

A panoramic view of a city, likely Munich, featuring a large cathedral with two prominent green domes and a tall spire. In the background, a range of mountains is visible under a clear blue sky. The foreground shows a white, curved graphic element that frames the text.

Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität – im Netzwerk gemeinsam Lösungen finden

Anna Gruber

Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft

Forschung schafft Wissen Wissen schafft Praxis



75

Expert:innen

Junge talentierte Wissenschaftler:innen fördern.



74

Jahre Erfahrung

Transformation für Gesellschaft, Politik und Wirtschaft.



> 1400

Projekte & Referenzen

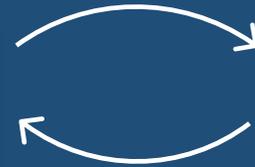
Unabhängige wissenschaftliche Analysen.

Unsere Arbeit

Das Beste aus Forschung und Beratung

Transfer wissenschaftliche Methoden
und Ergebnisse in die Praxis

Forschung



Beratung



Partner & Kunden



In Zusammenarbeit

- Verbundprojekte
- Umsetzung & Demonstration, Reallabore
- Begleitforschung



Wir bieten

- Studien & Gutachten
- Vor-Ort-Beratung
- Umsetzungsbegleitung
- Schulung und Leitfäden

Kompetent und vielseitig in der Energiewirtschaft

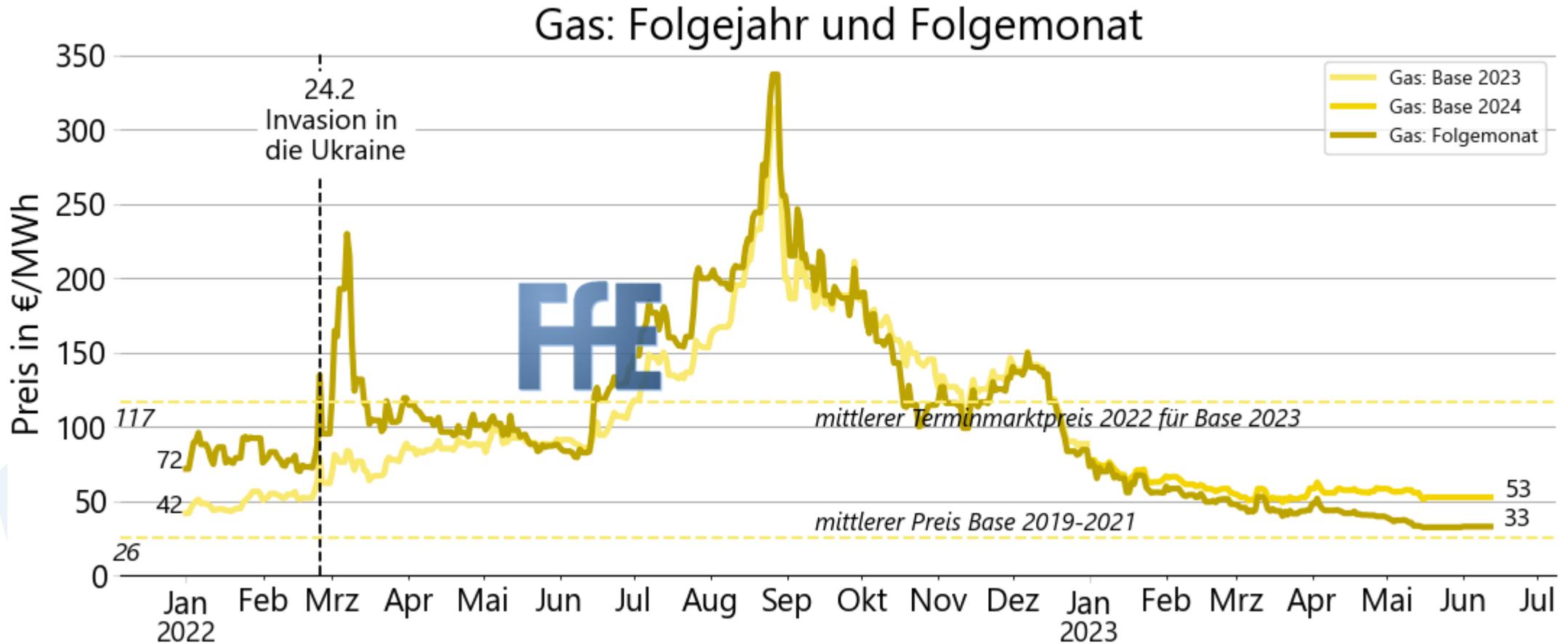




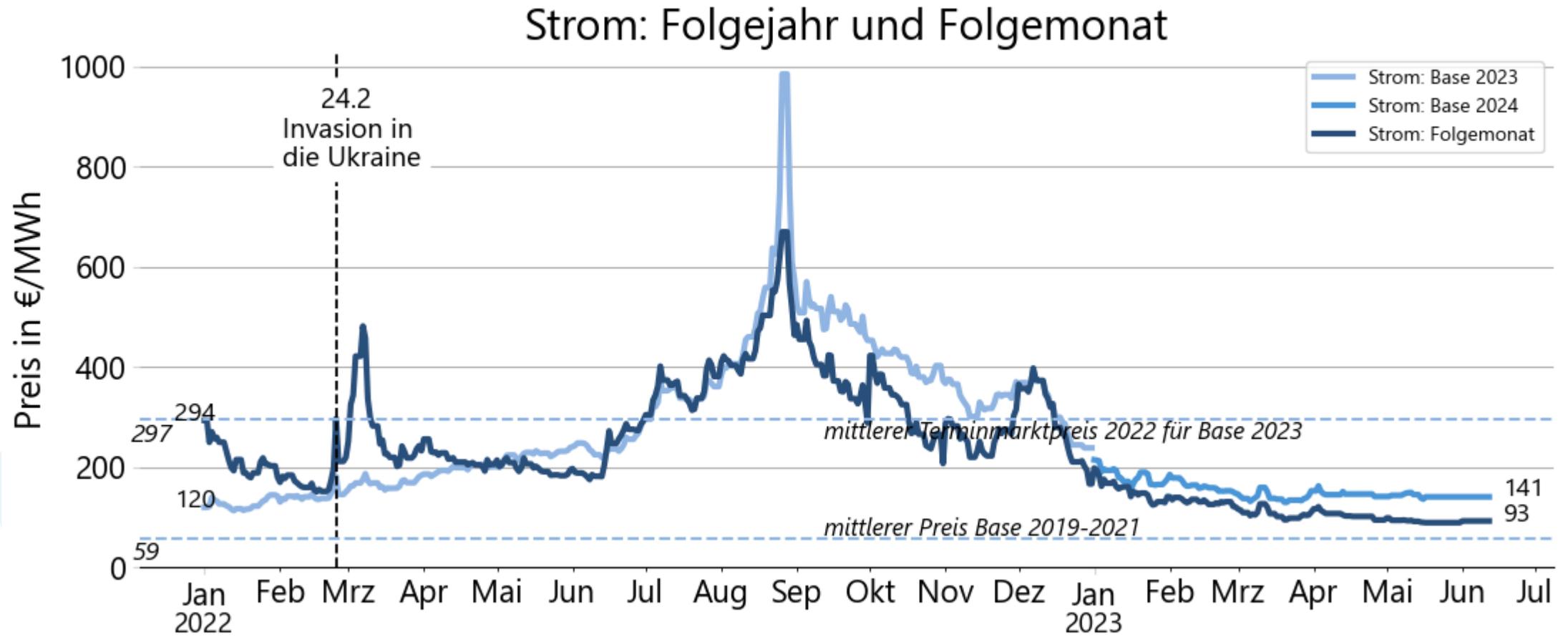
Preise & aktuelle Herausforderungen

Was beschäftigt die Industrie im Moment?

Entwicklung der Großhandelspreise Gas (THE)

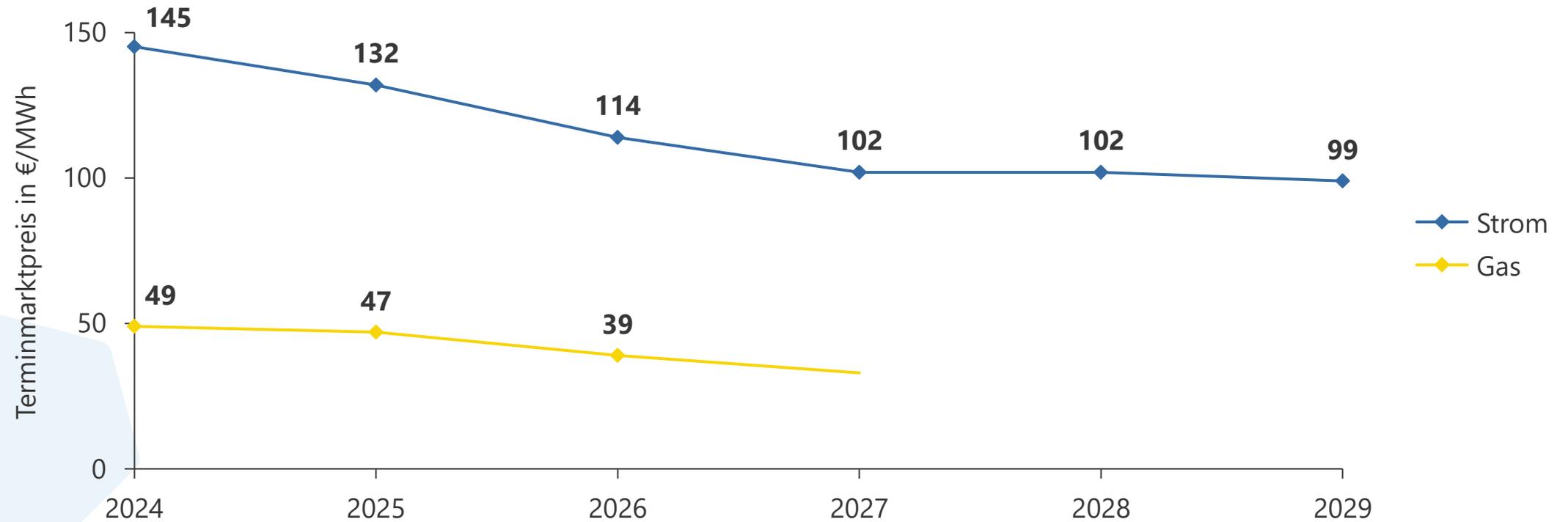


Entwicklung der Großhandelspreise Strom



Terminmarktpreis für Strom und Gas

EEX, Stand: 12. Juni 2023



Fachkräftemangel

VDI-/IW-Ingenieurmonitor

Fachkräftemangel bedroht Energiewende

KOSTEN, MATERIALMANGEL, KEIN PERSONAL

In Deutschland fehlen schätzungsweise 250.000 Fachkräfte im Handwerk. Dadurch steht auch die Energiewende auf dem Spiel



Glücklich kann sich schätzen, wer einen Lehrling abbekommt. Im deutschen Handwerk fehlen die Fachkräfte. Allein 2021 blieben 18.800 Ausbildungsstellen unbesetzt

Energiewende: Was tun gegen den Fachkräftemangel?



