

Ansätze für klimaneutrale Prozesswärme – Das 4-Stufen-Modell von IN4climate.NRW

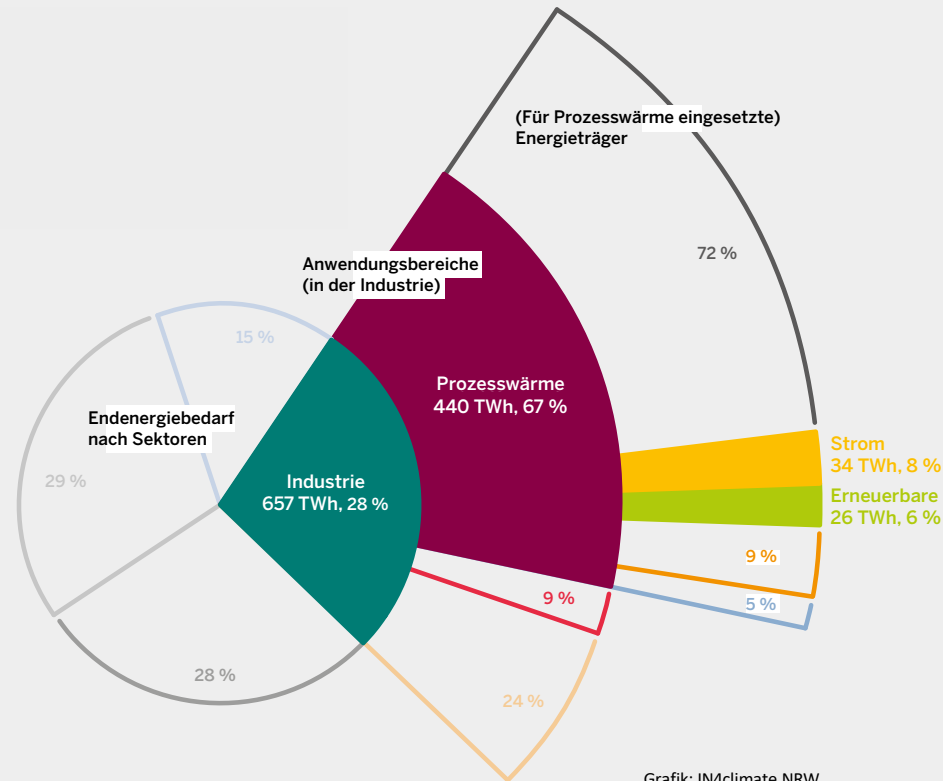
Dietmar Schüwer, Wuppertal Institut



1. Juni 2023

Industriepakt Transformationsbündis 4

Industrietransformation bedeutet: Umstellung der industriellen Prozesswärme



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

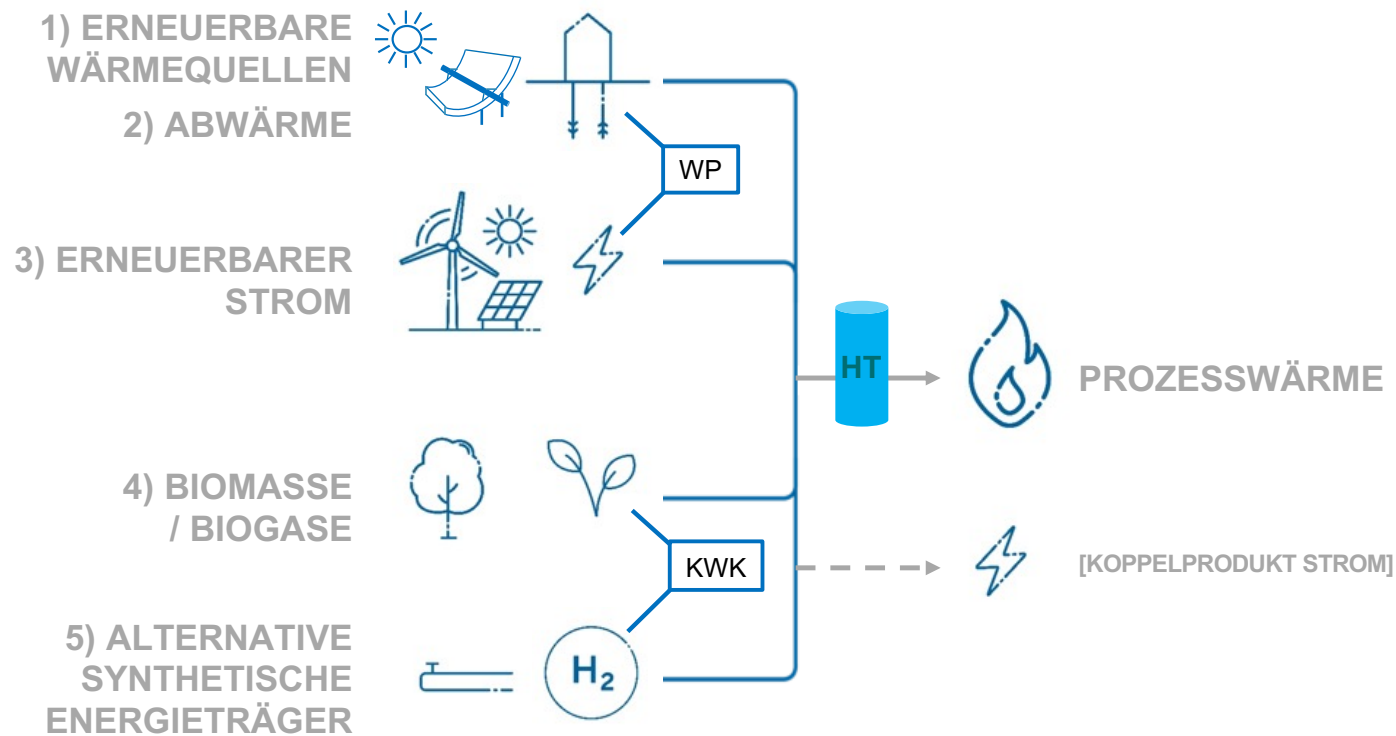
Grafik: IN4climate.NRW

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
