

Effizient, erneuerbar, elektrisch und alternativ: Das Vier-Stufen-Modell zur Dekarbonisierung industrieller Prozesswärme

Dietmar Schüwer, Wuppertal Institut



**Wuppertal
Institut**



**SCI4CLIMATE
.NRW**

Quelle: IN4climate.NRW

1. Dez. 2022

Online-Webinar der NOI Techpark, Bozen:
Energie im Unternehmen:

Ansätze zur Dekarbonisierung und gegen Preissteigerung

Die Mission des Wuppertal Instituts: „Forschung für eine nachhaltige Zukunft“

- Gemeinnützige Non-Profit-GmbH im Landeseigentum NRW
- Gründung 1991
- Nachhaltigkeits- und Transformationsforschung:
 - Systemblick Ökologie – Ökonomie – Soziales
 - auf lokaler, regionaler, nationaler und internationaler Ebene
- Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft
- Vier interdisziplinär besetzte Forschungsabteilungen mit ca. 300 Mitarbeitenden (davon ca. 170 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen)
- ca. 200 Projekte pro Jahr
- Budget 2021:
 - 4,8 Mio. Euro Landesförderung
 - ca. 16,3 Mio. Euro von Drittmittelgebern (von UN, EU, Ministerien, Wirtschaft, NGOs)
- Abteilung „Zukünftige Energie- und Industriesysteme“



Hauptsitz in Wuppertal

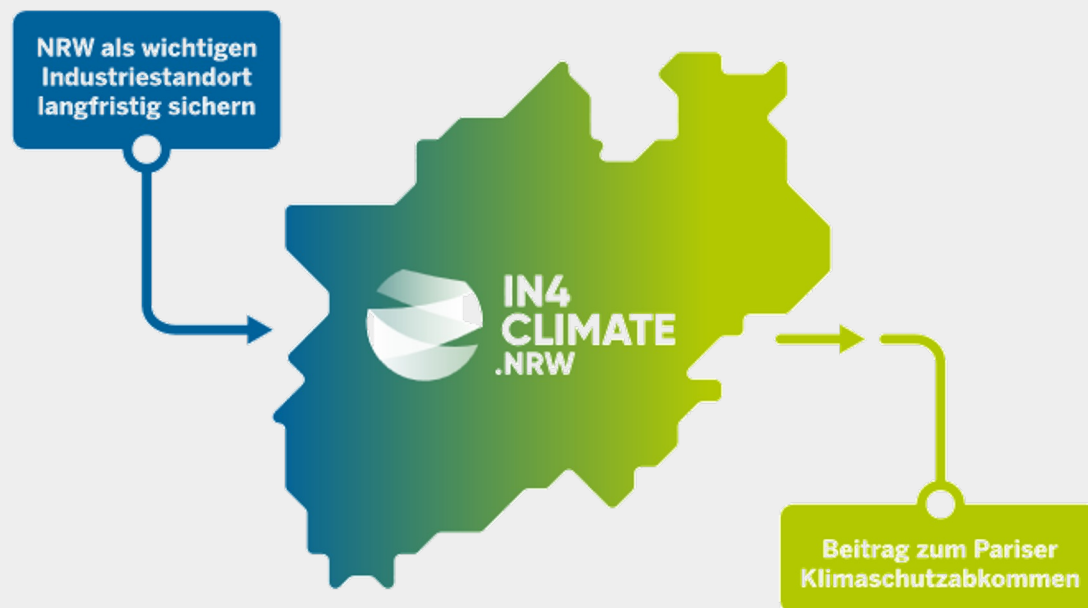


Berliner Büro

Die Initiative IN4climate.NRW und SCI4climate.NRW



Woran arbeiten wir?



Seit Januar 2022 ist *IN4climate.NRW* Teil von *NRW.Energy4Climate*

Wer arbeitet mit?



Diskussionspapiere der Arbeitsgruppe „Industrielle Prozesswärme“ von IN4climate.NRW (Hrsg.): „Industriewärme klimaneutral: Strategien und Voraussetzungen für die Transformation“



www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/in4climatenrw

INHALT

UNSERE KERNBOTSCHAFTEN	3
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	4
1. ZIEL UND KONTEXT	6
2. HEUTIGE UND ZUKÜNFTIGE ANFORDERUNGEN	7
2.1 Heutiger Wärmebedarf	9
2.2 Entwicklung des Wärmebedarfs	10
2.3 Heutige fossile Wärmebereitstellung	12
2.4 Zukünftige Wärmebereitstellung auf Basis Erneuerbarer Energien	13
3. VIER-STUFEN-MODELL DER KLIMANEUTRALEN WÄRMEVERSORGUNG	19
3.1 Energieeffizienz sowie Abwärmenutzung	20
3.2 Erschließung lokaler erneuerbarer Wärmequellen	21
3.3 Elektrische Wärmeerzeugung / PtH	22
3.4 Alternative Energieträger	23
4. HERAUSFORDERUNGEN DER WÄRMEWENDE	26
5. WIE MACHEN WIR UNS JETZT AUF DEN WEG?	30
LITERATUR	33

