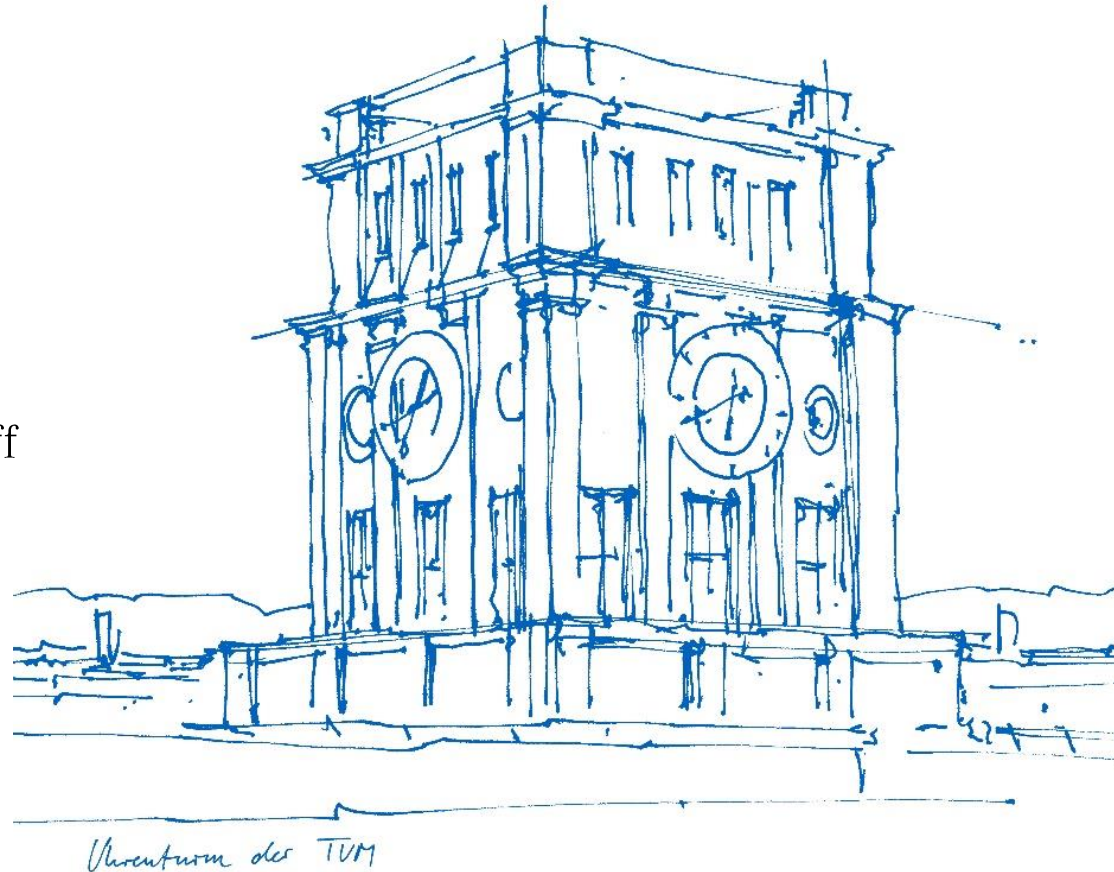


Transformation des Wärmesektors

Benedikt Schweiger
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff
Lehrstuhl für Energiesysteme
TU München

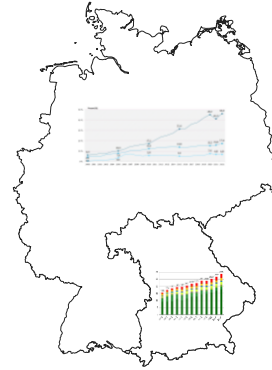
Benedikt.Schweiger@tum.de

Seminar AdW Schwaben
6. November 2023



Gliederung

Wärmeversorgung in De/By – aktueller Stand



Transformation der Wärmeversorgung in Bayern – ein Beispiel



Kommunale Wärmeplanung



Heizen mit Wasserstoff?