- Prozesswärmebedarf in **NRW ca. 180 TWh**

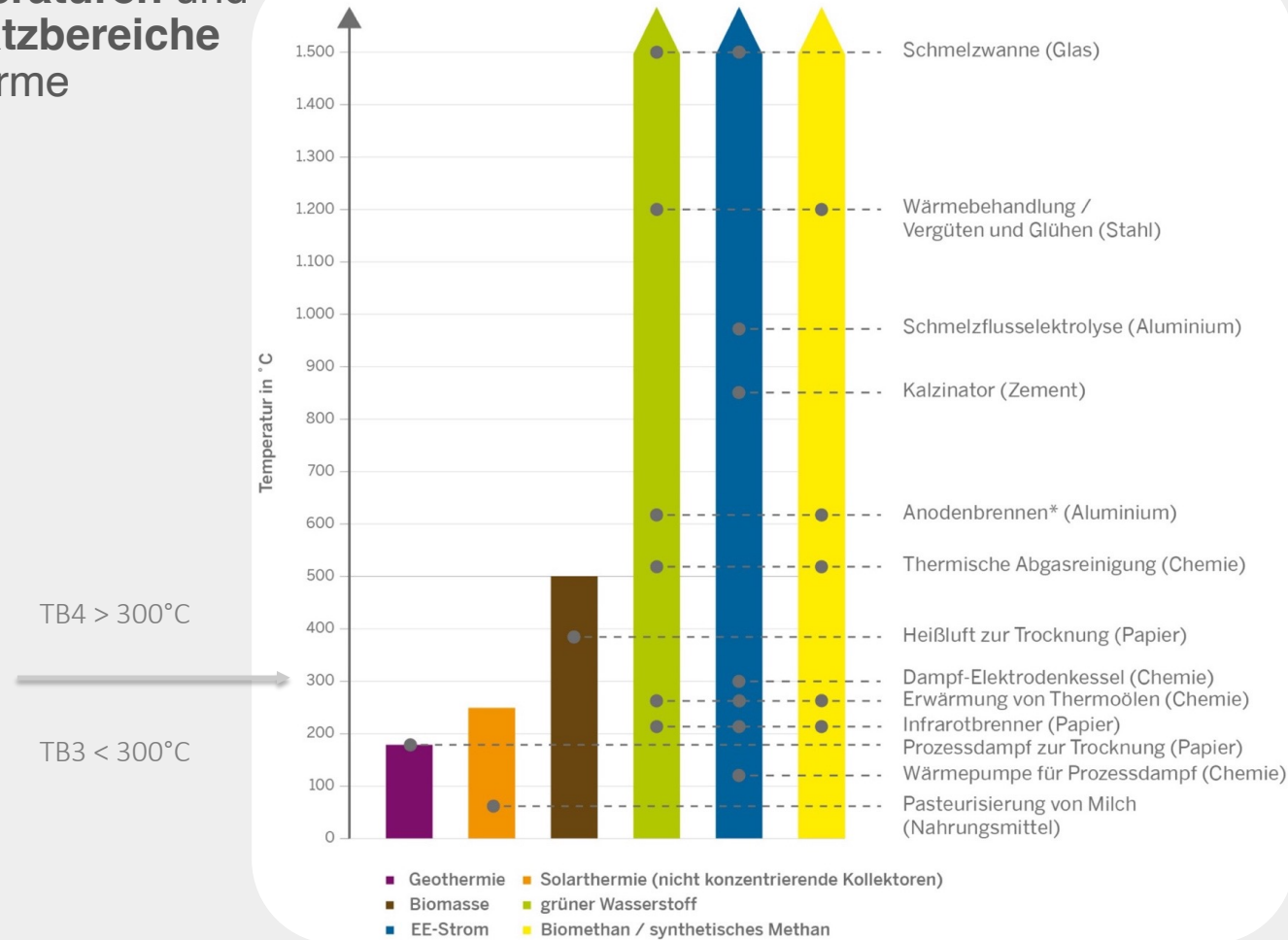
- Hierunter fallen u. a. Raumwärme (z.B. Hallenbeheizung) und Warmwasser.
- Hierunter fallen z. B. mechanische Energie (für Pumpen oder Antriebe), Beleuchtung, Informationstechnik und Kommunikation.
- Mineralöl, Gas und Kohle
- Strom verursacht in der Anwendung keine Emissionen. Da es sich hierbei um 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