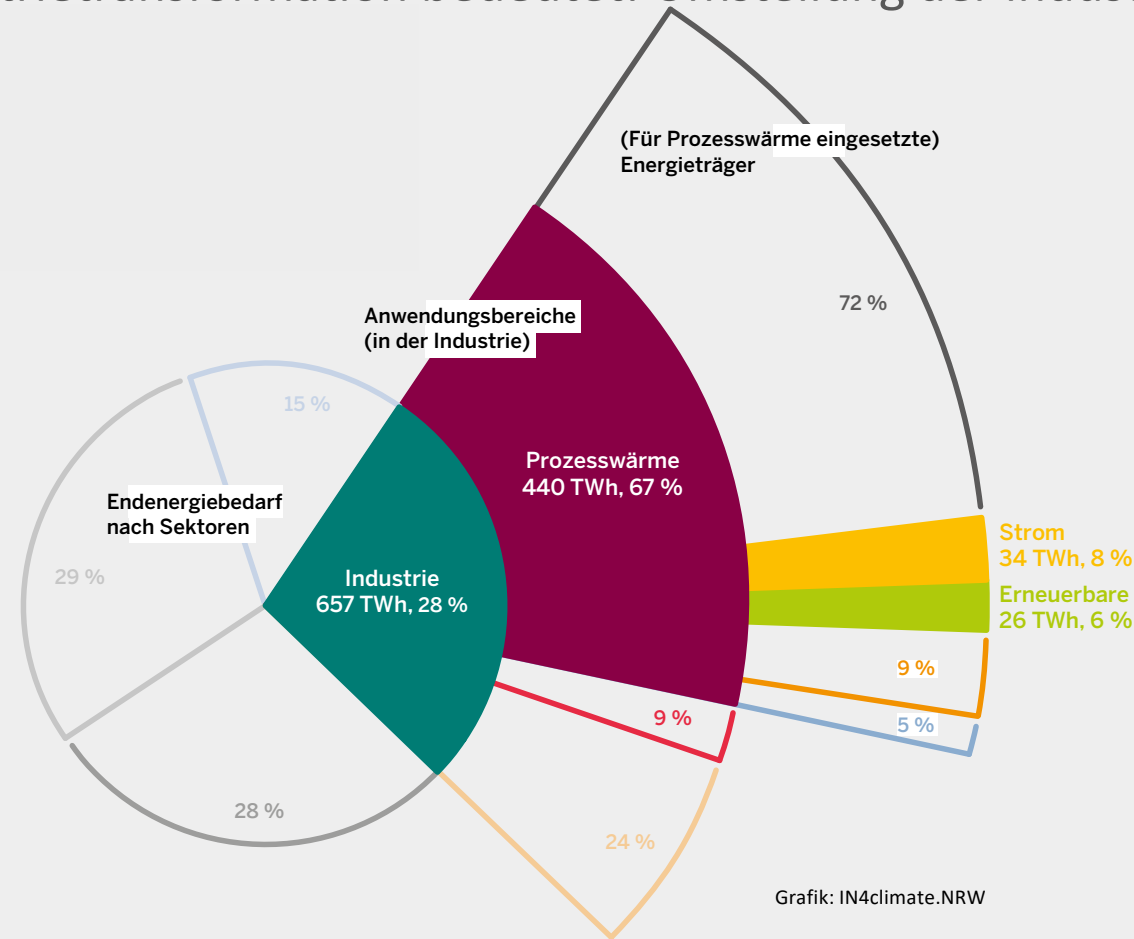


Prozesswärme für eine klimaneutrale Industrie (Mai 2022)



Industriewärme klimaneutral (Juni 2021)

Industrietransformation bedeutet: Umstellung der industriellen Prozesswärme



Grafik: IN4climate.NRW

Industrie 657 TWh

Verkehr 637 TWh
Haushalte 670 TWh
Gewerbe, Handel,
Dienstleistungen (GHD) 354 TWh

Prozesswärme 440 TWh

Sonstige Wärme^a 58 TWh
Elektrizität^b 159 TWh

fossile Energieträger^c 317 TWh

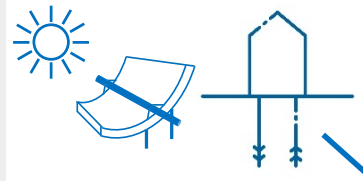
Strom^d 34 TWh
Erneuerbare^e 26 TWh
Fernwärme 42 TWh
Sonstige 21 TWh

- 19 % des gesamten deutschen Endenergiebedarfs (2020) wurden für industrielle Prozesswärme eingesetzt
- davon wird bisher nur ein Bruchteil aus regenerativen Energien oder regenerativem Strom bereitgestellt

- Hierunter fallen u. a. Raumwärme (z.B. Hallenbeheizung) und Warmwasser.
- Hierunter fallen z. B. mechanische Energie (für Pumpen oder Antriebe), Beleuchtung, Informationstechnik und Kommunikation.
- Mineralöl, Gas und Kohle
- Strom verursacht in der Anwendung keine Emissionen. Da es sich hierbei um den Strommix aus dem Netz handelt, sind allerdings der aktuelle EE-Anteil und die resultierenden CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung zu berücksichtigen.
- Unter Erneuerbare fallen z. B. Biomasse, Geothermie und Solarthermie