Prof. Dr. Kutzner ist geschäftsführendes Vorstandsmitglied der IG Metall und gelernter KFZ-Mechaniker (Foto:IG-Metall)



The Big Picture

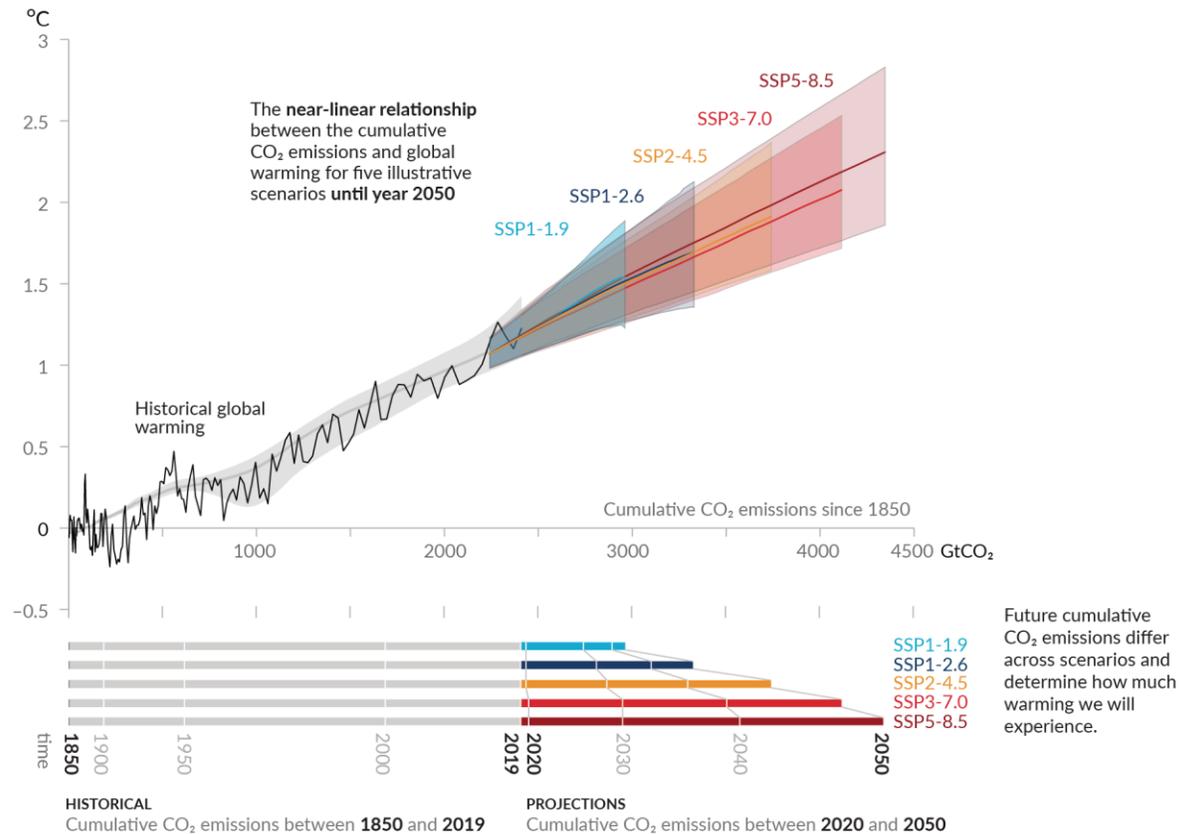
Warum dekarbonisieren wir die Industrie eigentlich?

Klimawandel

IPCC zu CO₂- und Temperatur-Entwicklung

Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850–1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Reaktion Europa: „Fit for 55“ (14. Juli 2021)

Maßnahmen-Paket der Europäischen Kommission zur Herbeiführung eines gerechten, wettbewerbsorientierten und ökologischen Wandels.



- **CO₂-Emissionen:** -55% bis 2030 (ggü. 1990) und THG-neutrales Europa in 2050

- **Verschärfung des EU-Emissionshandels:** u.a. stärkere Kürzungen und Einbeziehung der Seeschifffahrt



- **Neues Emissionshandelssystem:** gilt ab 2027 für Gebäude, Straßenverkehr und fossile Brennstoffe (bestimmter Industriesektoren)
- **Klima-Sozialfonds:** insgesamt 86 Mrd. € für Klimaschutz und sozialen Ausgleich
- **CBAM:** CO₂-Grenzausgleich für wettbewerbsfähige Unternehmen



- **Beschleunigter EE-Ausbau:** Bis 2030 sollen 45 % des Bruttoenergieverbrauches aus EE stammen



- **Steigerung der Energieeffizienz und Erhöhung des EU-Einsparziels:** Primär- und EEV -9% ggü der Verbrauchsentwicklung
- Nur noch **CO₂-freie Neuwagen** ab 2035 (Flottengrenzwert = 0)



Dekarbonisierung der Industrie

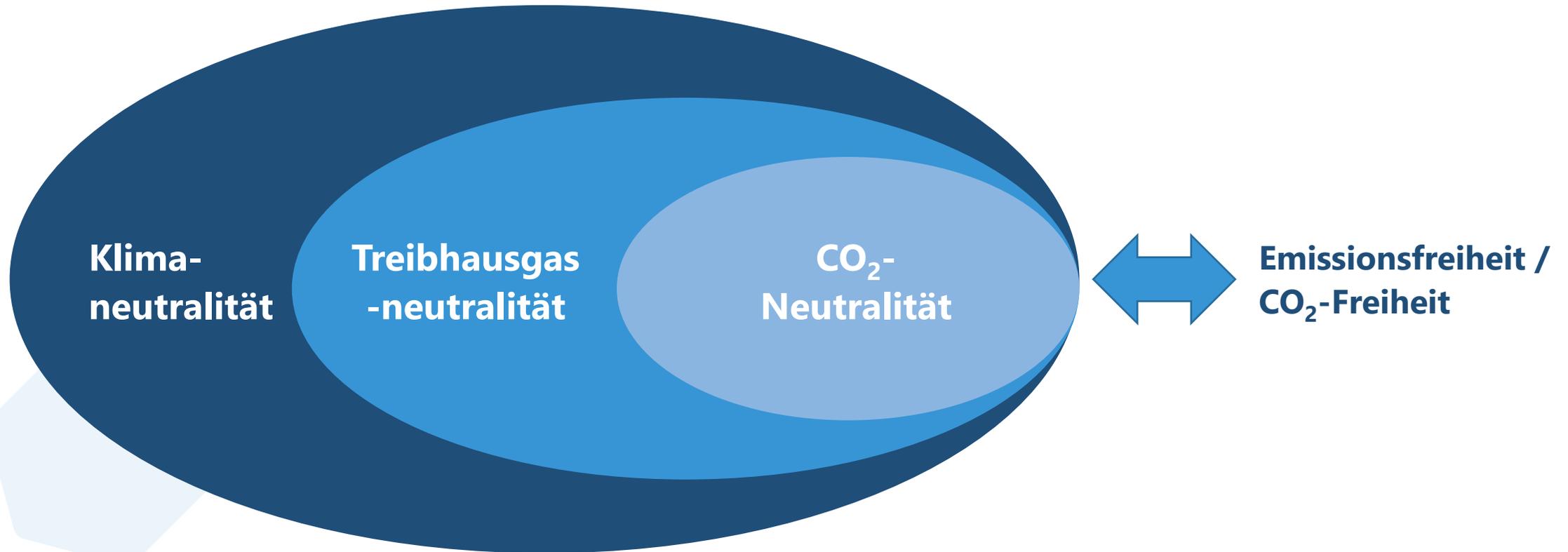
Was heißt das eigentlich?

Was bedeutet eigentlich ...

... Klimaneutralität?

... CO₂-Neutralität?

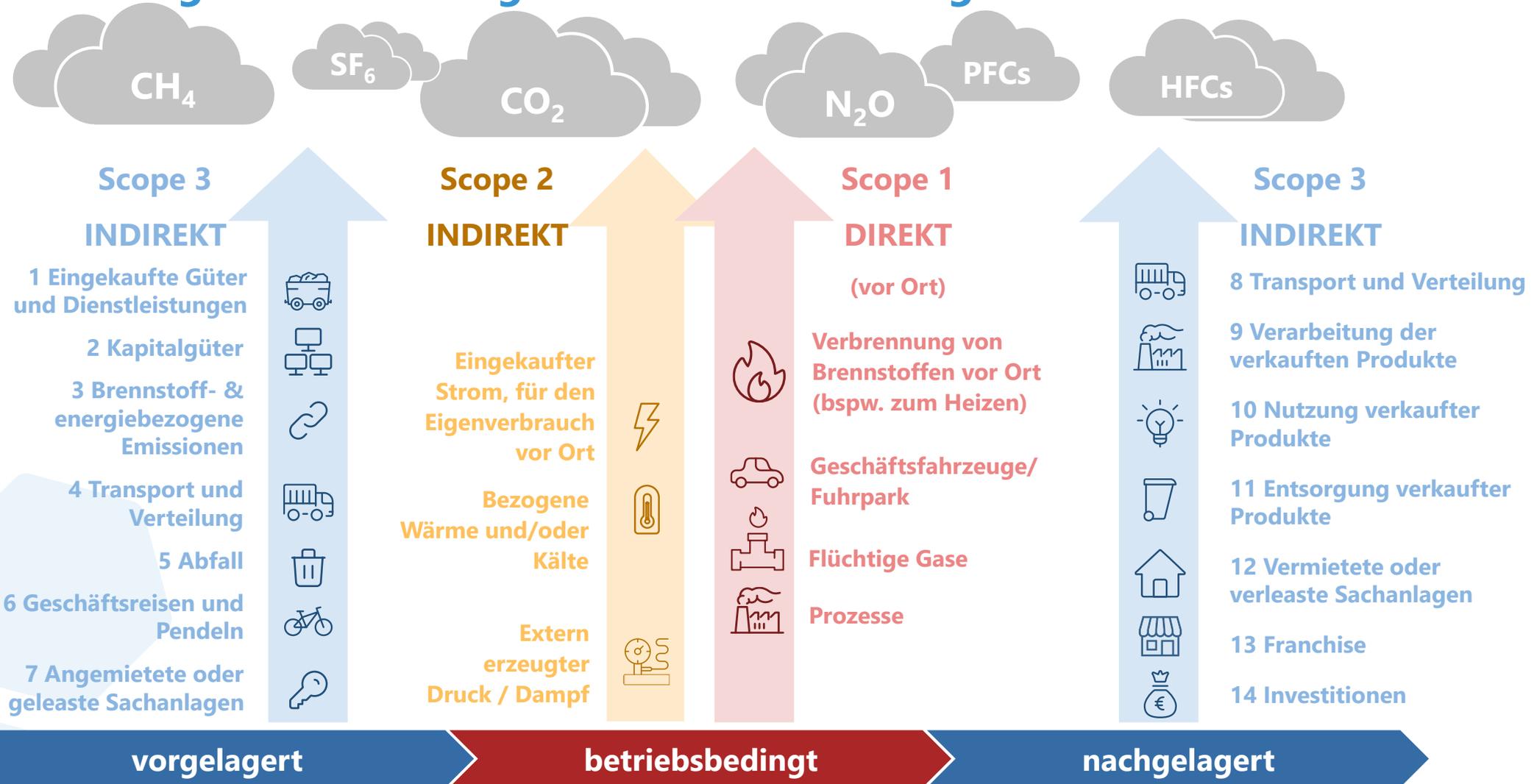
... Treibhausgasneutralität?