Hebel für klimaneutrale industrielle Prozesswärme: Erneuerbare Wärmequellen, Energieträger und Technologien



Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

Erzielbare Temperaturen und potenzielle Einsatzbereiche erneuerbarer Wärme



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



Industriewärme klimaneutral
(Juni 2021)

Prozesswärme für eine
klimaneutrale Industrie
(Mai 2022)



Das 4-Stufen-Modell zur Dekarbonisierung industrieller Prozesswärme

Erarbeitet von AG „Industrielle Prozesswärme“ von IN4climate.NRW



1. Steigerung der Effizienz (Energie und Exergie)

z. B. Prozessoptimierungen, interne und externe Abwärmenutzung

+ 2. Erschließung erneuerbarer Wärmequellen

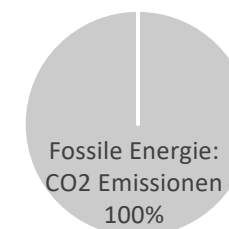
d. h. Solarthermie, Tiefengeothermie

+ 3. Elektrische Wärmeerzeugung (mit EE-Strom)

z. B. Elektrodenkessel, Induktion

+ 4. Alternative Energieträger (Grüner H₂, Biomasse, Biomethan, synthetisches Methan, u. a.)

z. B. neuartige Brennertechnologien, Brennstoffzellen



100 % CO₂-Vermeidung

(der direkten Emissionen)

Grafik: IN4climate.NRW

1. Stufe: Effizienz & Abwärme

1. Steigerung der Effizienz (Energie und Exergie)

z. B. Prozessoptimierungen, interne und externe Abwärmenutzung

+ 2. Erschließung erneuerbarer Wärmequellen

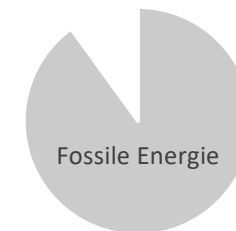
d. h. Solarthermie, Tiefengeothermie

+ 3. Elektrische Wärmeerzeugung (mit EE-Strom)

z. B. Elektrodenkessel, Induktion

+ 4. Alternative Energieträger (Grüner H₂, Biomasse, Biomethan, synthetisches Methan, u. a.)

z. B. neuartige Brennertechnologien, Brennstoffzellen



X %
CO₂-Vermeidung
(der direkten Emissionen)