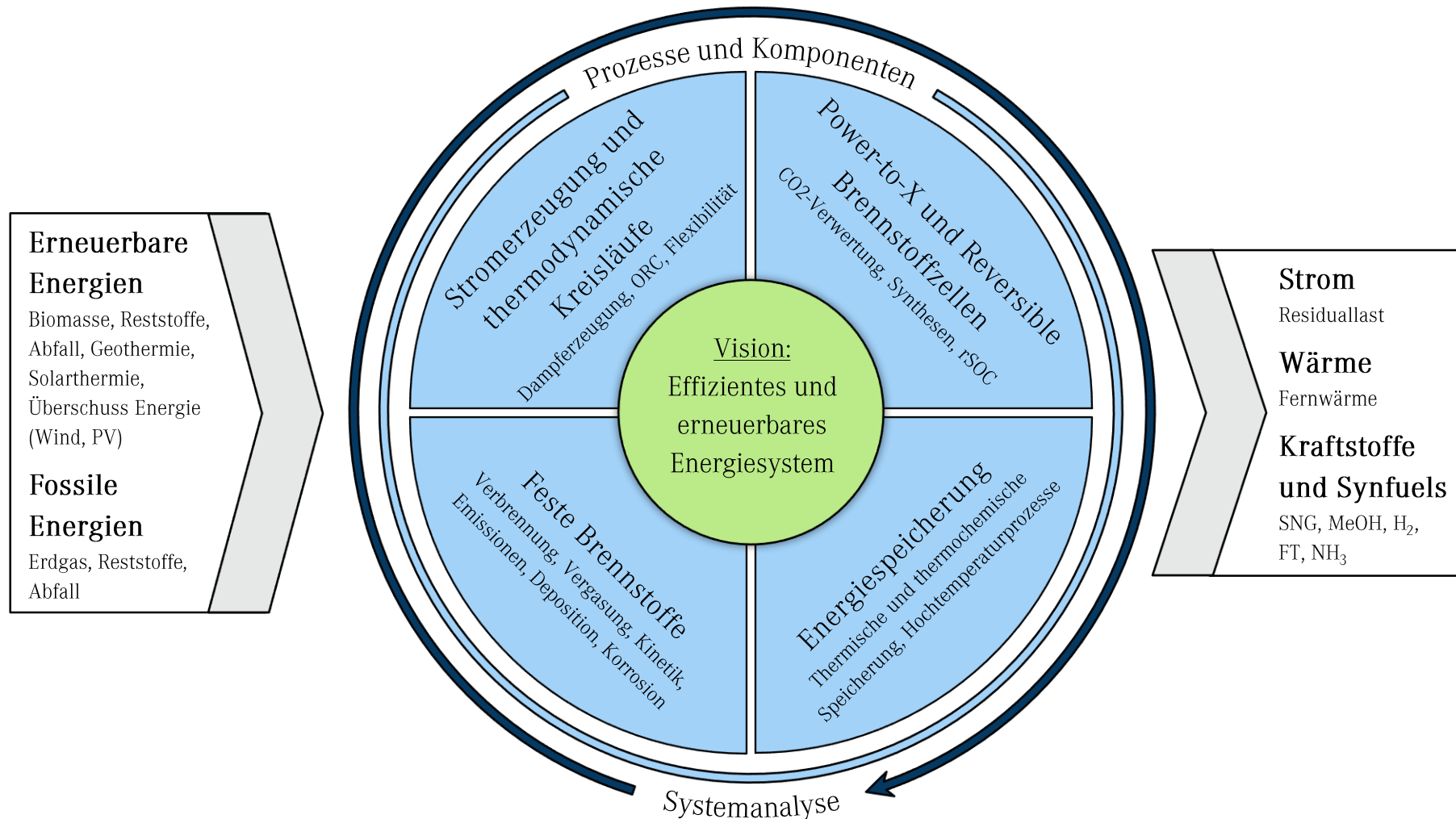


Lehrstuhl für Energiesysteme

- Standort auf dem TUM Campus Garching
- Campus Garching: über 3.500 Mitarbeiter:innen und 15.000 Studierende
- Teil der TUM School of Engineering and Design
- Unser Team: ca. 55 Personen (ca. 40 Doktorand:innen, 4 Postdocs)
- Mission: Entwicklung von Technologien für zukünftige Energiesysteme