Quellen: /UBA-26 20/, /IPC-01 18/

Überblick über die Scopes nach GHG Protocol

Bilanzierung von Treibhausgas-Emissionen auf Organisationsebene

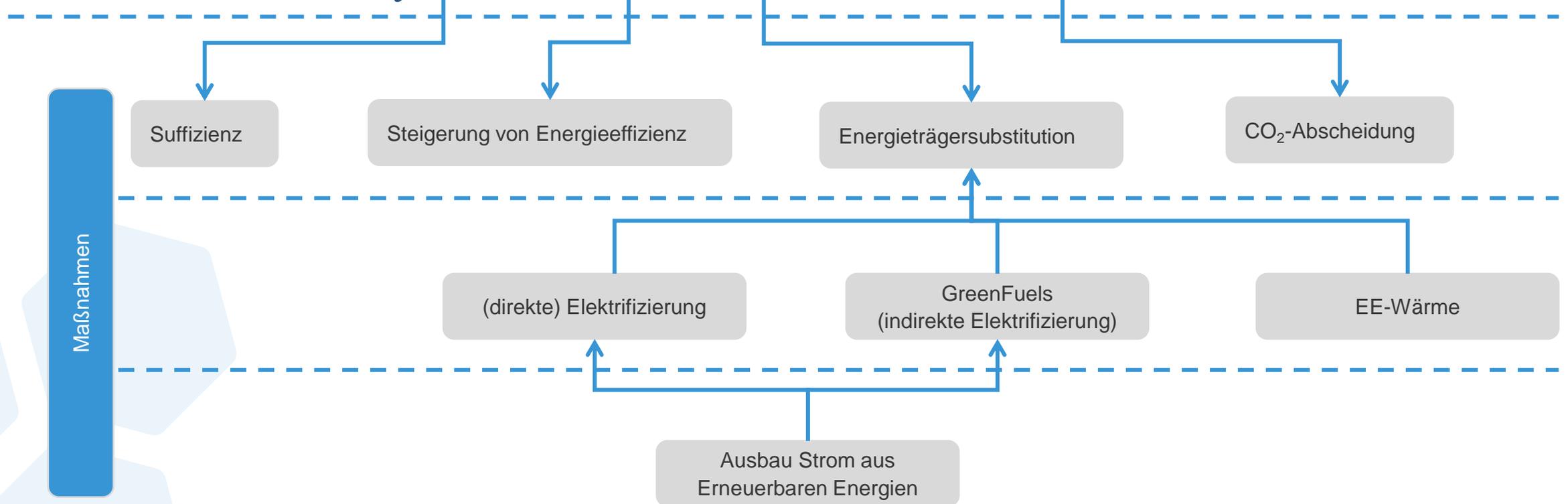


CO₂-Minderung ist auf verschiedenen Wegen erreichbar

PR_u: Produktionsmenge bzw. Aktivität der Dienstleistung u
eevb_{u,i}: spez. Endenergieverbrauch des Produktes u von Energieträger i

EF_i: Emissionsfaktor des Energieträgers i
EM_{energiebedingt,u}: energiebedingte Emissionen des Produktes u

$$\sum_i PR_u \times (eevb_u \times EF)_i = EM_{energiebedingt,u}$$



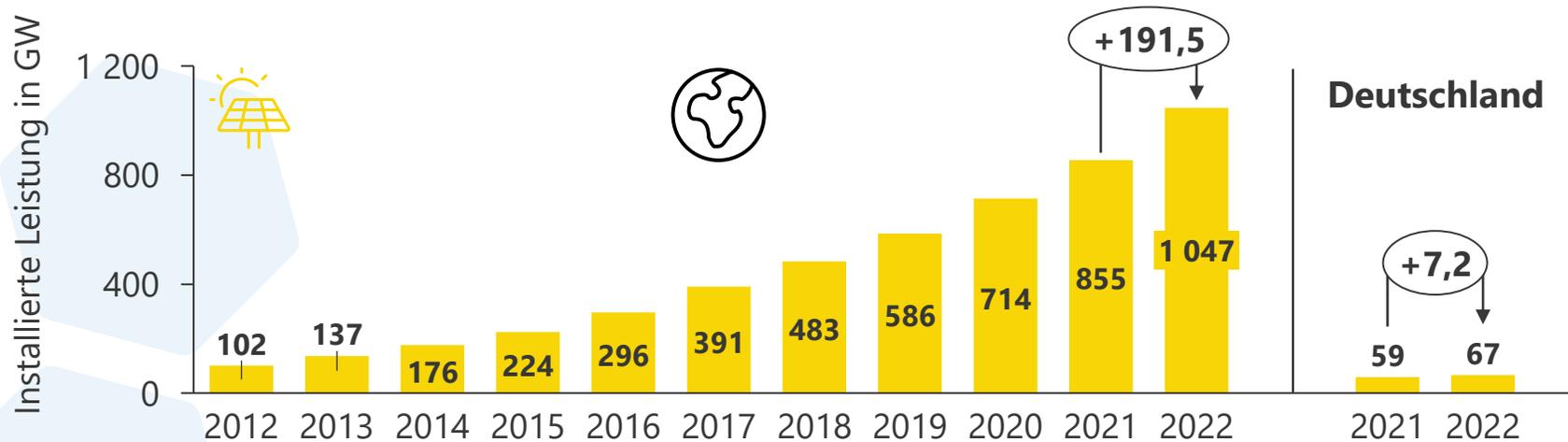
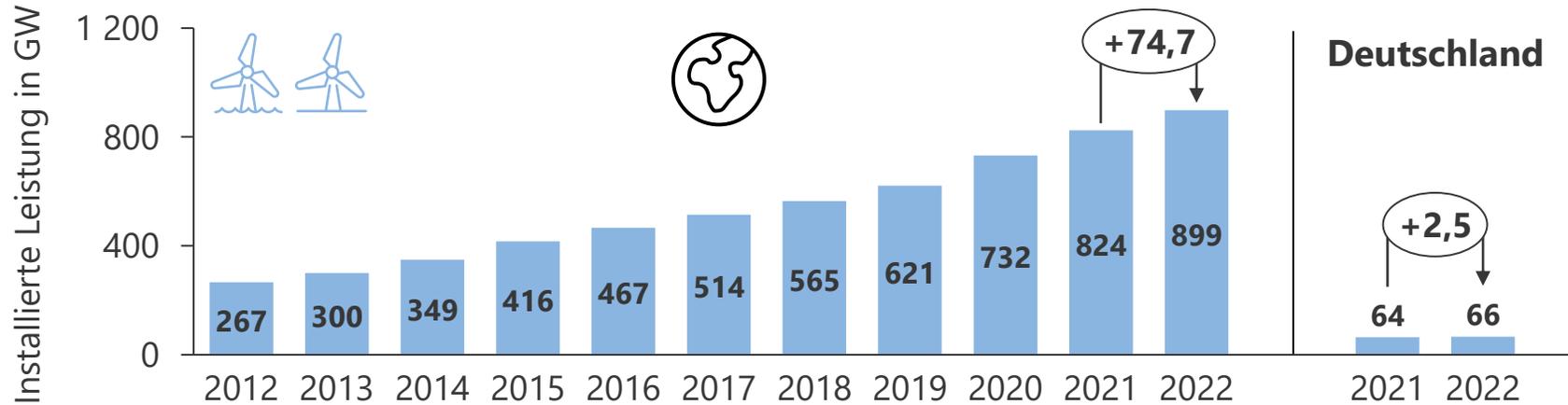


Elektrifizierung

Mehr erneuerbarer Strom – woher und wie?

Weltweiter EE-Ausbau im Vergleich zu DE / USA / China

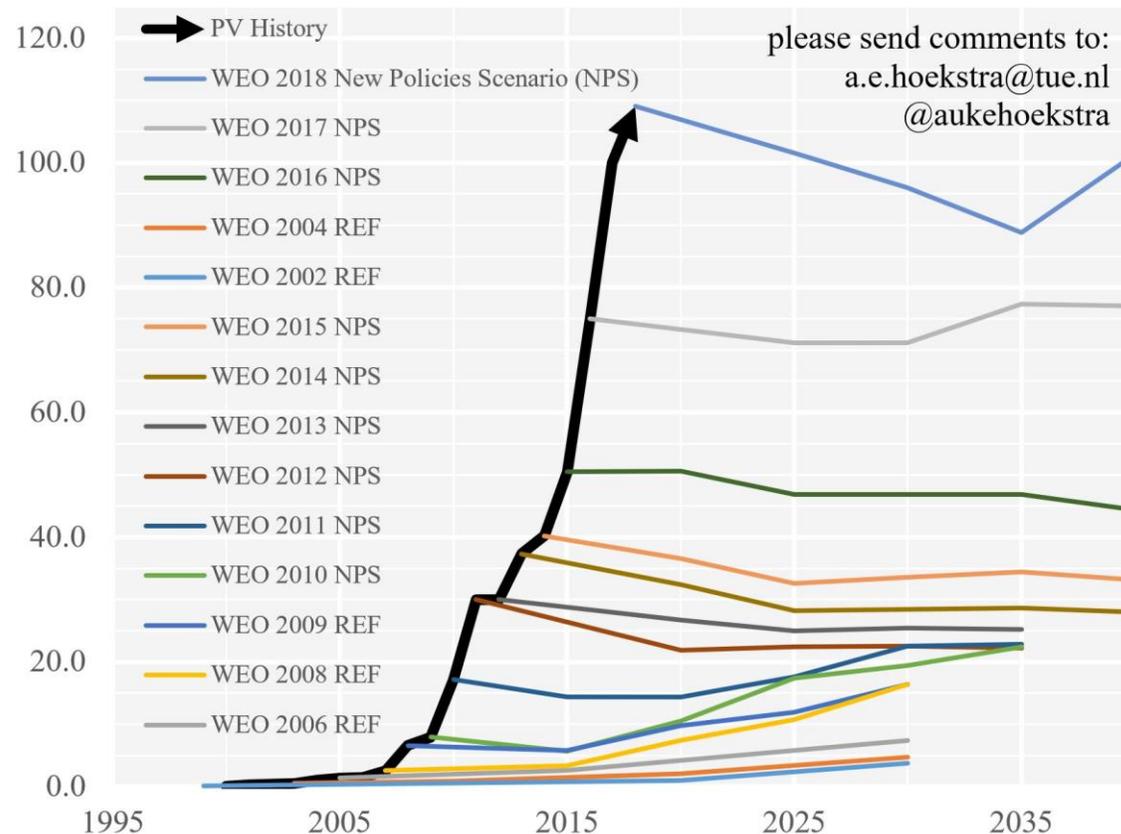
Gesamtkapazität installierter Wind- und PV-Leistung in GW

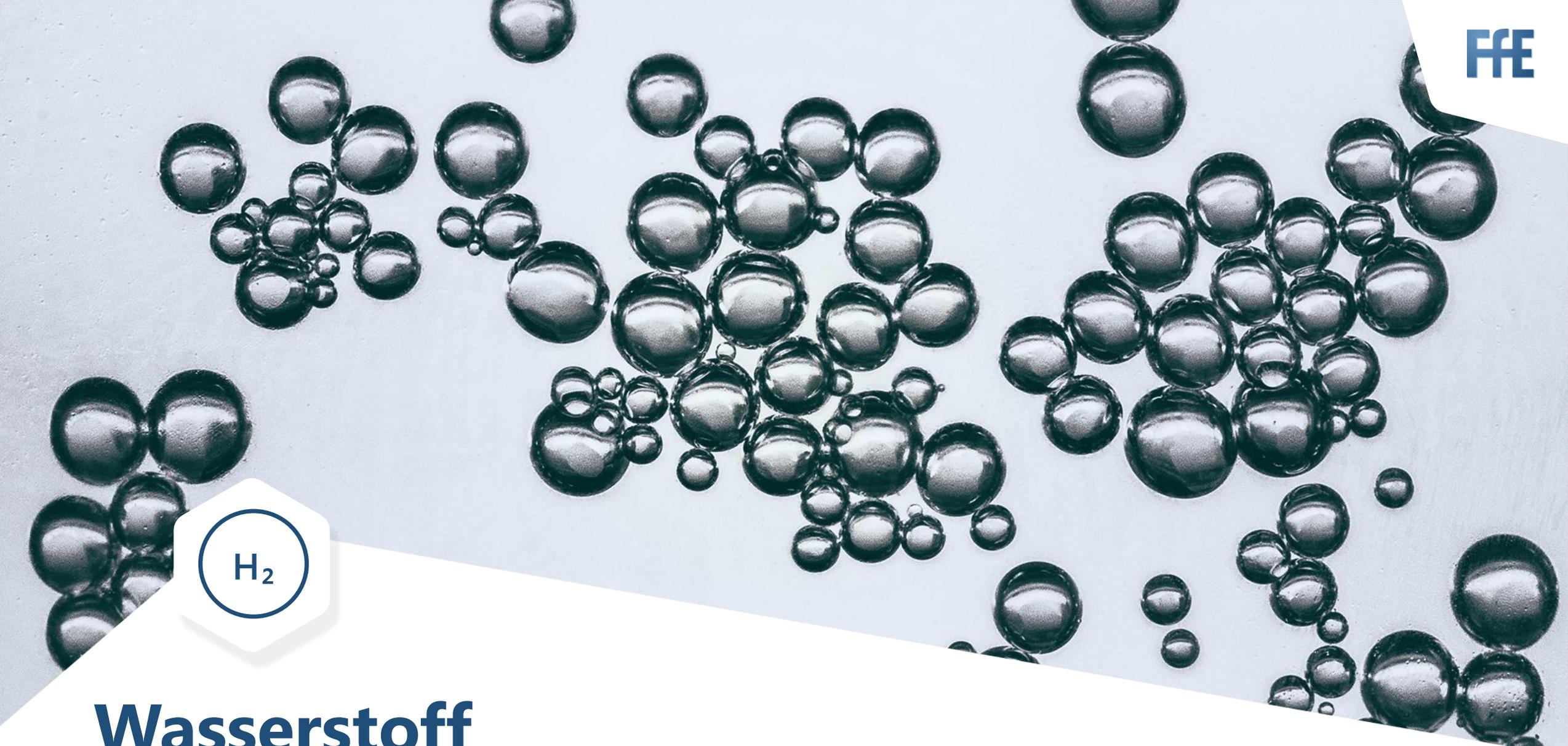


Der PV-Ausbau übertrifft jedes Jahr die Erwartungen

Jährliche Prognosen im „World Energy Outlook“ (WEO) der IEA

Annual PV additions: historic data vs IEA WEO predictions
 In GW of added capacity per year - source International Energy Agency - World Energy Outlook





H_2

Wasserstoff

Beste oder letzte Wahl für die Dekarbonisierung?