1. Stufe: Effizienz & Abwärme

Verringerung des eigenen Wärmebedarfs durch:



- **Prozessoptimierung bzw. -umstellung** (z.B. Absenkung der Temperaturen, Low-Ex-Konzepte)
- Vermeidung bzw. **Verminderung von Wärmeverlusten** (z.B. Wärmedämmung)
- **Rückführung der Abwärme** in den Prozess (ggf. mittels HT-WP)
- **Betriebsinterne Verwendung der Abwärme** im Gebäudebereich (z.B. Erwärmung der Hallenluft)



Oder anderweitige Nutzung von Abwärme:

- **Umwandlung der Wärme** in andere Energieformen (Absorptionskälte, Verstromung)
- **Einspeisen der Abwärme in ein Fernwärmenetz**

2. Stufe: Erneuerbare Wärmequellen

1. Steigerung der Effizienz (Energie und Exergie)

z. B. Prozessoptimierungen, interne und externe Abwärmenutzung

+ 2. Erschließung erneuerbarer Wärmequellen

d. h. Solarthermie, Tiefengeothermie

+ 3. Elektrische Wärmeerzeugung (mit EE-Strom)

z. B. Elektrodenkessel, Induktion

+ 4. Alternative Energieträger (Grüner H₂, Biomasse, Biomethan, synthetisches Methan, u. a.)

z. B. neuartige Brennertechnologien, Brennstoffzellen



y %
CO₂-Vermeidung
(der direkten Emissionen)

2. Stufe: Erneuerbare Wärmequellen

Solarthermie & Tiefengeothermie

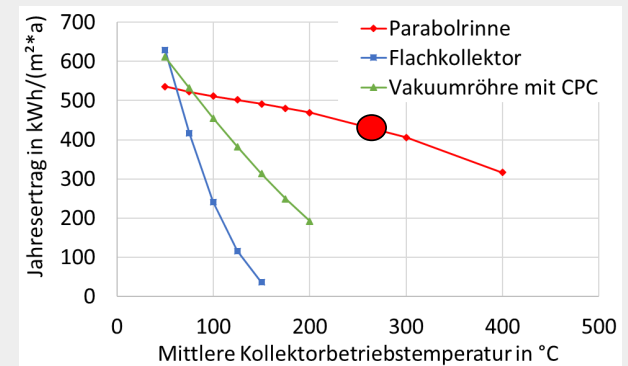
+ Im Betrieb unabhängig von Energiepreisen und -importen

Solarthermie (in Kombination mit Wärmespeicher)

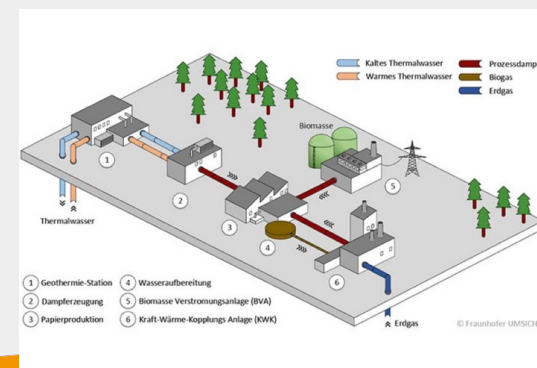
- kann auch in unseren Breitengraden die Prozesswärmebereitstellung bis max. 120°C (nicht-konzentrierend) bzw. 400°C (konzentrierend) unterstützen
- z.B. Nahrungsmittelindustrie bzw. allgemein NT-Prozesse (Bäder etc.) auch in typischen HT-Branchen
- Kurzfristig verfügbare (hybride) Fuel-Saver-Technologie

Tiefengeothermie:

- kann hier (in NRW) bis ca. 180°C kontinuierlich (!) Prozesswärme bereitstellen
- Geothermie Standortcheck NRW: www.geothermie.nrw.de



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



Hydrothermale Geothermie (23,5 MW_{th}) zur Papiertrocknung
Quelle: Kabel Premium Pulp & Paper / Grafik: Fraunhofer UMSICHT