Ziel: klimaneutrale industrielle Prozesswärme

ERNEUERBARE WÄRMEQUELLEN
& ABWÄRME



WP

ERNEUERBARER STROM



BIOMASSE



ALTERNATIVE ENERGIETRÄGER



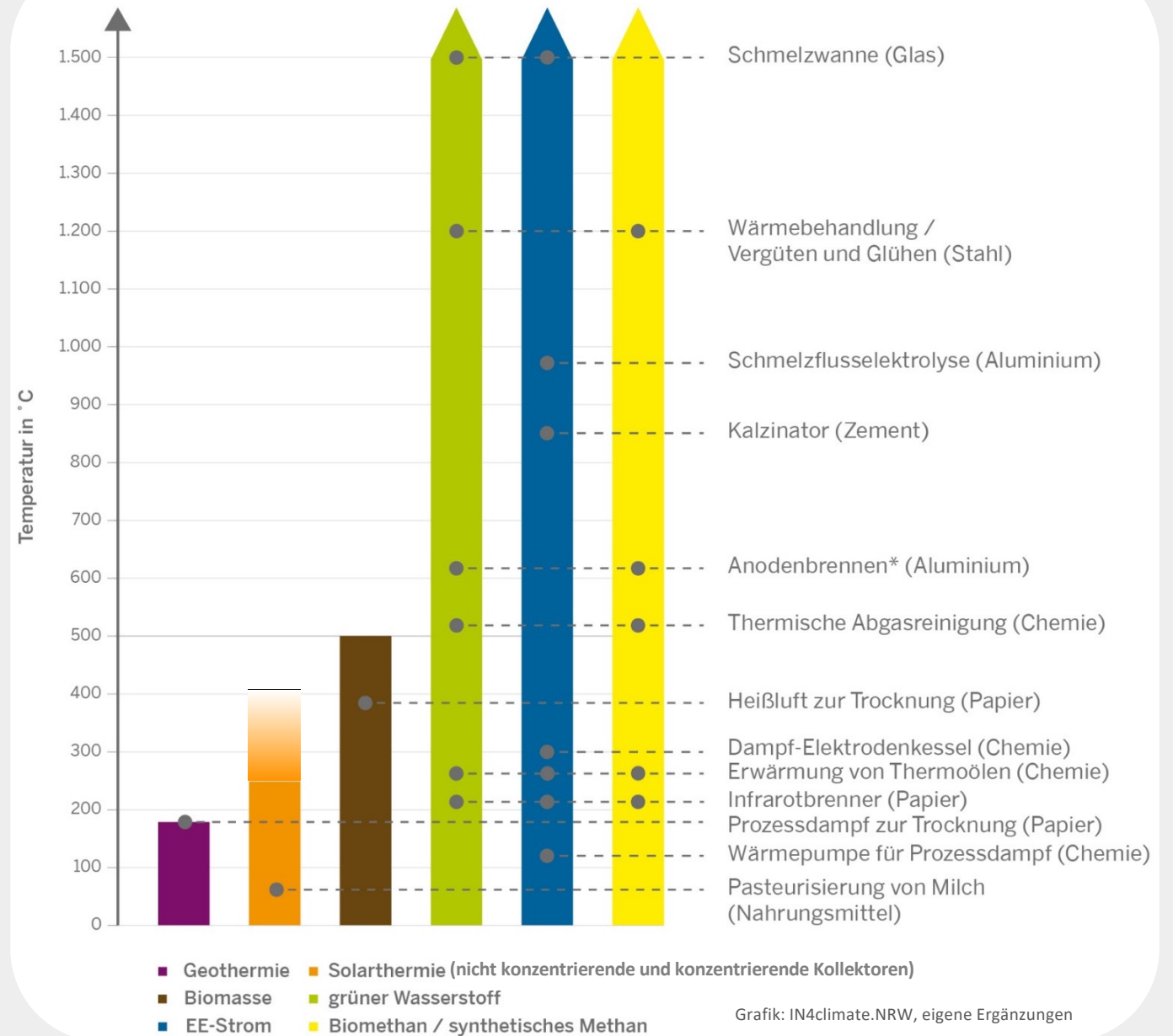
HT



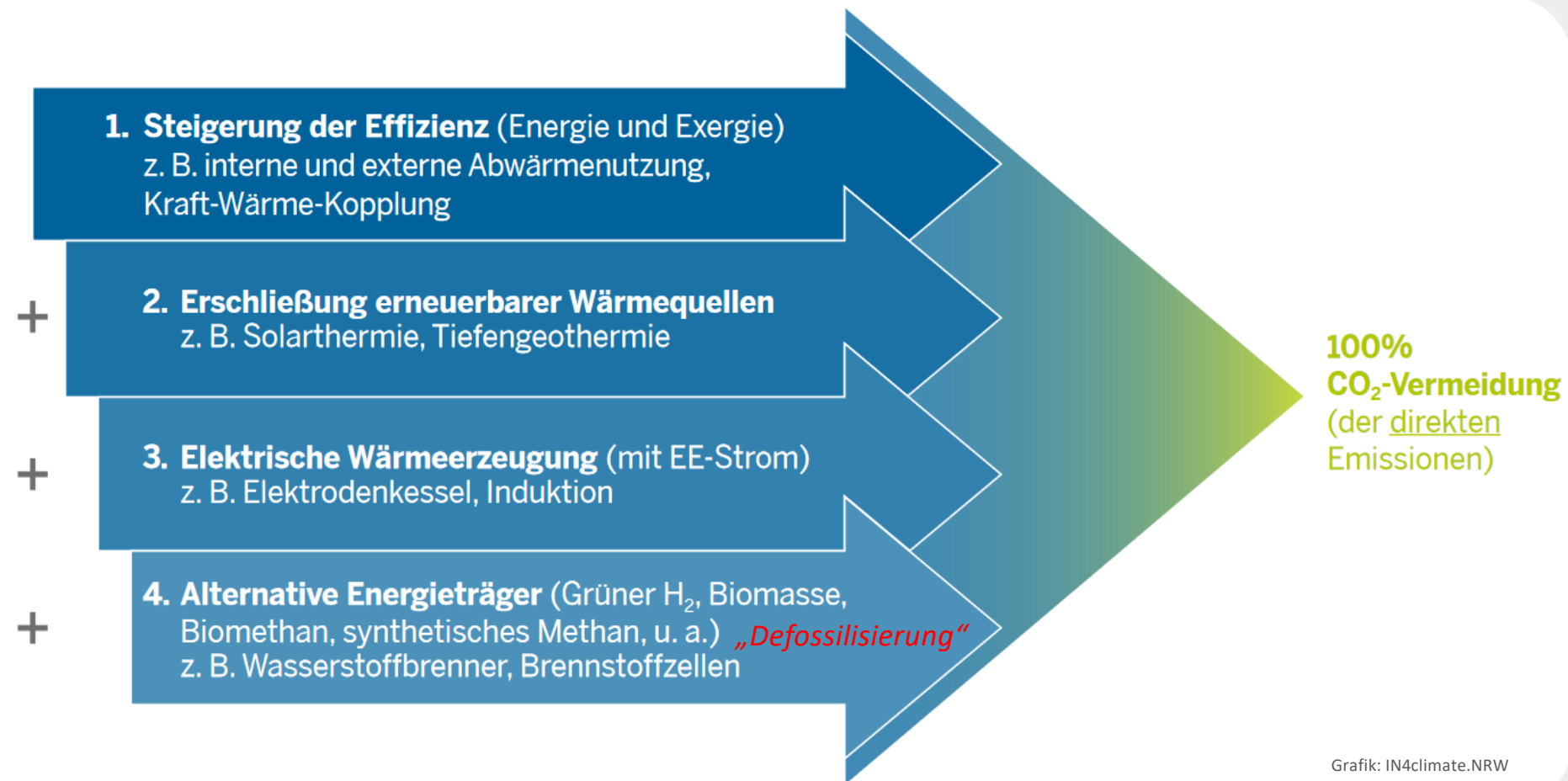
PROZESSWÄRME

Wärmewende auch
in der Industrie!