Nutzungsgradketten

... am Beispiel der dezentralen Wärmeerzeugung

Erneuerbarer Strom
(100%)

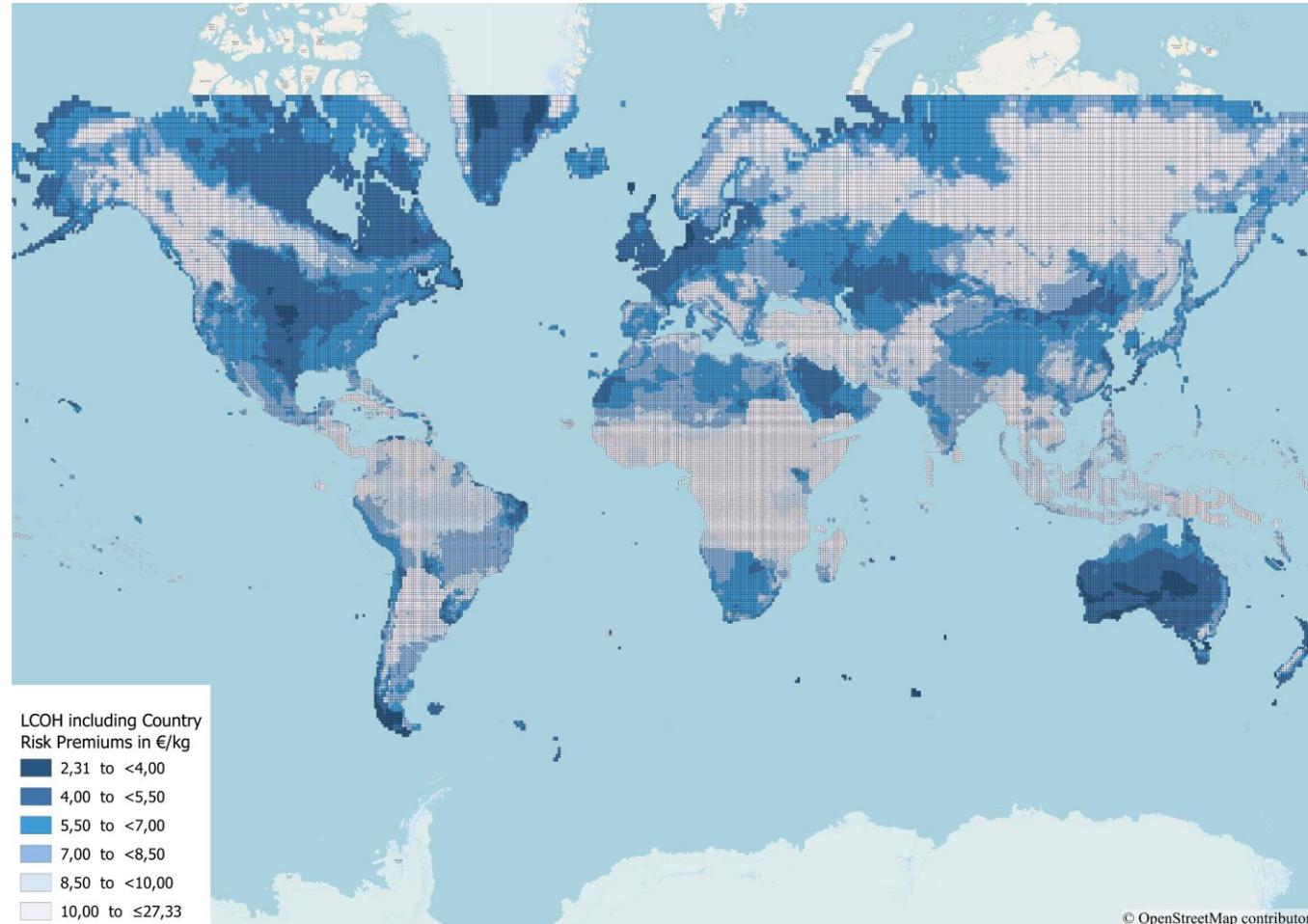


Erneuerbarer Strom
(100%)

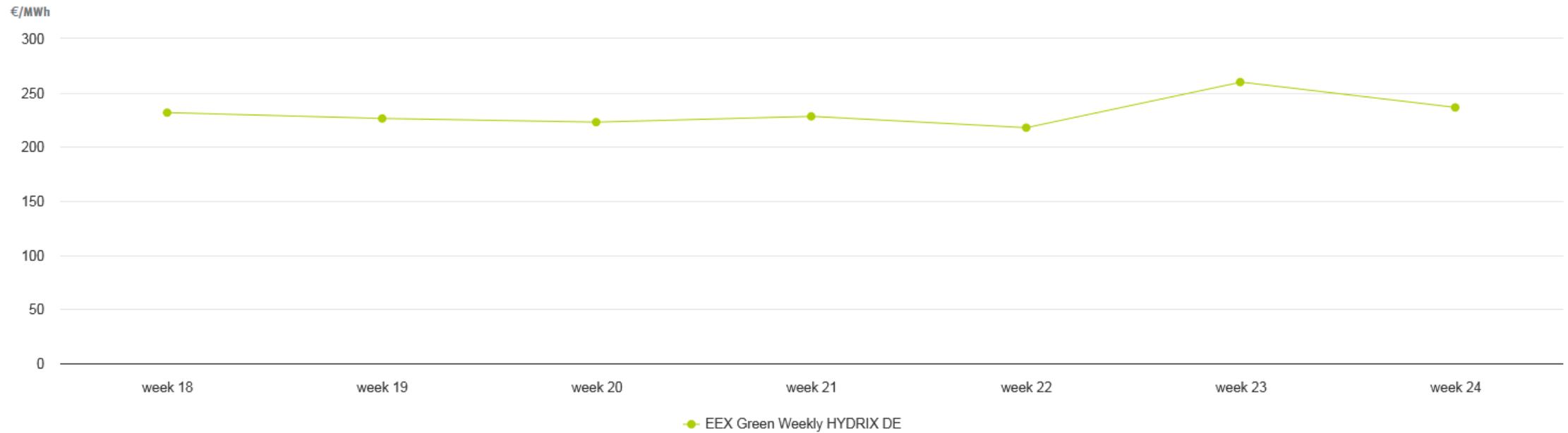


H2-Erzeugungsstandorte

LCOH mit CRP



Erste Einordnung der Preise für grünen H2: EEX Hydrix

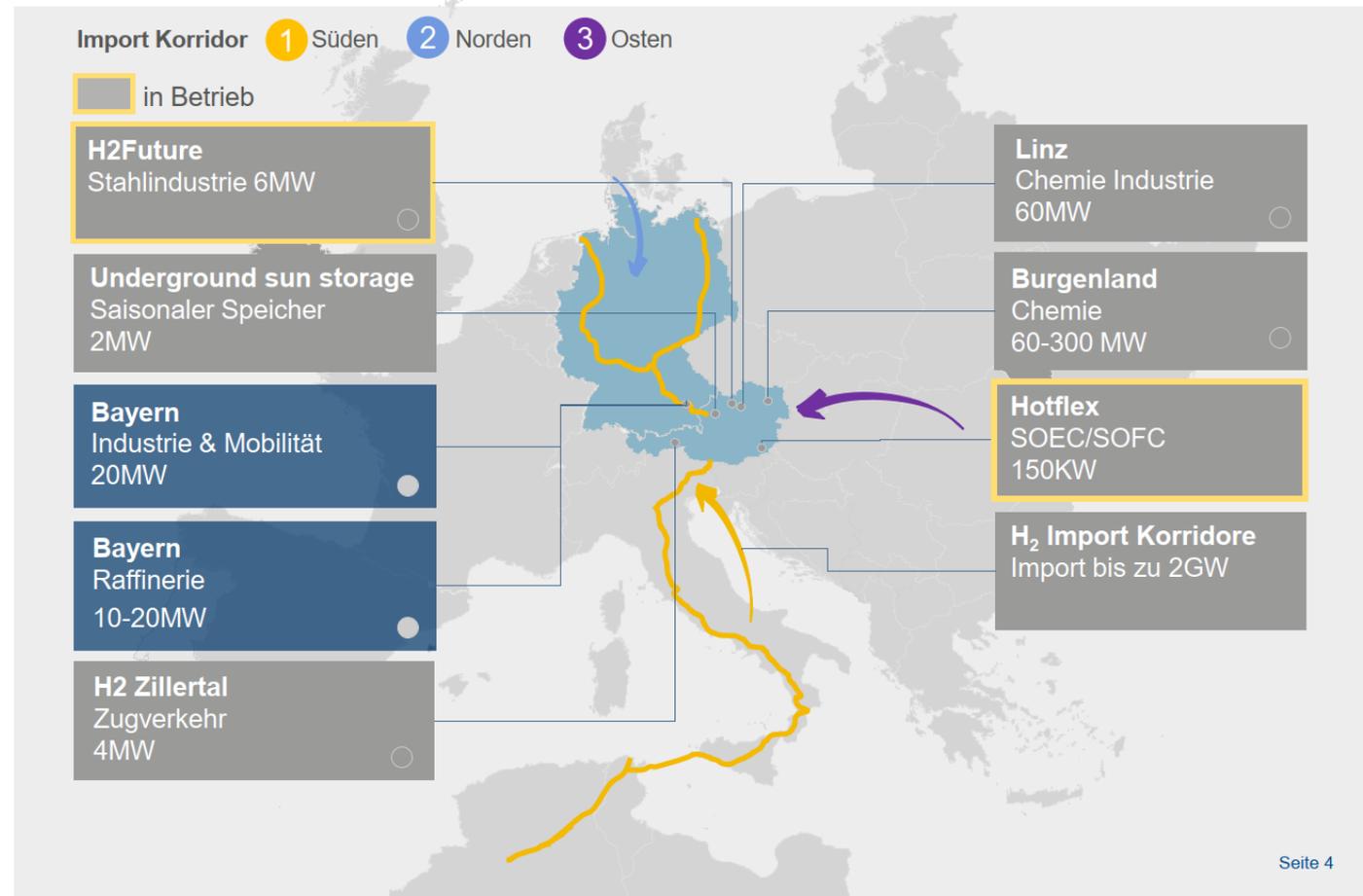


„Grüner“ Wasserstoff nach RED II DA

Opt. I		<p>Gleicher Netzknoten und Smart Metering System oder Ohne Netzanschluss</p>	+	<p>Zusätzlichkeit (Ab 01.01.2028) EE-Anlage max. 3 Jahre vor EL in Betrieb</p>	Direktbezug			
Opt. II		<p>EE-Anteil im Strommix > 90% in einem der letzten fünf Jahre in der Gebotszone des EL</p>			Netzbezug			
Opt. III		<p>PPA mit EE-Anlage</p>	+	<p>Zusätzlichkeit (Ab 01.01.2028) EE-Anlage max. 3 Jahre vor EL in Betrieb oder</p>	+	<p>Gleichzeitigkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bis 31.12.2029: Gleicher Monat • Ab 01.01.2030: Gleiche Stunde • Alternativ: • Day-Ahead-Preis <= 20€/MWh 	+	<p>Räumlicher Zusammenhang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gleiche Gebotszone, oder • Benachbarte Gebotszone • mit höheren Strompreis, oder • Benachbarte Offshore-Gebotszone
Opt. IV		<p>Vermeidung von Engpassmanagement</p>			<p>EE – Erneuerbare Energien EL – Elektrolyseur RED – Renewable Energy Directive DA – Delegated Act PPA – Power Purchase Agreement</p>			

