugung mit 100% erneuerbaren Wärmequellen, unvermeidlicher Abwärme, erneuerbarem Strom, Biomasse (einschließlich Biogas, Biostoffe) (z.B. aus der Papierindustrie) und Biogedächtsen (z.B. Bierebaugebiet) und Biogedächtsen (z.B. Bierebaugebiet) sowie alternativen synthetischen Energieträgern (einschließlich Wasserstoff und synthetischer Methan).

Owohl diese Energieträger und Technologien grundsätzlich am Markt verfügbar sind, zeichnen sie sich durch unterschiedliche Mengenverfügbarkeit (z.B. Hochlauf von grünem Wasserstoff) und technische Reife (z.B. bei der Elektrifizierung spezieller technischer Prozesse) aus. So benötigt beispielsweise nach Forschungsbefragungen zu einigen Technologien wie Hochtemperatur-Wärmepumpen oder Wärmespeichern sowie hinsichtlich hybrider Konzepten und der Integration verschiedener Wärmeerzeuger in industrielle Prozesse.

Grundsätzlich muss beachtet werden, dass nicht alle erneuerbaren Energieträger überall und jederzeit verfügbar sind. Zudem ist nicht jede Technologie für jede Temperaturstufe und jeden Anwendungsbereich (Prozess, Branche) geeignet. Eine zentrale Herausforderung besteht dabei darin, für jeden speziellen Anwendungsfall möglichst nachhaltige Lösungen zur Wärmeerzeugung, entsprechend dem benötigten Temperaturniveau zu entwickeln und einzusetzen.

Demnach lässt sich unter dem Gesichtspunkt der Energie- und Ressourceneffizienz eine Priorisierung der Bereitstellungsoptionen ableiten, die über die Einsatzfeldbewertung hinausweist. Das in der gemeinsamen AG Prozesswärme des Thinktanks ENClimate.NRW sowie des wissenschaftlichen Konsortiums SCI4Climate.NRW erstellte 4-Stufen-Modell [2] kann eine gute Hilfestellung sein bei der Frage, in welcher Priorisierungsreihenfolge zur Dekarbonisierung industrieller Prozesswärme im Einzelnen vorgegangen werden sollten. Die vier Stufen (s. Abb. 2) werden nachfolgend beschrieben.

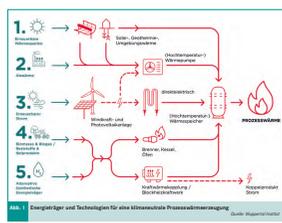


Abb. 1: Energieträger und Technologien für eine klimaneutrale Prozesswärmeerzeugung

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-84165>

Dietmar Schüwer | dietmar.schuewer@wupperinst.org
www.wupperinst.org

Bildnachweis: Getty Images, © iStock, © NRW.Energy4Climate

et 07/2024

Die Rolle der Abwärme in Klimaschutzszenarien

Dietmar Schüwer, Jens Kurwin und Suscha Samad

Die Nutzung unvermeidbarer Abwärme gilt als ein wichtiger Baustein zur Dekarbonisierung von industrieller Prozesswärme und Erzeugung. In diesem Artikel werden die Ergebnisse einer Metaanalyse zur Rolle der Abwärme in verschiedenen Klimaschutzszenarien für Deutschland vorgestellt.

Die vorliegende Metaanalyse untersucht die Szenarien für die Jahre 2030, 2040, die im Zeitraum von Juni 2021 bis Mai 2023 veröffentlicht wurden und die sich auf den Bilanzraum Deutschland beziehen. Sie setzen das Erreichen der Klimaneutralität spätestens bis zum Jahr 2045 voraus und sind kompatibel mit den aktuellsten deutschen Klimaschutzszenarien. Lediglich die in der Metaanalyse von EYFS untersuchten Szenarien basieren 2:1 nach auf dem deutschen national Klimaschutzziel, welches Klimaneutralität erst für 2030 vorsieht.