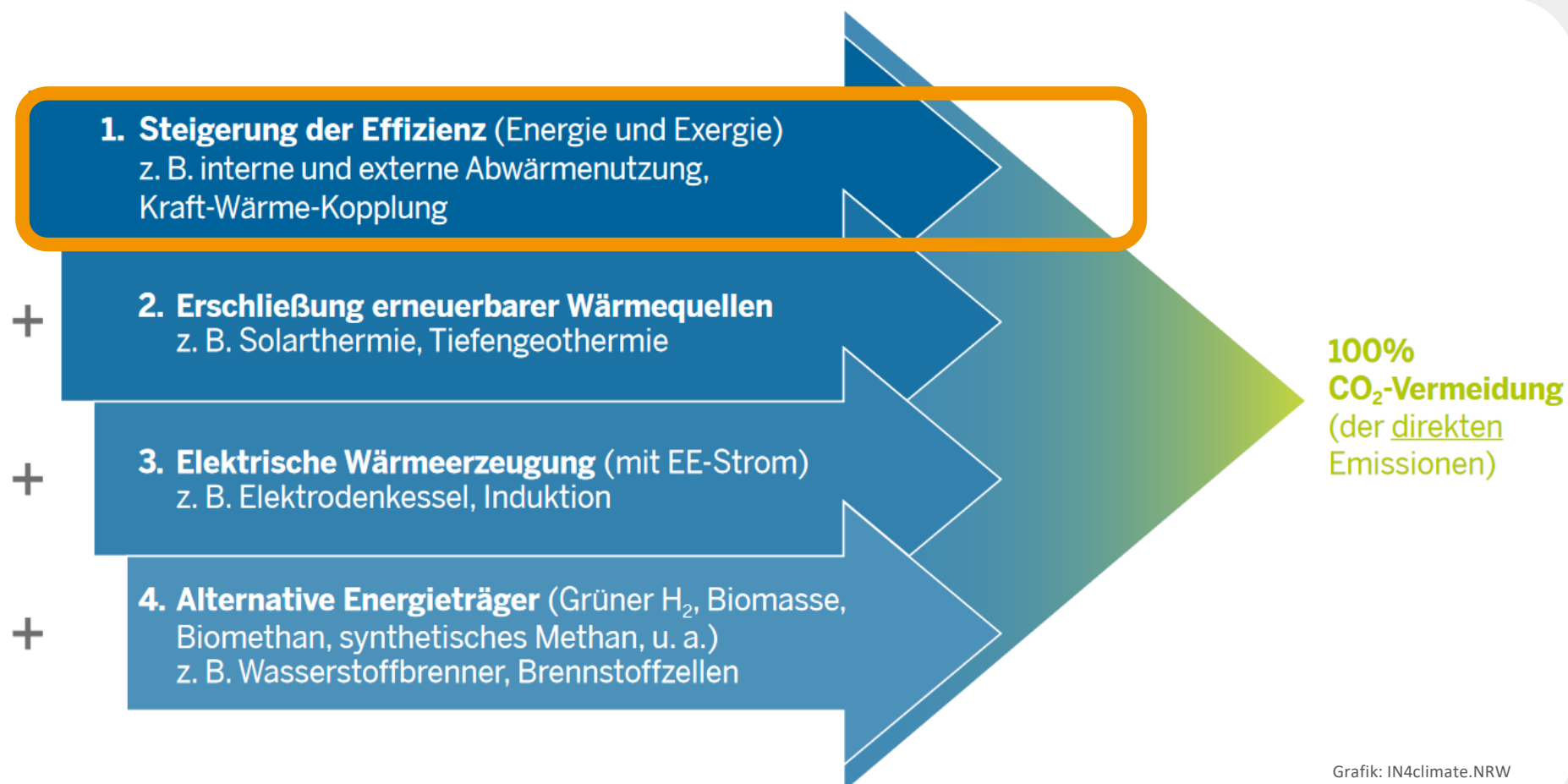
Erzielbare Temperaturen und potenzielle Einsatzbereiche erneuerbarer Wärme



Das 4-Stufen-Modell zur Dekarbonisierung industrieller Prozesswärme



Stufe 1: Effizienz & Abwärme



Stufe 1: Mögliche Auswirkungen der Industriedekarbonisierung auf die Abwärmenutzung

www.agfw.de/strategien-der-waermewende/perspektive-der-fw-7070-4040



Tendenz Abwärmepotenzial



1) Produktwechsel

- Phase-out fossiler Produkte (z.B. Heizöl, Benzin)



2) Prozesswechsel

- Phase-out abwärmeintensiver Prozesse (z.B. Ersatz Hochofenroute durch H₂-DRI)



3) Elektrifizierung

- 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)



4) PtX

- Gewisse Effizienzverbesserung im Bereich der Energienachfrage (da passendere und sauberere Brennstoffe synthetisiert werden können)
- Ansonsten tendenziell eher gleichbleibende Abwärmeströme hinsichtlich Menge und Temperatur
- Aber: bei H₂-Produktion (Elektrolyse) sowie Bereitstellung synthetischer Kohlenwasserstoffe möglicherweise hohe zusätzliche Abwärmemengen (Methanol-Synthese, Fischer-Tropsch-Prozess)