Überlegungen zum Import von Wasserstoff

- **Feedstock für Industrie und Mobilität**
 H₂ als Beitrag zur Dekarbonisierung der hard-to-abate Sektoren, v.a. Stahlindustrie, Düngemittelerzeugung und Petro-Chemie
- **Energieträger für das Stromnetz**
 H₂ als Enabler für Flexibilität und saisonale Speicher zur Systemstabilisierung bei steigender Volatilität durch Solar- und Windstrom
- **Globale Commodity**
 H₂ einfach transportierbar für Importe nach Zentraleuropa um langfristige Bedarfe zu sichern

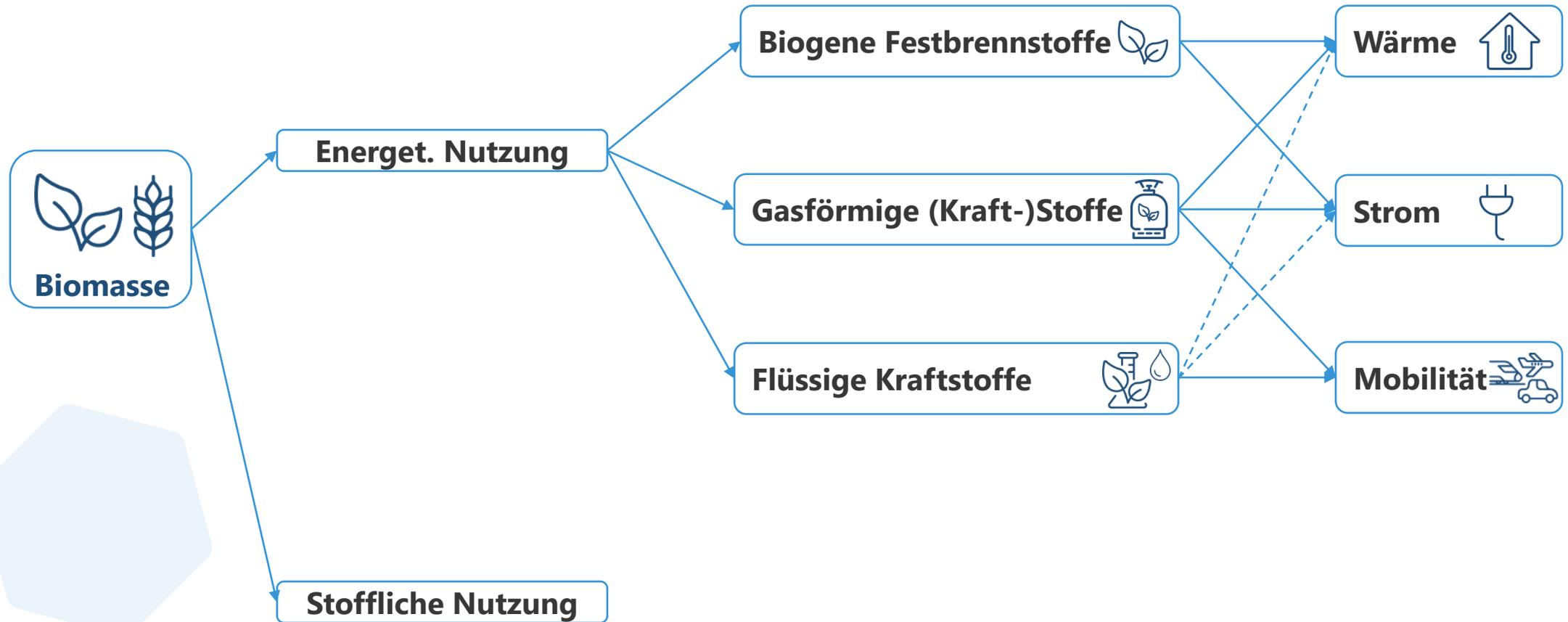




Biomasse

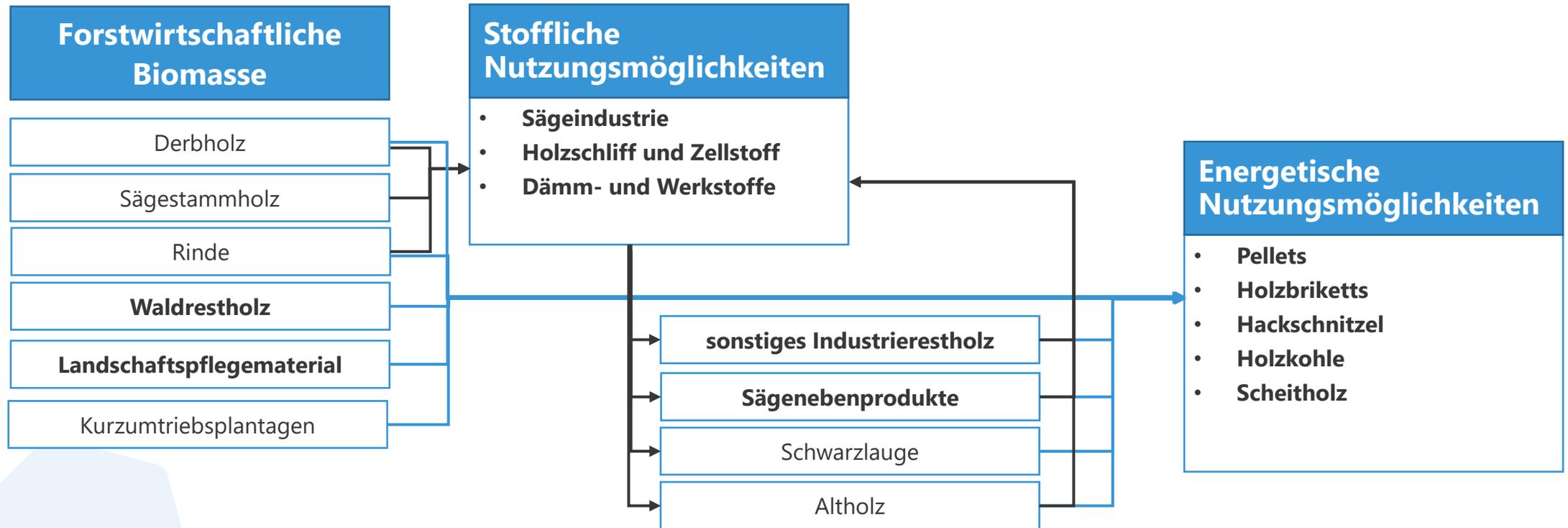
Wie viel ist verfügbar, wie viel davon nutzbar und wofür?

Nutzungspfade der Biomasse



- - - -> Theoretisch möglich, wird in Praxis eher nicht umgesetzt
 ———> Wird in der Praxis so verwendet

Arten von Biomasse und Nutzungsmöglichkeiten



Fazit:

- Stammholz und Rinde gehen primär in stoffliche Nutzung, in der Verarbeitung anfallende Reststoffe können ebenfalls wieder stofflich genutzt werden
- Jede Art von forstwirtschaftlicher Biomasse kann energetisch genutzt werden
- Fokus liegt auf den Teilen, welche nicht stofflich genutzt werden können



Dekarbonisierung in der Praxis

Wie geh ich jetzt konkret vor?

Praxisnahes Vorgehen bei der Entwicklung einer Treibhausgasverminderungsstrategie

FfE-Vorgehensweise

ÜBERGEORDNETE
ZIELE FESTLEGEN,
STATUS QUO AM
STANDORT
ERFASSEN UND
ANALYSIEREN

1

THG-
VERMINDERUNGS-
UND
TRANSFORMATIONS-
MASSNAHMEN
IDENTIFIZIEREN,
POTENZIALE
ERHEBEN

2

MAßNAHMEN UND
KOMBINATIONEN IN
VERSCHIEDENEN
SZENARIEN
BEWERTEN

3

TRANSFORMATIONS-
PFAD ABLEITEN

4

KONSENS ZUR
UNTERNEHMENS-
TRANSFORMATION
FINDEN UND
KOMMUNIZIEREN
(„ROADMAP“)