Zusätzlich wird insbesondere mit der Grafik (siehe Gl. 1) ein Szenario mit einem auf Europa erweiterten Bilanzraum untersucht, welches nach quantitativer Angabe zur Abwärme markt. Diese Studie ist mit dem europäischen Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 kompatibel. In Tab. 1 sind die jeweiligen TWh, Auftrag bzw. Förderkennlinie, beschreibende Text sowie die Namen der betrachteten Szenarien zusammengestellt.

In der Metaanalyse wurden die Häufigkeit der Nennung des Begriffs Abwärme, der

Kontext, in dem das Thema behandelt wird, sowie qualitative und - sofern vorhanden - quantitative Aussagen zur Abwärmenutzung und Nutzung zusammengefasst.

Die Häufigkeit der Nennung des Begriffs Abwärme schwankt dabei zwischen 0% (Treibhausgasneutral Deutschland bis 2045) und 20% (Klimapfad 2:1). Diese Zahlen legen bereits eine relativ geringe Berücksichtigung mit dem Thema Abwärme in vollständigen Klimaschutzszenarien nahe. Selbst in der Studie mit dem meisten Treffern (16) ist der Begriff

Nummer & Jahr	Langtitel	Veröffentlichung	Auftrag / Förderkennlinie	Bearbeiter	Klimaschutzszenario
1) 2021	Arbeits-Bericht Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Ziele im Bundesbericht	Oktober 2021	BNEF	Arbeits-Szenarien von 13 Institute für die EEK, Fraunhofer IEE, IZL	Schick-Zukunftsszenario
2) 2021	Langfristperspektive für die Transformation des Energiepotentials in Deutschland - Induktionsgenerale Szenario 2045	November 2021	BNEF	Casemiro, Fraunhofer IEE, Fraunhofer IZL	Induktionsgenerale Szenario
3) 2021	Arbeits-Bericht - Arbeits-Klimaschutzszenario: Eine praxientaugliche für die Aufgabe	Oktober 2021	Arbeits	EYFS et al.	Bezugsrahmen Klimaneutralität 2045 (K2045) mit einer Pilotregion
4) 2021	Szenarien für eine klimaneutrale Industrie: Betriebsformen, Verhaltensänderungen und Lebensstil	Februar 2021	Arbeits, Leopoldina und Akademie der Wissenschaften	Engelhardt, M., Wiedlich, A. et al.	Metaanalyse von 10 Szenarien zur Energieeffizienz und zur Reduzierung des Energiepotentials
5) 2021	Klimapfad 2:1 - Ein Wirtschaftsperspektive für Klima und Zukunft	Oktober 2021	IEK	Bosch Consulting Group (BCG)	Zielbild
6) 2021	Klimaschutzszenario Deutschland 2045: Wie Deutschland seine Klimaziele schon im 2019 erreichen kann	Oktober 2021	Wissenschaftliche Kommission der Bundesregierung	Fraunhofer, IEE Institut, Wuppertal Institut	Szenario Klimaneutralität 2045
7) 2021	Induktionsgenerale bis 2045 - Ein Szenario aus dem Projekt 'Industrie.NRW'	September 2021	IEK	Wuppertal Institut und IEE Institut der Deutschen Wirtschaft	SCI4Climate.NRW Klimaneutralität (K4.1)
8) 2021	Neue Ziele auf dem Weg? Szenarien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045	August 2021	IEK	FZ Jülich, Fraunhofer IEE, IZL	Zukunftswerte K2045
9) 2021	Reaktion des Strom-Bestands auf einen Klimawandel	Mai 2021	Arbeits	Arbeits, EFP Energy, Wuppertal Institut	IEK: Gas-EK Pathway
10) 2021	Arbeits-Bericht - Arbeits-Klimaschutzszenario: Eine praxientaugliche für die Aufgabe	Oktober 2021	Arbeits	EYFS et al.	Zukunftswerte K2045

Tab. 1: Liste der zum Thema Abwärme untersuchten Studien und ihrer Klimaschutzszenarien

www.wupperinst.org/abw/ra/s/ad/8634

Vielen Dank!

NRW.Energy4Climate GmbH
Kaistraße 5, 40221 Düsseldorf