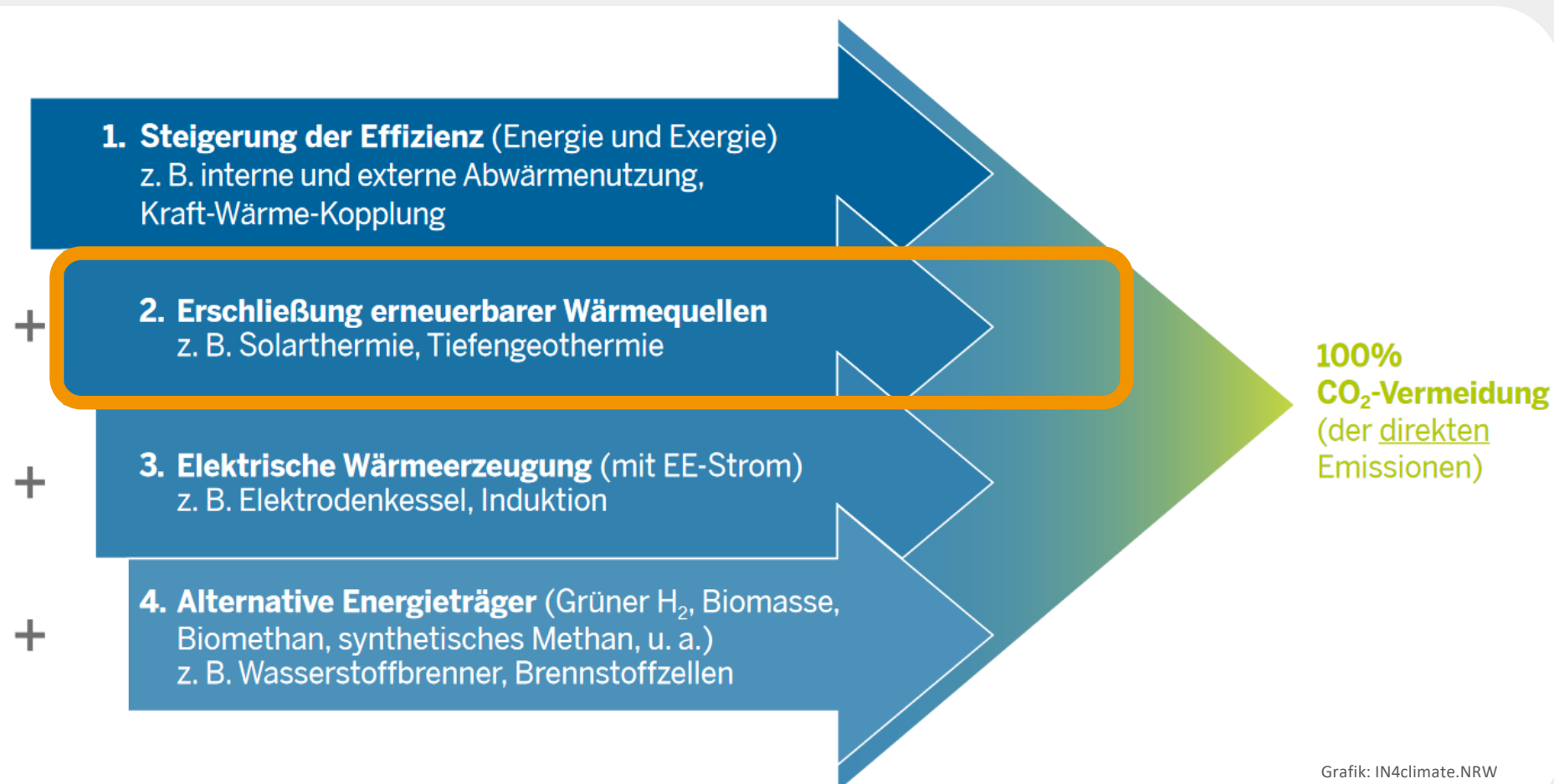


5) iCCS/CCU-Route

- Effizienzverluste (je nach Prozess höherer Dampf- oder Strombedarf) bzw. Nutzung (bisher ungenutzter) interner Abwärmeströme anstelle von Abwärmeabgabe an Dritte (z.B. Post-Comb.-CCS)
- Ansonsten etwa gleichbleibende Abwärmeströme hinsichtlich Menge und Temperatur



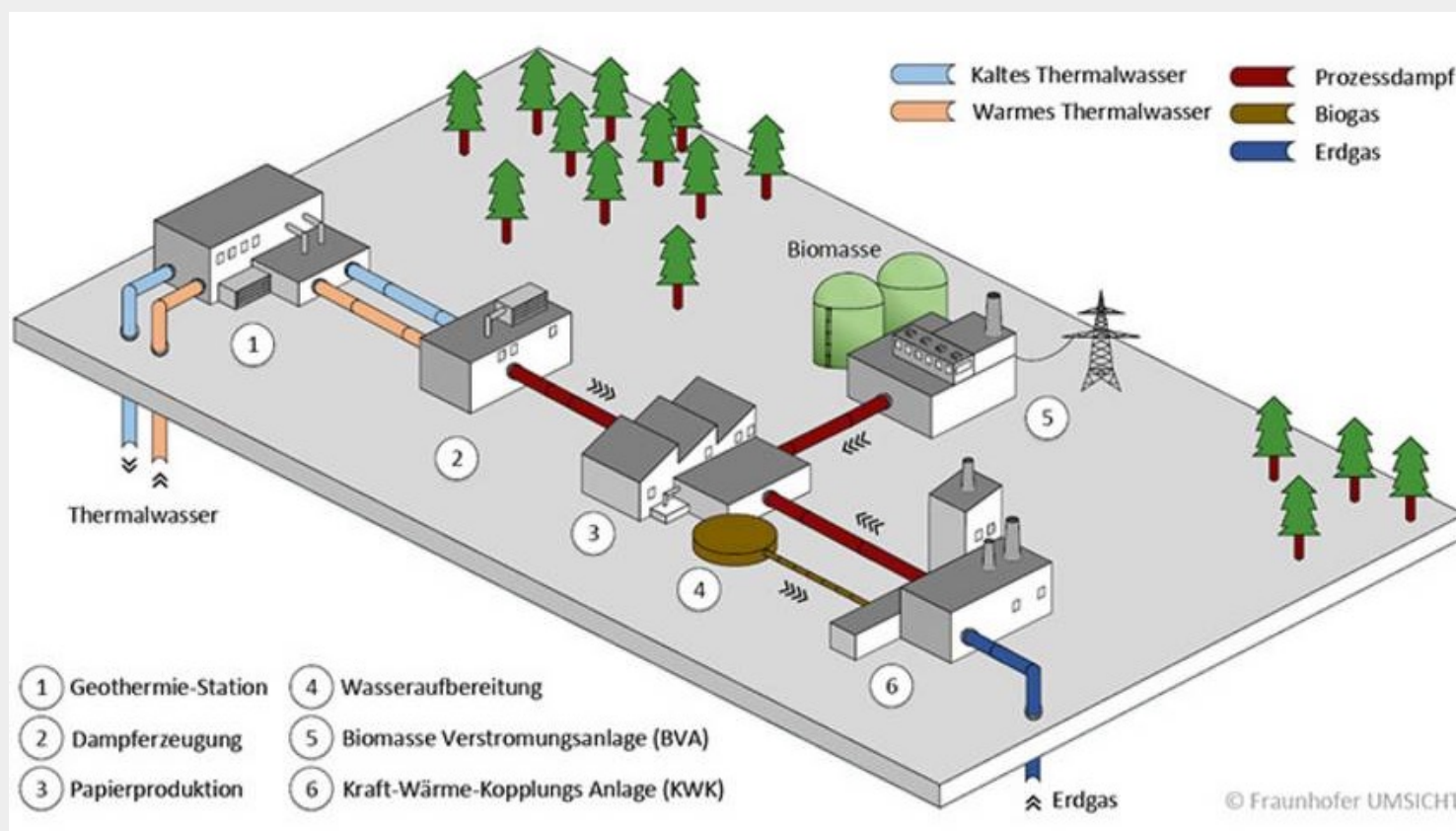
Stufe 2: Erneuerbare Wärmequellen



Stufe 2: Beispiel Geothermie

⊕ Im Betrieb unabhängig von Energiepreisen und -importen

- Tiefengeothermie (hier: in NRW) kann bis ca. 180°C kontinuierlich (!) Prozesswärme bereitstellen



Hydrothermale Geothermie (23,5 MW_{th}) zur
Papiertrocknung

Quelle: Kabel Premium Pulp & Paper
Grafik: Fraunhofer UMSICHT

Stufe 2: Beispiel konzentrierende Solarthermie

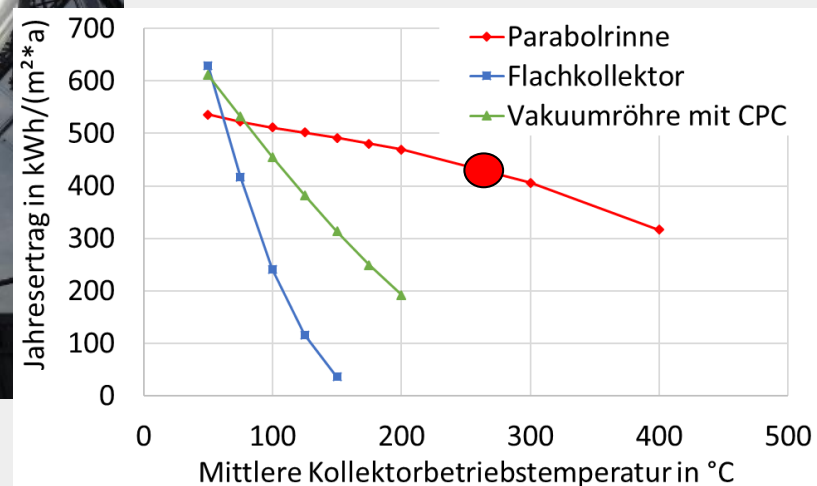
⊕ Im Betrieb unabhängig von Energiepreisen und -importen