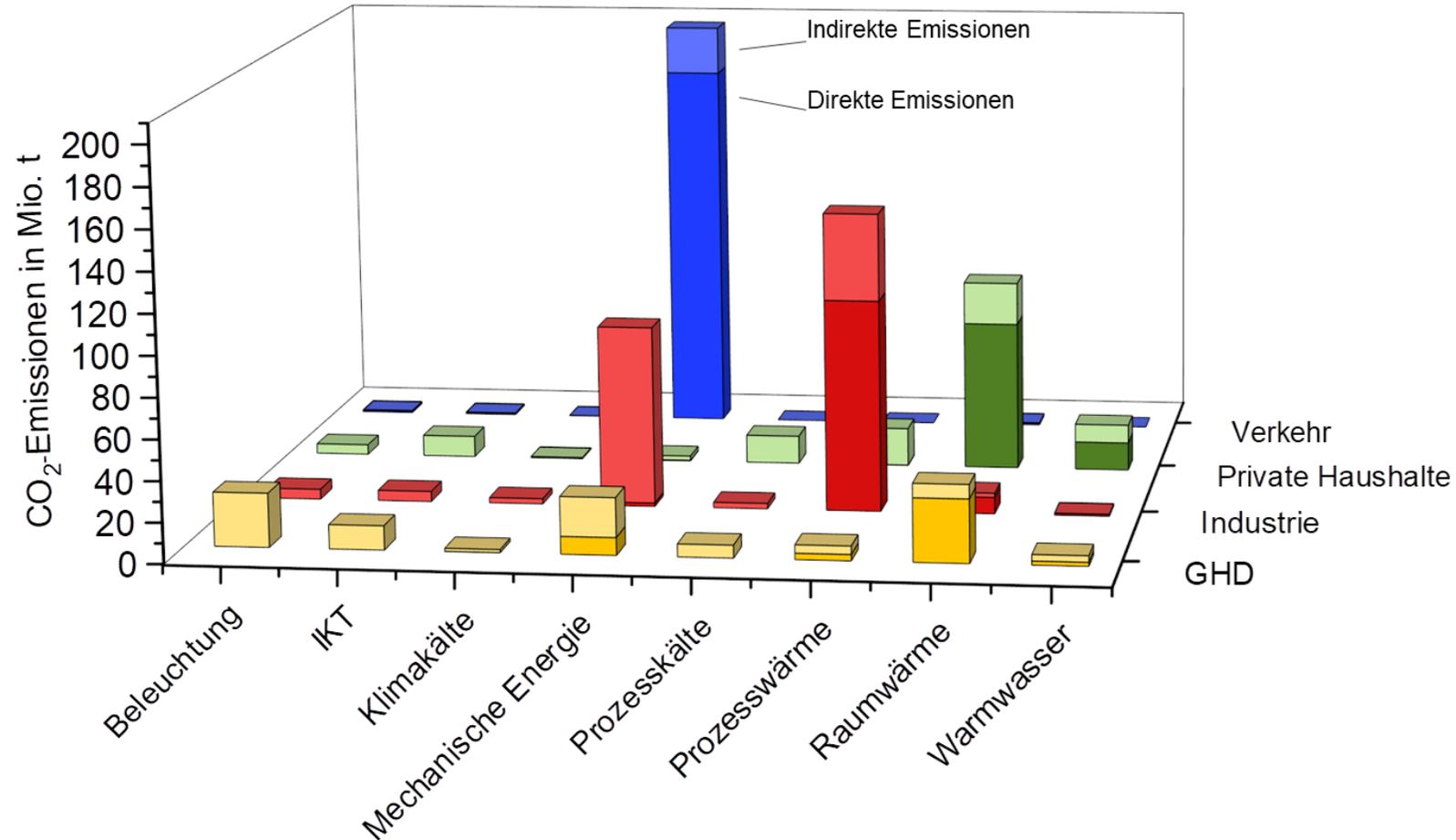
5



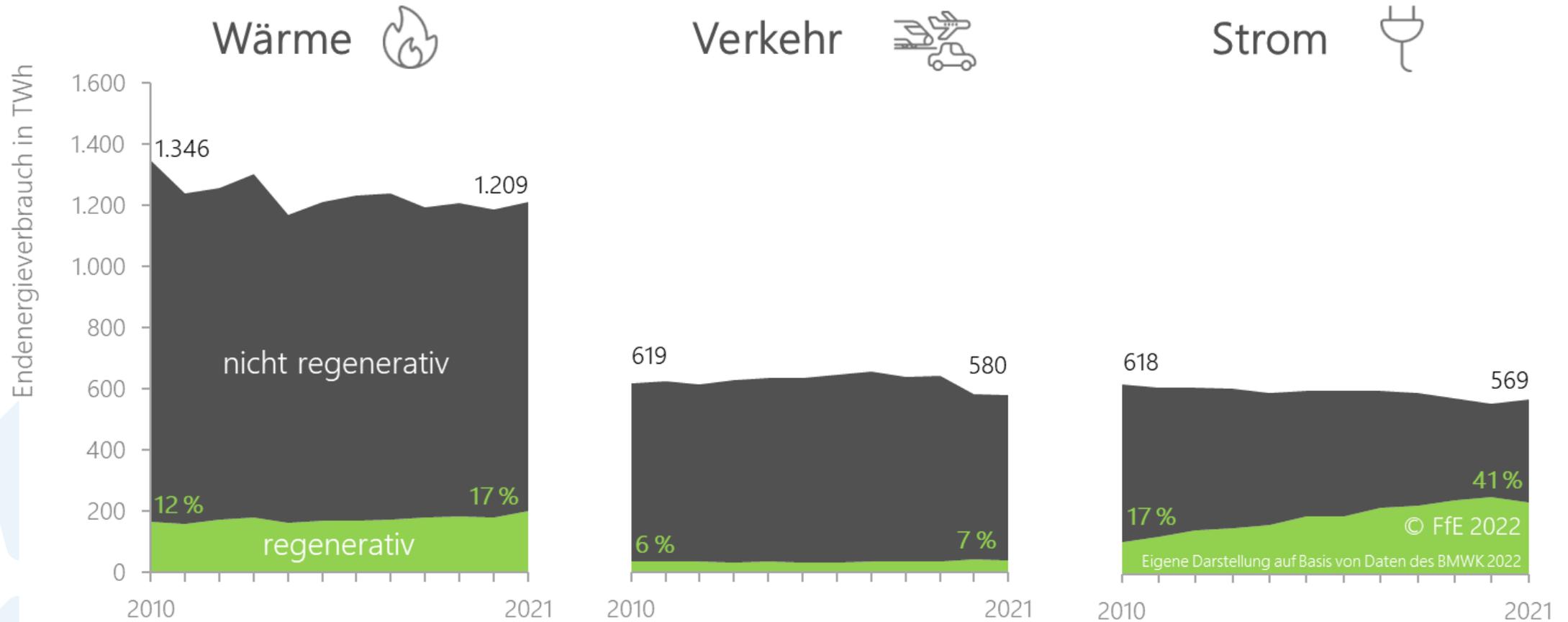
**Stakeholder auf allen Ebenen miteinbeziehen –
sowohl entlang der praktischen Wertschöpfung als auch bei der Strategieentwicklung**

Neue Energiewelt = Klimaneutrale Energiewelt

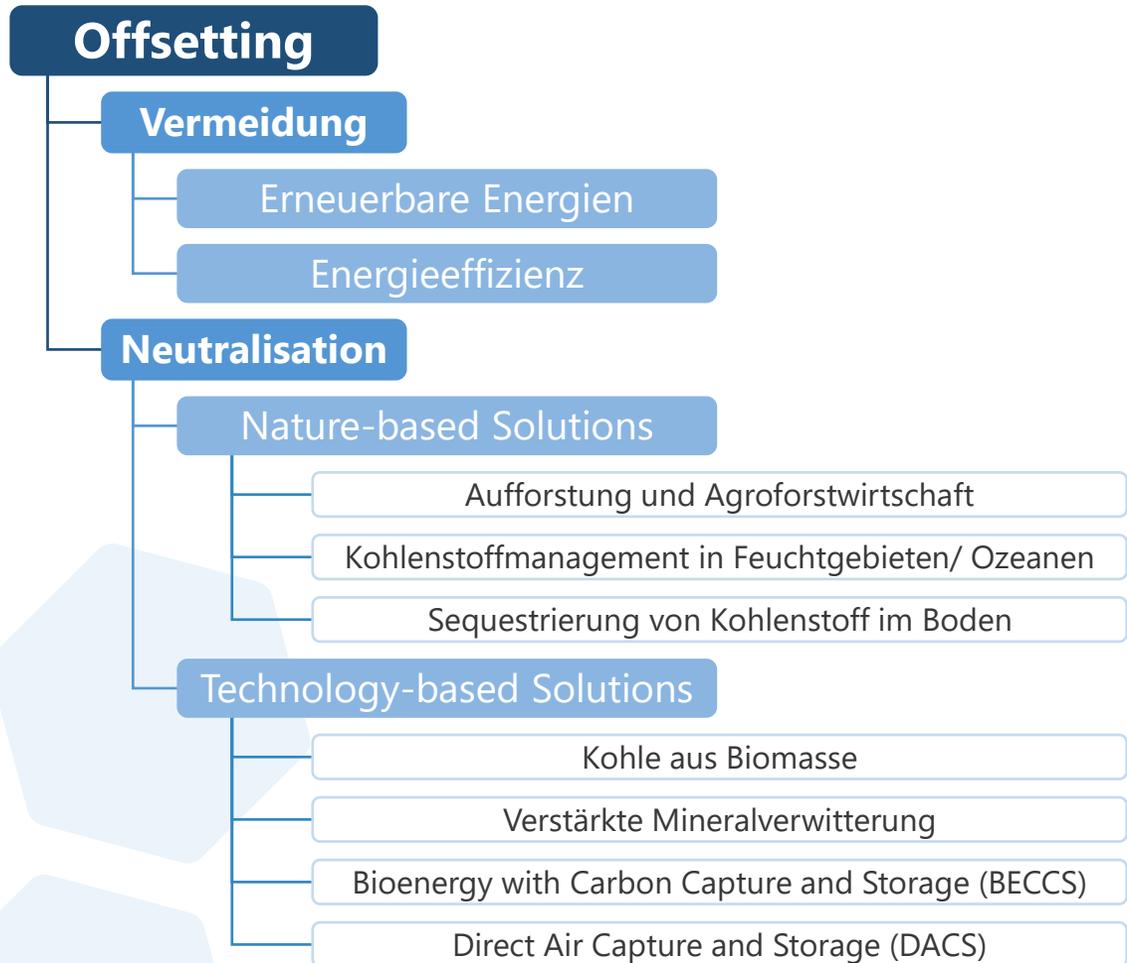
Was müssen wir eigentlich wo erreichen?



Erneuerbare Energien und sektorale Verbräuche – Entwicklung in Deutschland



Kompensation



Mindestanforderungen:

- Verifizierung der THG-Emissionsminderungen außerhalb der eigenen Wertschöpfungskette
- Ex-post Ausschüttung der Zertifikate
- Small-scale Projekte, die eine jährliche THG-Einsparung von kleiner 60.000 tCO₂e erzielen
- Berücksichtigung nachhaltiger Aspekte (SDG)

Ausschlusskriterien:

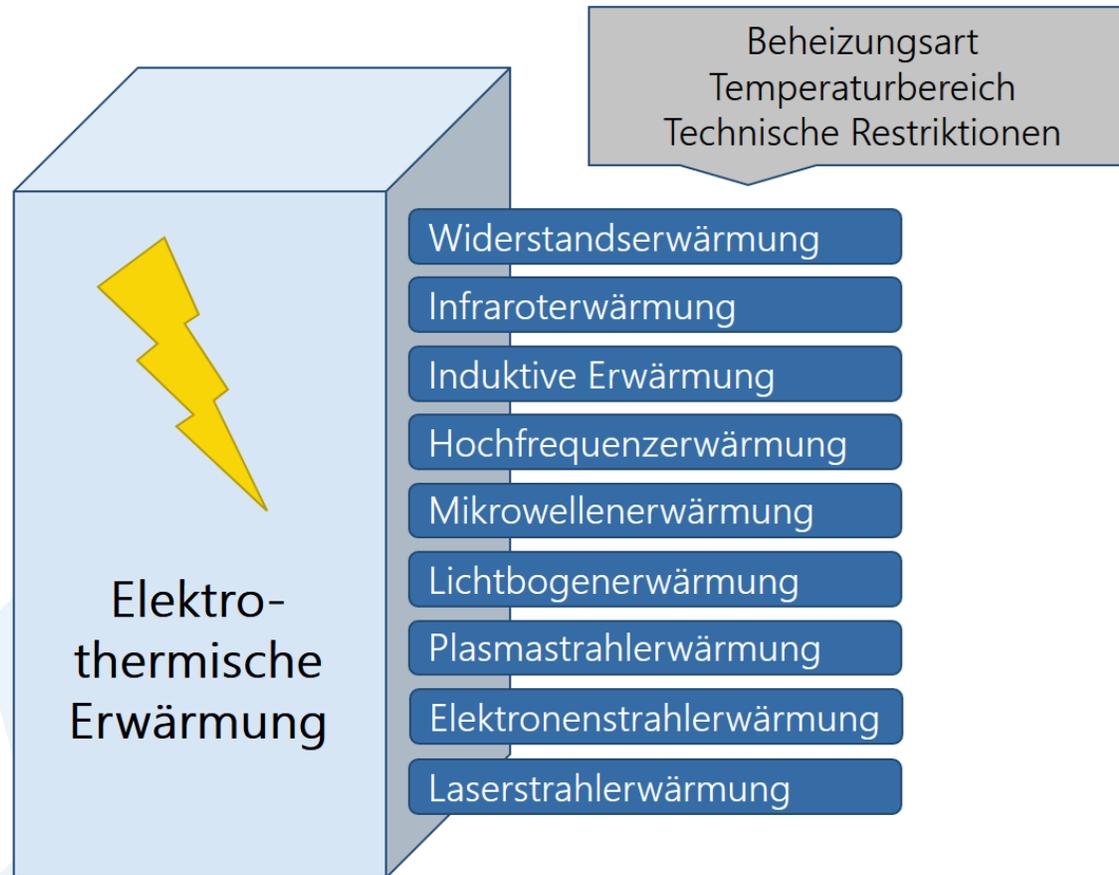
- Projekttyp Wind, da diese nicht zusätzlich sind
- Projekttyp Hydro: Ausschluss von Large Hydro; small-scale Projekte nur in Verbindung mit Co-Benefits
- Projekte, die verfügbare Energie nicht nutzen
- Kein Kauf von VCU aus VCS-Projekten



Technologien

Mit welchen Technologien kann konkret elektrifiziert werden?