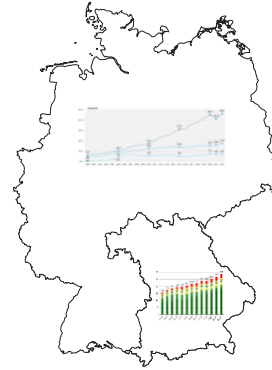


Lehrstuhl für Energiesysteme II



Gliederung

Wärmeversorgung in De/By - aktueller Stand



Transformation der Wärmeversorgung in Bayern - ein Beispiel



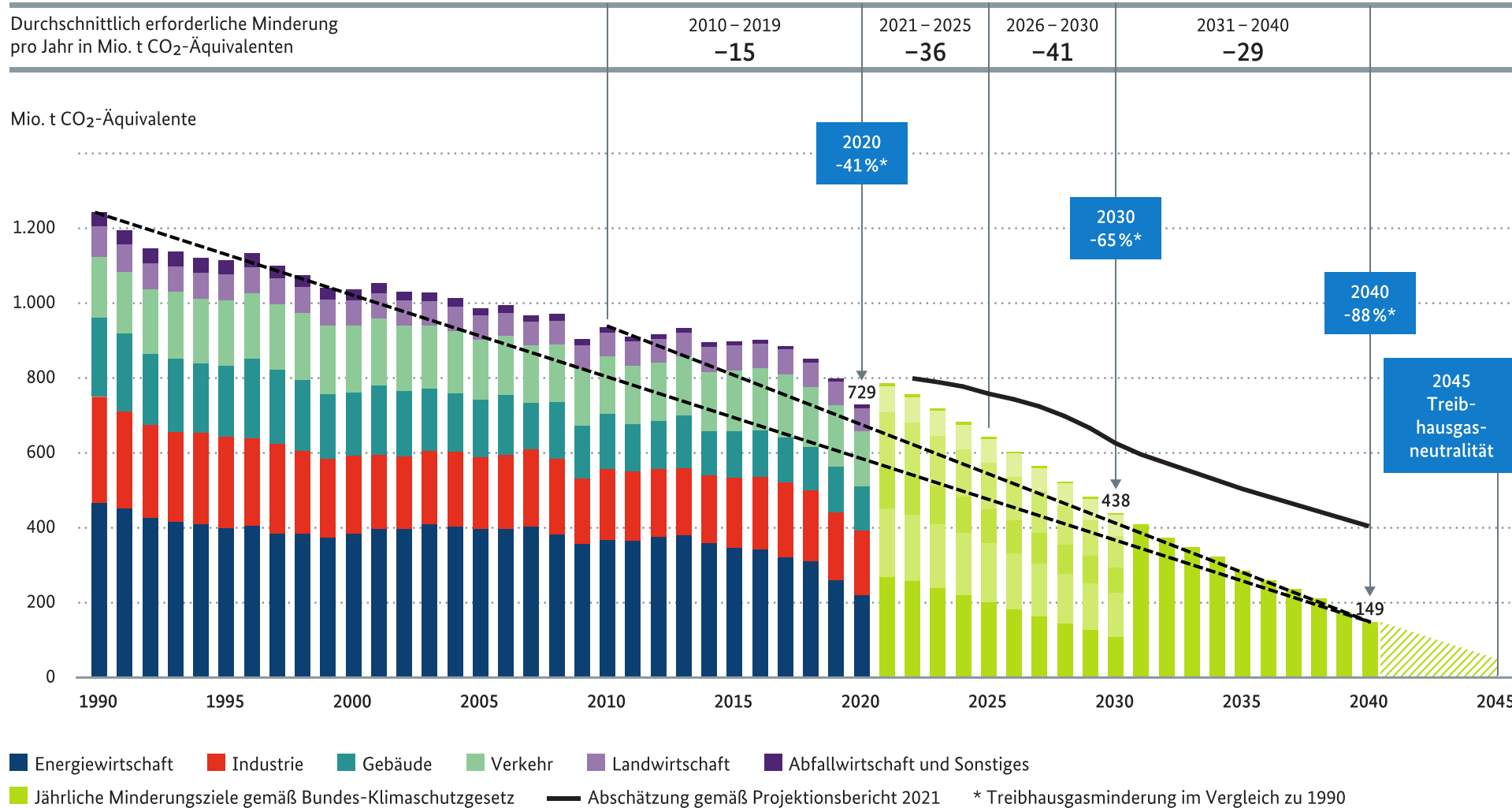
Kommunale Wärmeplanung



Heizen mit Wasserstoff?