- Solarthermie (in Kombination mit Wärmespeicher) kann auch in unseren Breitengraden die Prozesswärmebereitstellung bis max. 120°C bzw. 400°C unterstützen (z.B. Nahrungsmittelindustrie)



Parabolrinnenfeld in Antwerpen ●

Quelle: DLR



Erträge Solarthermie Potsdam

Quelle: D. Krüger et al. (DLR, Fraunhofer ISE)

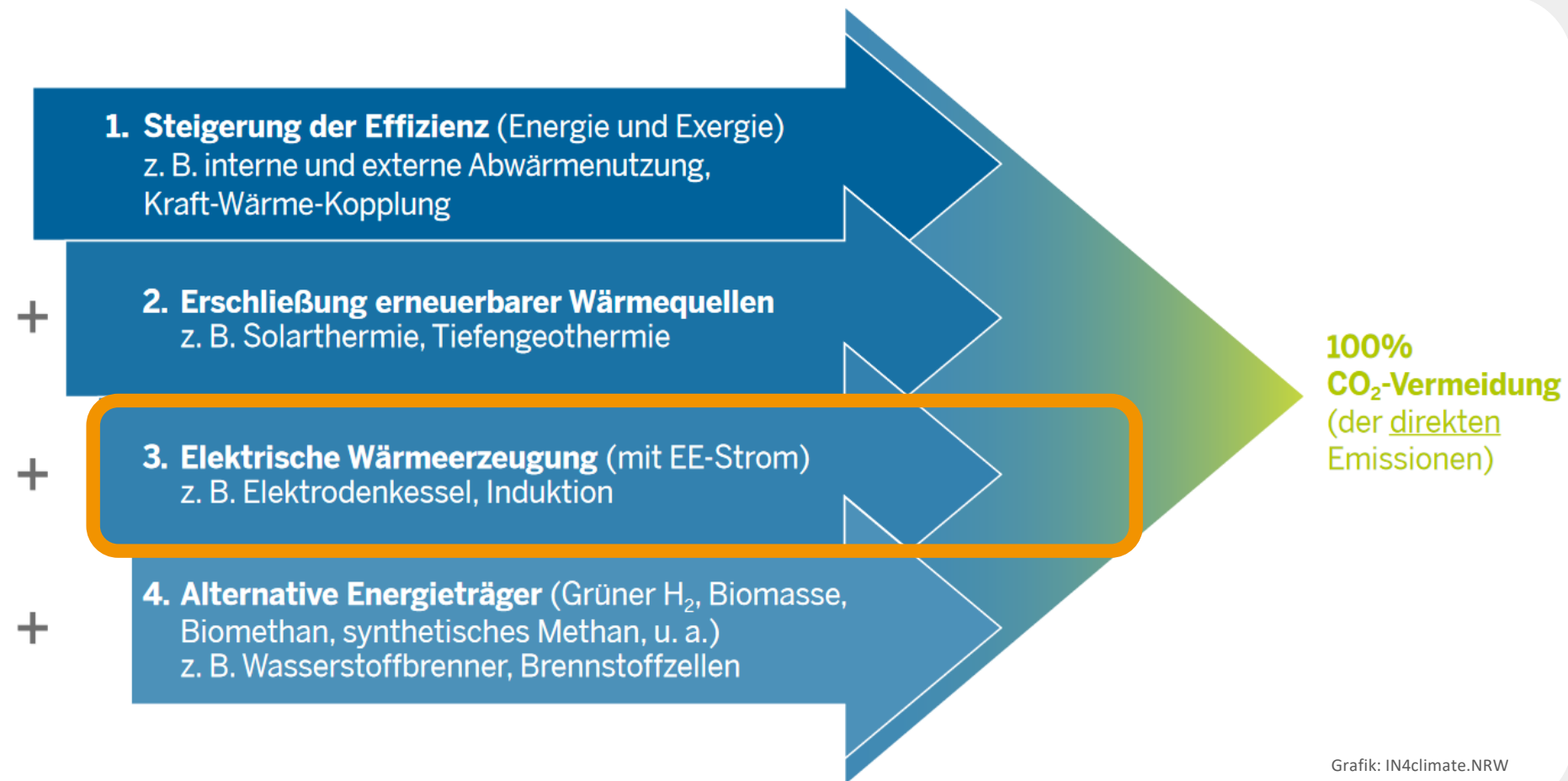
Kurzfristig verfügbare Fuel-Saver-Technologie

- Realisierung in 10 Monaten machbar
- Kommerzielle Anbieter vorhanden
- 15 kommerzielle Projekte für 2022/2023 in Projektpipeline (Belgien, Chile, China, Dänemark, Mexiko, Spanien, USA, Zypern)

Beispiel einer weiteren kommerziellen Prozesswärmeanlage in Turnhout (Belgien)

- Temperaturhub 260 °C → 300 °C
- Inbetriebnahme Dez. 2022
- 430 Tonnen CO₂ Einsparung pro Jahr
- 5.540 m² / 2,5 MW_{th} Parabolrinne mit Silikonöl
- Betonspeicher mit 4,5 MWh

Stufe 3: Power-to-Heat



Hochtemperatur-Wärmepumpen

Typische Anwendungen und Temperaturniveaus

Potenzielle Wärmequellen:

- Kühlwasser 20 ... 50°C
- Abwasser 20 ... 60°C
- Druckluftabwärme 30 ... 70°C
- Abluft aus Öfen 20 ... 100°C

Potenzielle Wärmesenken:

- Verdampfen 40 ... 170°C
- Trocknen 40 ... 250°C
- Pasteurisieren/Sterilisieren 70 ... 120°C
- Destillieren 100 ... 300°C

Potenziell für Anwendung geeignete Branchen:

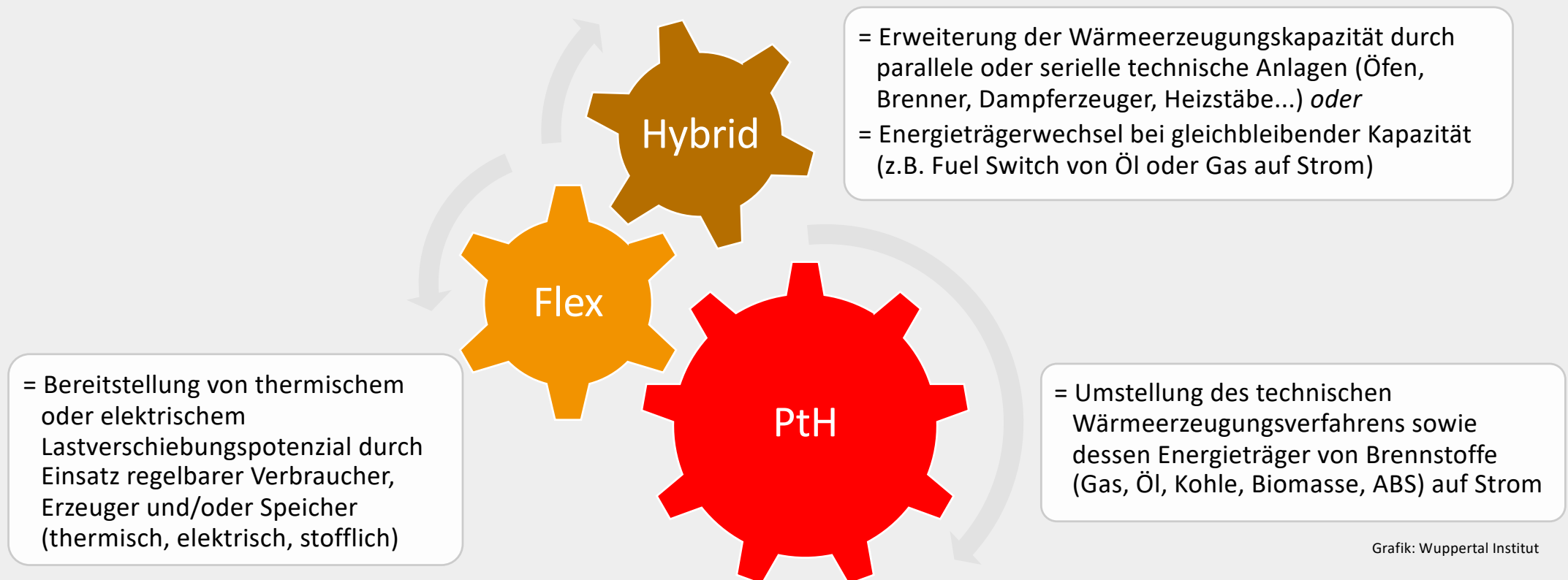
- Nahrungsmittel
- Chemie/Pharma
- Papier
- Maschinenbau & Textil
- Metallerzeugnisse, Metalle, Mineralien

Umsetzungsbeispiele:

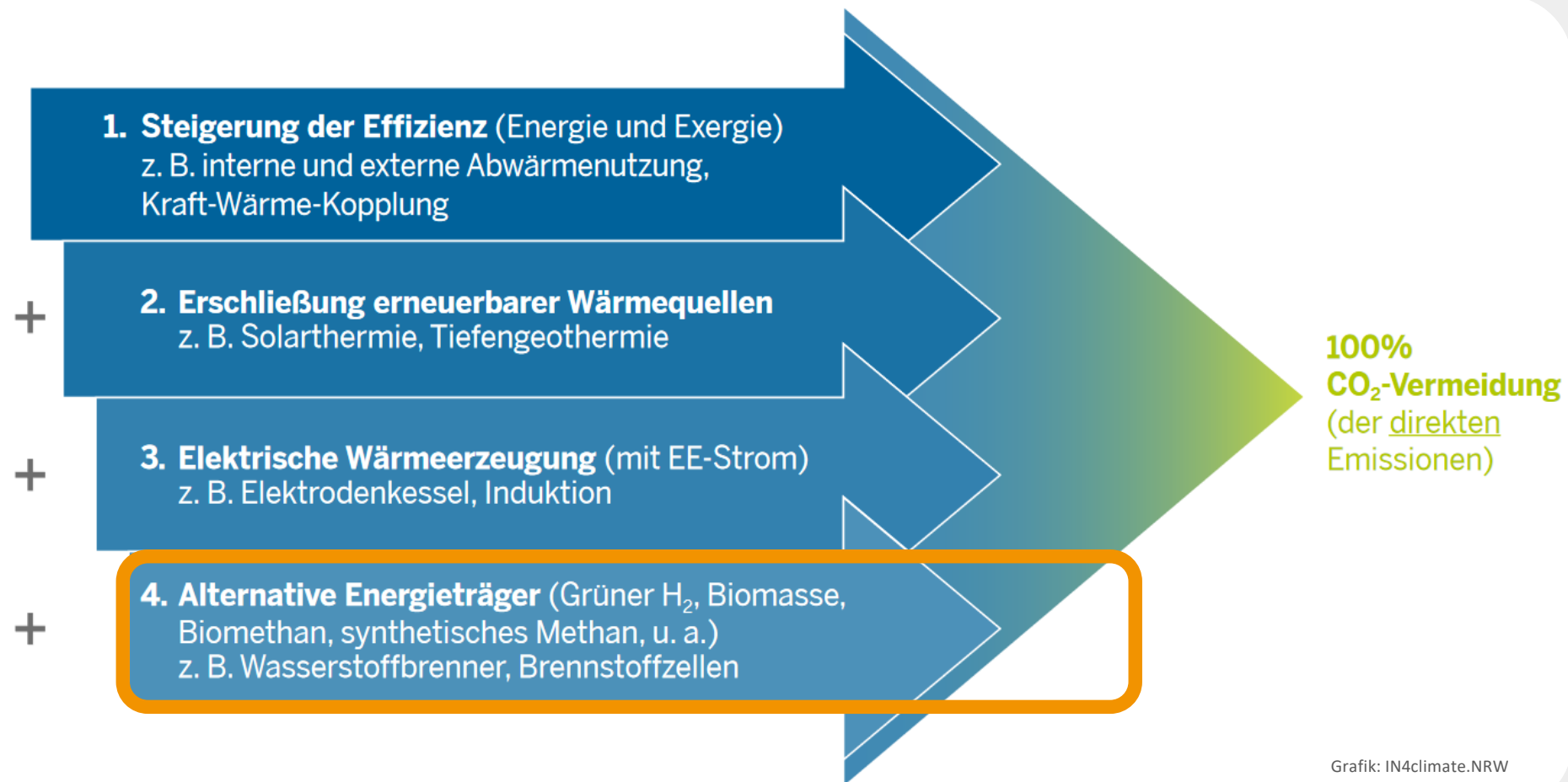
- **Heißlufterzeugung** und Luft-Vorwärmung für Trocknungsprozesse (Holz, Papier, Klärschlamm, Stärke, Ziegel, Tiernahrung) durch Abwärmenutzung
- **Prozessdampferzeugung** (Niederdruckdampf) für Sterilisation und Pasteurisierung von Lebensmitteln (z.B. Milch) durch Nutzung von Kühlwasser oder feuchter Abluft
- **Heißwassererzeugung** für Wasch- und Reinigungsprozesse (Lebensmittel, Fleisch, Produktwäschen) **in Kombination mit Kälteerzeugung**
- **Wärmerückgewinnung** durch Rauchgaskondensation in Biomasseverbrennungen (Müllheizkraftwerken, KWK-Anlagen...)
- Fertigung von **Spritzgussbauteile** aus Kunststoffen **(Erwärmung im Extruder und Abkühlung in der Spritzgussform)**
- **Nah- und Fernwärmenetze** (z.B. von Stadtwerken und Kommunen)