Möglicher Pfad zur Dekarbonisierung: Elektrifizierung



Elektrothermische Erwärmung

- Technologie zur elektro-thermischen Erwärmung abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall
- Technische Restriktionen der Elektrifizierungstechnologie und Prozessanforderungen
- Mögliche Limitierungen:
 - benötigte Heizleistung
 - Technology Readiness Level
 - Netzanschlusskapazität

Sonderfall Wärmepumpen:

- Einsatz für Raumwärme- und niedertemperaturige Prozesswärmeanwendungen sinnvoll

Technologieanalyse thermoelektrischer Erwärmungsverfahren

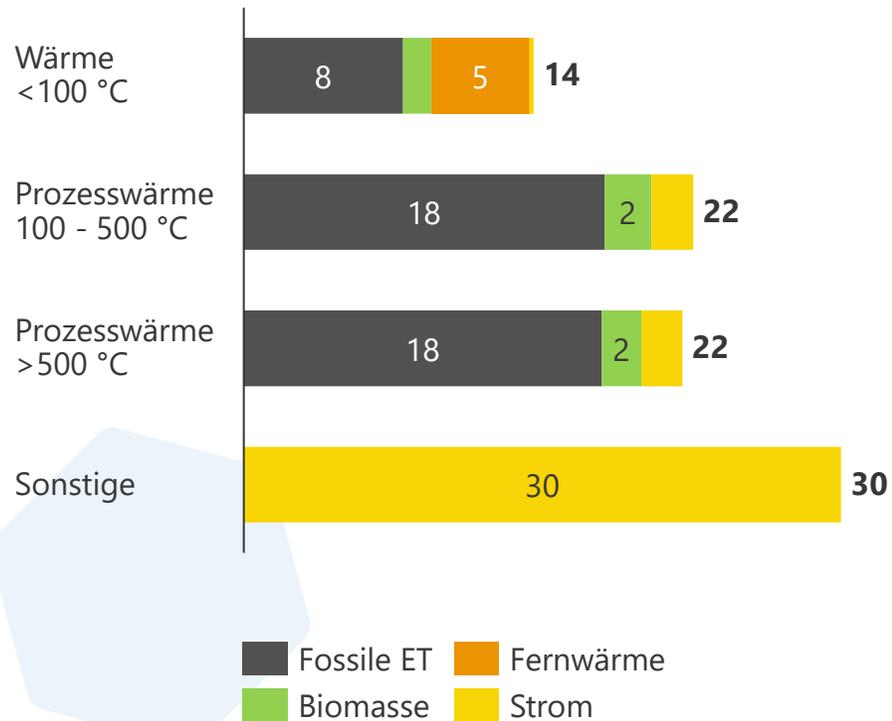
Tabelle 1: Technologiecharakteristika elektrothermischer Erwärmungsverfahren

Technologie	Beheizungsart		Temperaturbereich	Technische Restriktionen
	direkt	indirekt		
Widerstandserwärmung ^a	x		bis ca. 3.000 °C	Nur für elektrisch leitfähige Materialien, anwendungsspezifische Verfahren
		x	bis ca. 2.000 °C	Universell einsetzbar
Infraroterwärmung ^a		x	bis ca. 2.100 °C	Hauptsächlich für Oberflächenerwärmung
Induktive Erwärmung ^{a,b,c}	x		abhängig von Frequenz	Nur für elektrisch leitfähige Materialien, möglichst gleichförmige Geometrie des Erwärmungsgutes
		x		Elektrisch leitendes Gefäß für konvektiven Wärmeübergang notwendig
Dielektrische Erwärmung ^{a,b,d,e,f}	x		bis ca. 1.800 °C	Nur für elektrisch nichtleitende Materialien mit polaren Eigenschaften (z. B. Wasser, Salze);
				Wärmeumwandlung material-, temperatur- und frequenzabhängig
Lichtbogenerwärmung ^{a,b,g,h}	x		ca. 1.000 - 2.500 °C	Nur für elektrisch leitfähige Materialien, i. d. R. für Schmelzvorgänge, diskontinuierliche Betriebsweise
		x		Anwendungsspezifische Verfahren
Plasmastrahlerwärmung ^{a,i,j}		x	ca. 1.000 - 5.000 °C	Arbeitsgas (Ar, H ₂ , N ₂ oder Luft) erforderlich, wird zusätzlich in Prozess eingebracht
Elektronenstrahlerwärmung ^a	x		ca. 2.300 - 2.700 °C	Hochvakuum erforderlich
Laserstrahlerwärmung ^{a,k,l}		x	k. A.	Nur zur punktuellen Erwärmung; Einflussgrößen: Strahleinfallswinkel, umgebende Atmosphäre und Materialeigenschaften

Temperaturniveaus in der Wärmeversorgung

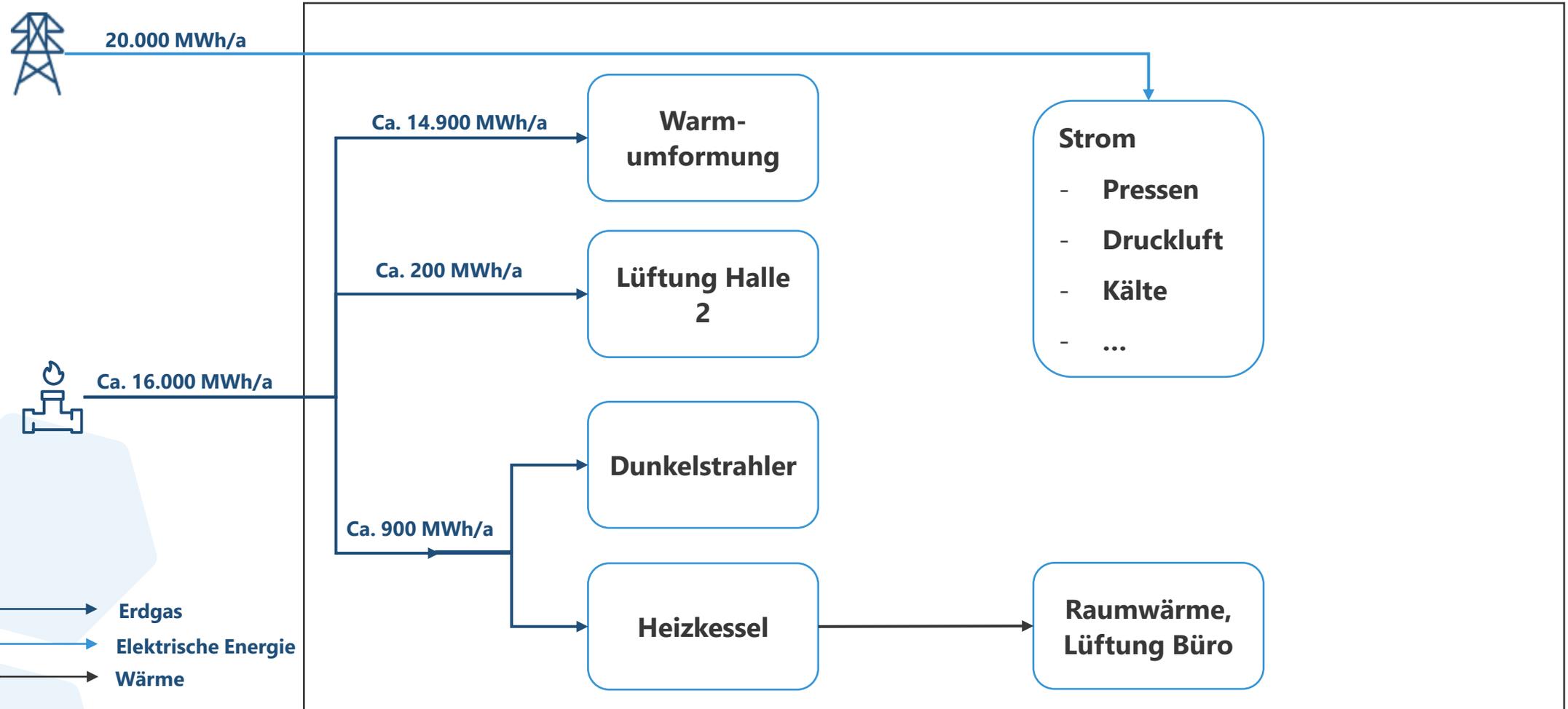
Wo liegen die Herausforderungen?