3. Stufe: Elektrifizierung (Power-to-Heat)

1. Steigerung der Effizienz (Energie und Exergie)

z. B. Prozessoptimierungen, interne und externe Abwärmenutzung

+ 2. Erschließung erneuerbarer Wärmequellen

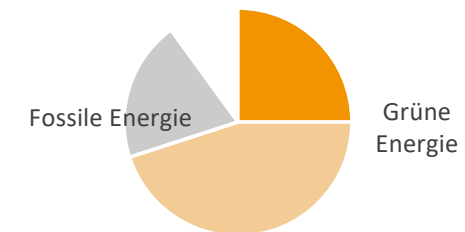
d. h. Solarthermie, Tiefengeothermie

+ 3. Elektrische Wärmeerzeugung (mit EE-Strom)

z. B. Elektrodenkessel, Induktion

+ 4. Alternative Energieträger (Grüner H₂, Biomasse, Biomethan, synthetisches Methan, u. a.)

z. B. neuartige Brennertechnologien, Brennstoffzellen

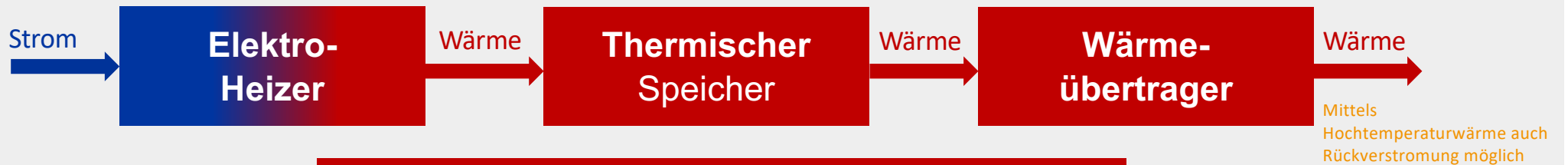


Z %
CO₂-Vermeidung
(der direkten Emissionen)

3. Stufe: Elektrifizierung (Power-to-Heat)

Bsp. Hochtemperatur-Elektroheizer & Power-to-Heat(-to-Power)

Wärmebereitstellung und Speicherung bis 1000 °C



Wärmespeichermedien sind aus der CSP-Anwendung bekannt:
Flüssigsalz bis 560 °C
Festkörper und Partikel bis 1000 °C

Laufende Forschung & Entwicklung:

Temperatursteigerung
Flüssigsalzspeicher, Alternativkonzepte

Hochtemperatur-Elektroheizer
angepasst an Medien, Temperatur
und Leistungsgröße

Wärmeübertrager angepasst
an Medien und Bedingungen
z.B. Direktkontakt

Projektbeispiel Chemiebranche:

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

Grafik: DLR

4. Stufe: Alternative Energieträger

1. Steigerung der Effizienz (Energie und Exergie)

z. B. Prozessoptimierungen, interne und externe Abwärmenutzung

+ 2. Erschließung erneuerbarer Wärmequellen

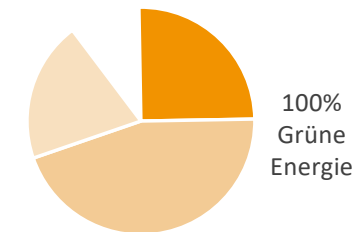
d. h. Solarthermie, Tiefengeothermie

+ 3. Elektrische Wärmeerzeugung (mit EE-Strom)

z. B. Elektrodenkessel, Induktion

+ 4. Alternative Energieträger (Grüner H₂, Biomasse, Biomethan, synthetisches Methan, u. a.)

z. B. neuartige Brennertechnologien, Brennstoffzellen



**100 %
CO₂-Vermeidung**

(der direkten Emissionen)

4. Stufe: Alternative Energieträger

PtG (H₂, Biogas und SNG) aus Effizienzgründen möglichst auf Hochtemperaturanwendungen beschränken



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

Projektbeispiele Wasserstoff

- **Glasindustrie:**
HyGlass, COSiMa
- **Gießereien:**
InnoGuss
- **Stahlherstellung**
tkH₂Stahl

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), **Hybridisierung** und **Flexibilisierung** 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**, um erneuerbare Energiepotenziale besser auszuschöpfen, Systemkosten zu minimieren und Systemdienstleistungen zu erbringen.



Dietmar Schüwer | dietmar.schuewer@wupperinst.org

Bildnachweis: © iStock, © NRW.Energy4Climate

Vielen Dank!

NRW.Energy4Climate GmbH
Kaistraße 5, 40221 Düsseldorf