Quelle: NTB / Arpagaus Juni 2019

Wechselwirkungen zwischen Elektrifizierung, Flexibilisierung und Hybridisierung



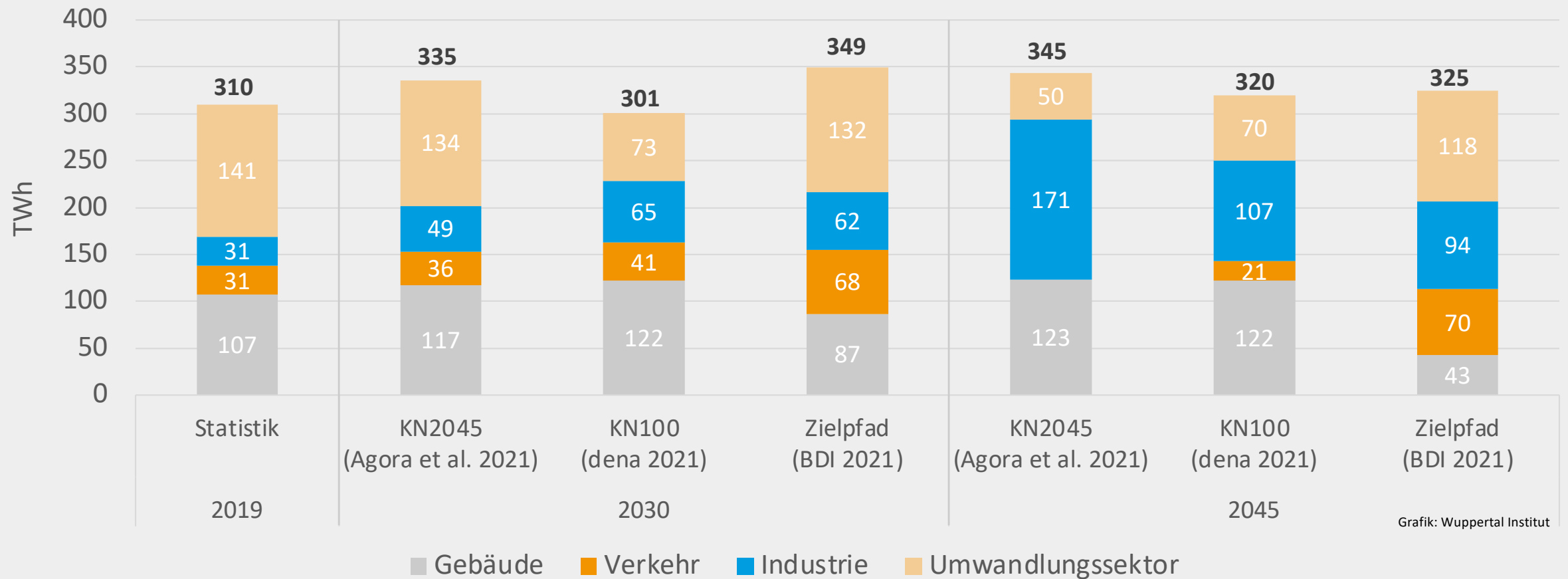
Stufe 4: Biomasse & Power-to-Gas



Stufe 4: Biomasseeinsatz in der Industrie

In nationalen Klimaschutzenszenarien 2045 zwischen 30 und 50 %

Energetischer Biomasseeinsatz nach Sektoren



Hinweis: In KN100 wird der Biomasseeinsatz im Basisjahr im Umwandlungssektor niedriger angegeben als in der Statistik und in anderen Szenarien. Evtl. wird hier also nicht die gesamte Biomassenutzung erfasst, was zu einer Unterschätzung auch für 2030 und 2045 führen könnte.

Stufe 4: PtG (H₂ und SNG) aus Effizienzgründen auf Hochtemperaturanwendungen beschränken



Projekt TransTES-Chem - PtH-to-CHP mit Wärmespeicher als neue Lösung:

Vorteile für Chemiestandort:

- Reduktion der Betriebskosten
- Reduktion der CO₂-Emission

Vorteile für Stromnetz:

- Wirkt wie Batterie
- Vergrößert die Energiemenge der Sektorenkopplung (vergl. PtH)

Grafik: IN4climate.NRW mit eigenen Ergänzungen (PtH-TES: DLR)

Fazit



- Klimaneutralität erfordert auch **Transformation industrieller Prozesswärme**, diese ist **komplex** (diverse Temperaturen, Medien, Prozesse...) und muss gesamtsystemisch (sektor-, stakeholder- und branchenübergreifend) angegangen werden.
- Effizienzsteigerungen sind prioritär, **Vier-Stufen-Modell** gute Hilfestellung für weitere Priorisierung des Energieeinsatzes
- Erneuerbare Wärmeversorgung
 - erfordert **individuelle, temperaturangepasste Lösungen** und frühzeitige Evaluierung möglicher **lokaler Wärmequellen**
 - **Tiefengeothermie** und **Solarthermie** können für einige Branchen und NT-Anwendungen wichtige Beiträge leisten
- Durch **Sektorenkopplung** (KWK, PtH, PtG) und **Hybridisierung** wichtige Beiträge zur Systemintegration von EE-Strom und zur Stabilisierung der Stromnetze
- **Technologienentwicklung:**
 - Vollständige oder teilweise **Elektrifizierung** (inkl. HT-Wärmepumpen)
 - Einsatz von grünem **Wasserstoff**, biogenen und anderen alternativen Brennstoffen
 - **Solarthermie** (auch konzentrierend)
 - **(Hochtemperatur-)Wärmespeicher** als Schlüsselement, um erneuerbare Energiepotenziale besser auszuschöpfen, Systemkosten zu minimieren und Systemdienstleistungen zu erbringen.



Dietmar Schüwer | dietmar.schuewer@wupperinst.org

unter Mitwirkung von

Tania Begemann, Dr. Stefan Herrig | IN4climate.NRW

Dr. Thomas Bauer, Dr. Tobias Hirsch | DLR

Dr. Peter Nitz | Fraunhofer ISE

Vielen Dank!

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
42103 Wuppertal