EEV nach Anwendungen
in TWh | Bayern | 2019



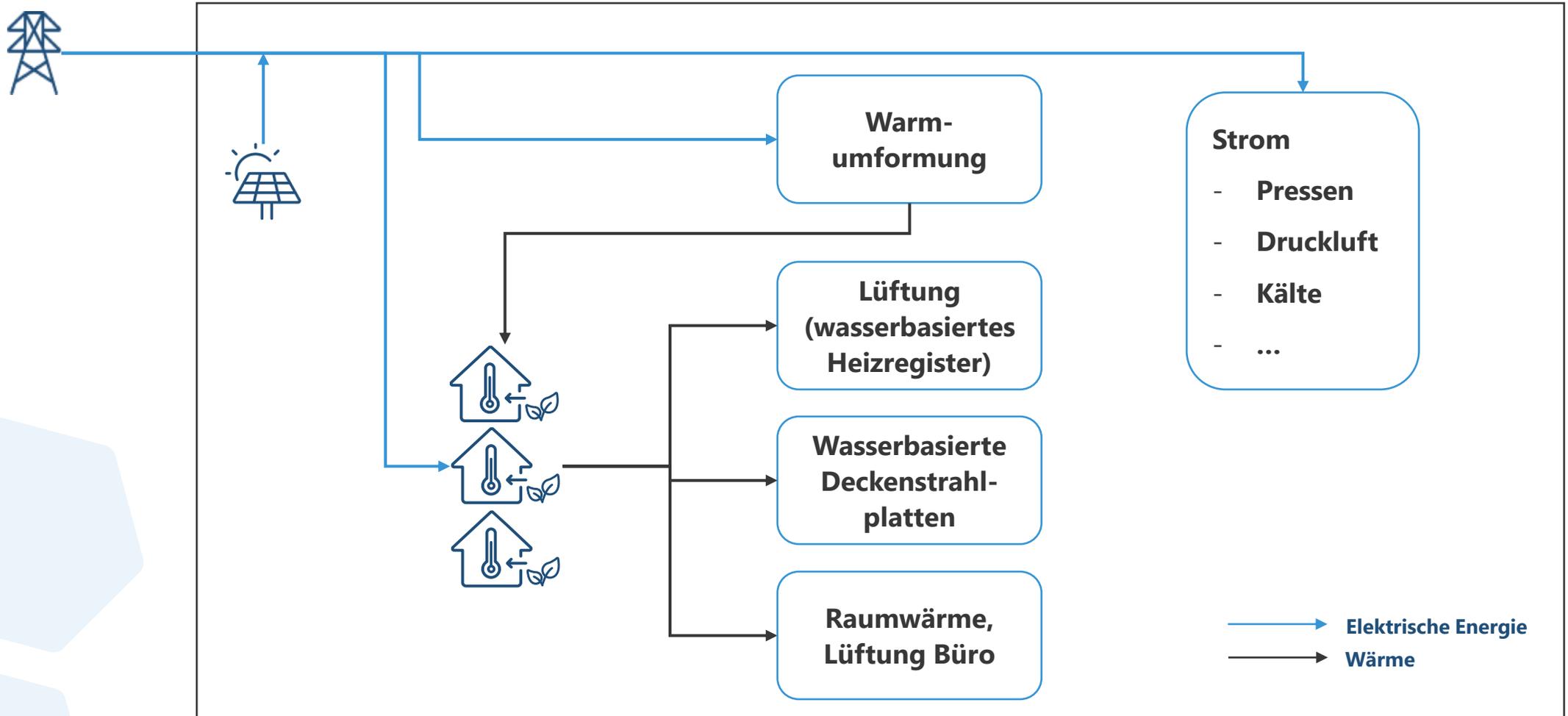
Beispiele aus der Praxis

Transformation Maschinenbauunternehmen – Ist-Zustand



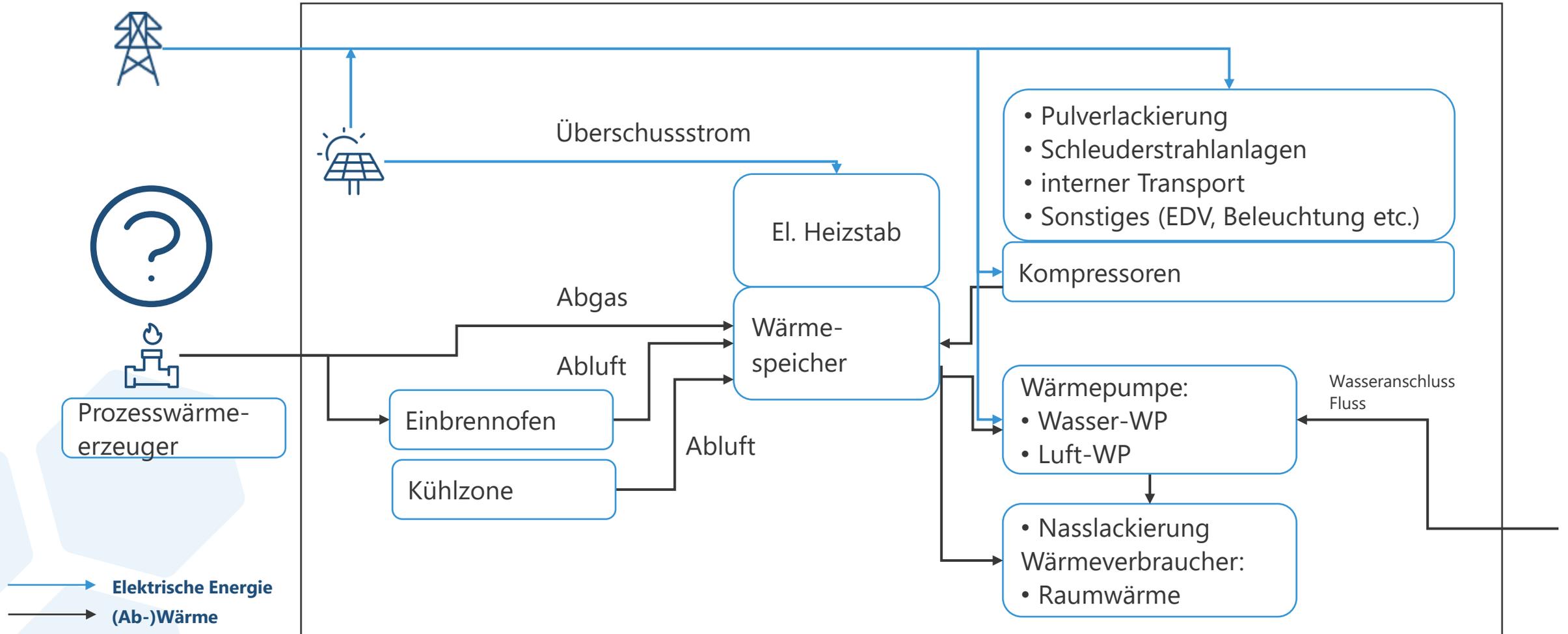
Beispiel aus der Praxis

Transformation Maschinenbauunternehmen – 1 von 7 Versorgungsvarianten



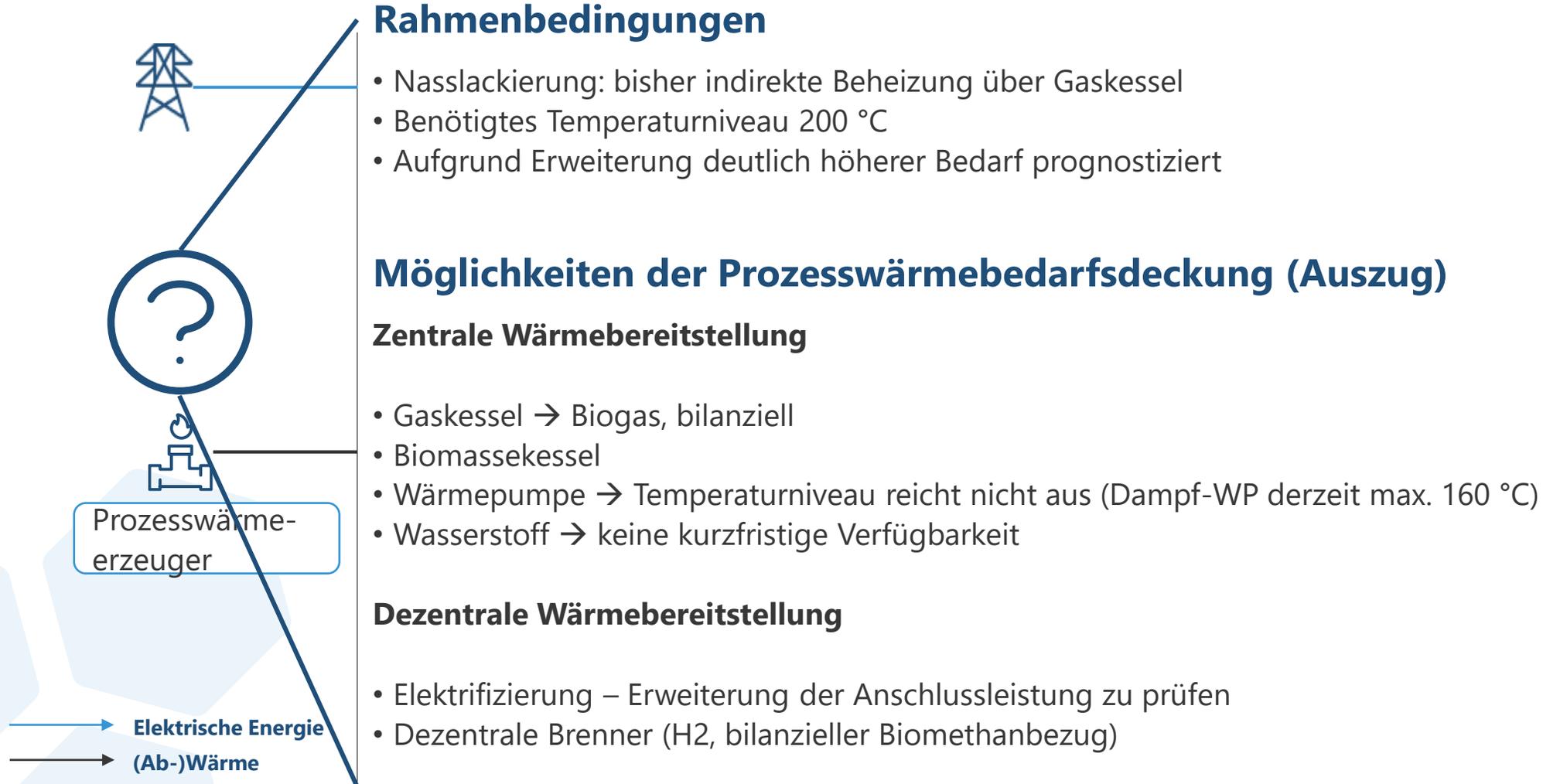
Beispiel aus der Praxis

Herausforderung Prozesswärmemetransformation



Beispiel aus der Praxis

Herausforderung Prozesswärmeförderung



Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke der FfE

Die FfE ist in allen Netzwerken in der Funktion der energietechnischen Beratung



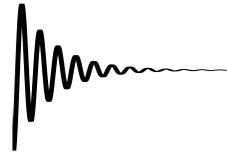
Aufbau und Ablauf eines Netzwerks



Mögliche Bestandteile der energietechnischen Beratung im Netzwerk

Ziele	Vorgehensweise	Ergebnisse
Individueller Zielfindungsworkshop	<ol style="list-style-type: none"> Datenerhebung vorab Vor-Ort Termin Diskussion zu Effizienzpotenzialen Maßnahmenbewertung, Zielableitung 	Zusammenfassung in ppt: <ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen zur Effizienzsteigerung • Zielvorschlag
Optional: Roadmap zur Treibhausgasneutralität	<ol style="list-style-type: none"> Analyse Ist-Zustand Diskussion zu Emissionsminderung Qualitative Bewertung von Möglichkeiten, Roadmap 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Roadmap in ppt • Einordnung von Handlungsoptionen
Optional: Regressionsanalyse (ISO 50001)	<ol style="list-style-type: none"> Identifikation SEU's, Datenerhebung Regressionsanalyse für ausgewählte SEUs 	<ul style="list-style-type: none"> • Regressionsanalyse (Excel) für ausgewählte SEUs
Jährliches Monitoring	<ol style="list-style-type: none"> Datenerhebung Bewertung der Zielerreichung (Regression, Bottom up) Bewertung Zielerreichung gesamtes Netzwerk 	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse des jährlichen Monitorings in ppt (Unternehmen & Netzwerk)

Redispatch - Aktuelles aus Energiewirtschaft und Klimapolitik



Unser Ziel:

Sie in den wichtigsten Themen immer up-to-date und sprechfähig halten!



LISTEN ON  Spotify

Anhören auf  Apple Podcasts

Listen on  Google Podcasts





DR. ANNA GRUBER

Geschäftsführerin
 Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH
 +49(0)89 15 81 21-62
 AGRUBER@FFE.DE

FfE
 Am Blütenanger 71
 80995 München



Literatur

- [1] Rudolph, M.; Schaefer, H.: Elektrothermische Verfahren - Grundlagen, Technologien, Anwendungen. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1989
- [2] De Wachter, Bruno: Introduction to Industrial Electrical Process Heating. Brüssel: European Copper Institute, 2015.
- [3] Was ist Induktionserwärmung?. Reichenbach: Inductoheat Europe GmbH, 2015.
- [4] Imenokhoyev, Ivan et al.: Mikrowellenerwärmungstechnik: Potentiale und Grenzen. In: DKG Vol. 89, No 11-12. Eschenfelden: Linn High Therm GmbH, 2012.
- [5] Imenokhoyev, Ivan et al.: Microwave Heating Technology: Potentials and Limits. Eschenfelden: LINN HIGH THERM GmbH, 2013.
- [6] Industrial microwave technology - High-performance solutions for your industrial processes. Marseille: IDCO, 2014.
- [7] Understanding the Benefits of Electric Arc Furnace Technology. Manchester: Washington Mills Electro Minerals Limited, 2015.
- [8] Handbuch Elektrische Energietechnik. Braunschweig/Wiesbaden: Liviu Constantinescu-Simon, 1996.
- [9] Pragnesh, Dave et al.: Plasma pyrolysis and gasification of plastics waste – a review. In: Journal of Scientific & Industrial Research Vol. 69. Neu Delhi: National Institute of Science Communication and Information Resources, 2010.
- [10] Center for Materials Production: Plasma Arc Technology. Pittsburgh: EPRI Center for Materials Production (CMP), 1991.
- [11] Wie heiß ist eigentlich der Laserstrahl?. In: <https://www.eurolaser.com/de/kunden-service/faq/wie-heiss-ist-eigentlich-der-laserstrahl/>. (Abruf am 2019-01-30); Lüneburg: eurolaser GmbH, 2019.
- [12] Lexikon Produktionstechnik Verfahrenstechnik. Düsseldorf: Heinz Hiersig, 1995.
- [13] Center for Materials Fabrication: Indirect Resistance Heating. In: Techapplication Vol.3, Nr.7. Columbus, Ohio: EPRI Center for Materials Fabrication (CMF), 1994.
- [14] Gerhardt, Norman et al.: Potenziale für Strom im Wärmemarkt bis 2050 - Wärmeversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien. Frankfurt am Main: VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., 2015
- [15] 2012 ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment. Tullie Circle, Atlanta: ASHRAE, 2012.
- [16] Schmidt, Peter: Der Elektronenstrahl, ein faszinierendes Instrument für neue Perspektiven in der Schweißtechnik. Rudolfstetten: SwissBeam AG, 2015.