Treibhausgasemissionen in Deutschland

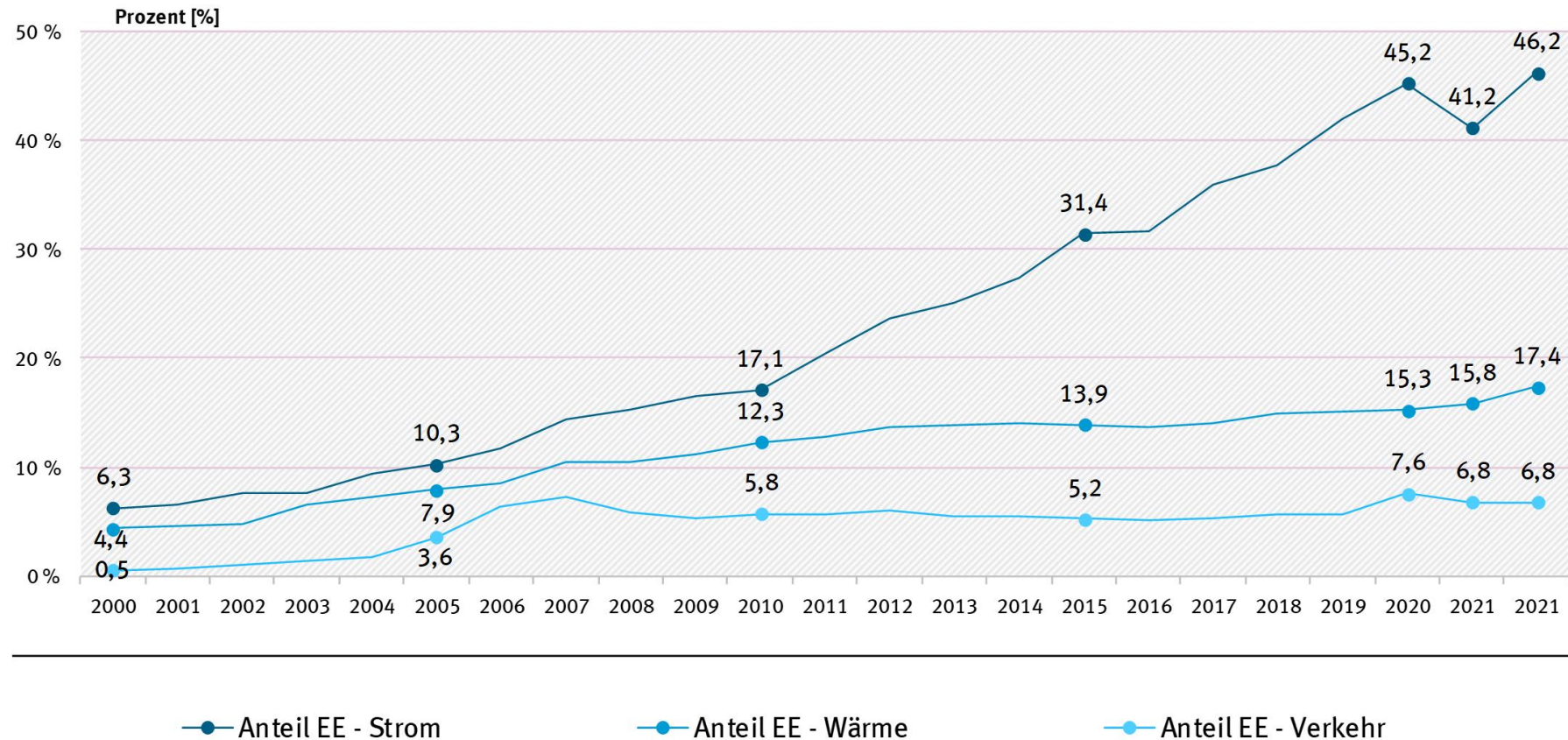


BMWK: Fakten aus Eröffnungsbilanz Klimaschutz, 2022

Erneuerbare Energien in Deutschland

Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch, am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte sowie am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor

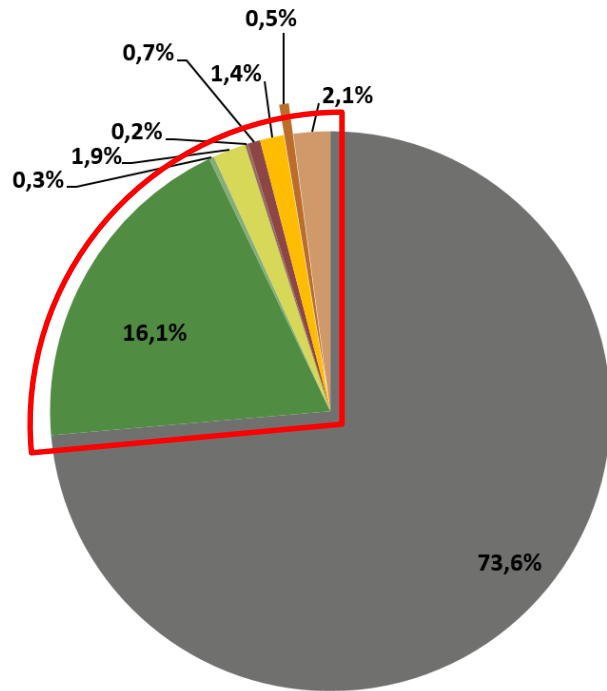
Entwicklung von 2000 bis 2021



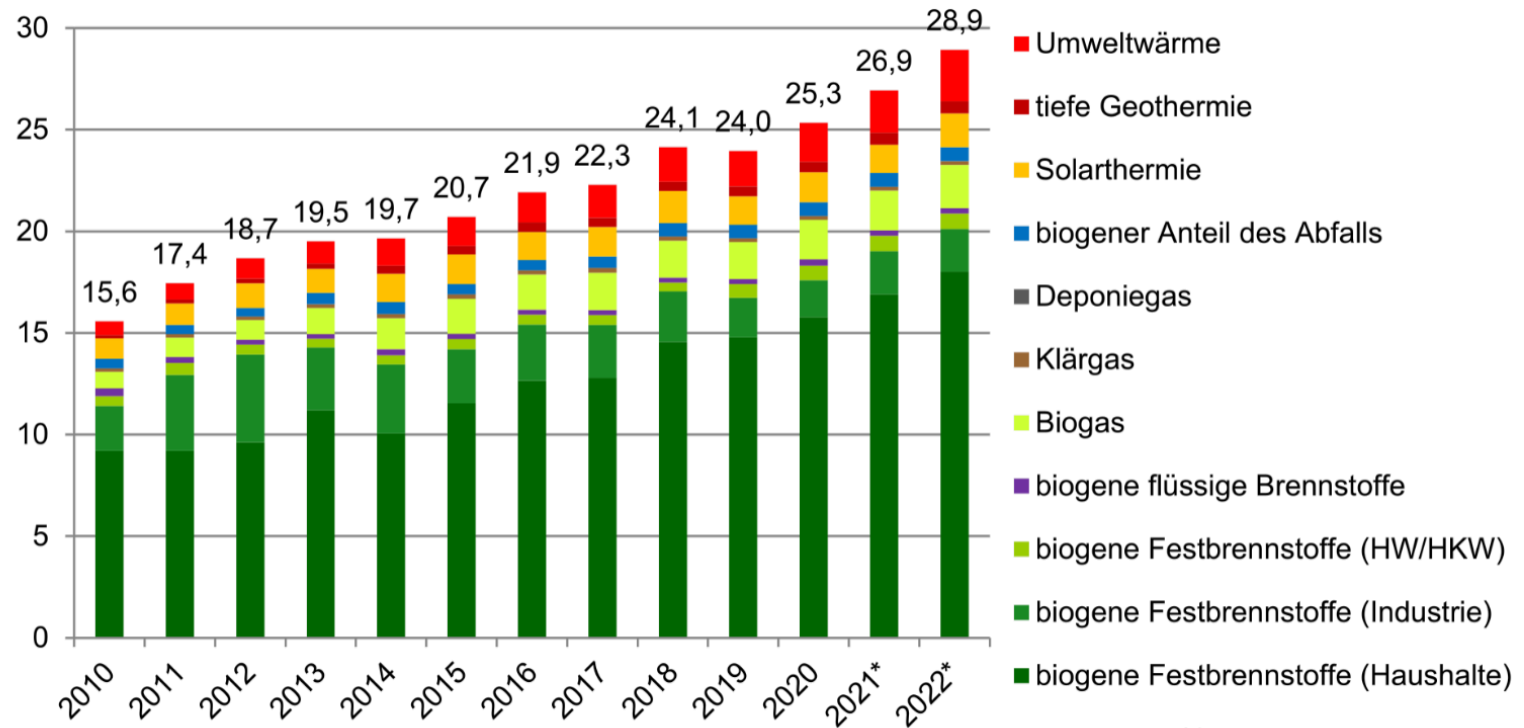
UBA: Erneuerbare Energien
in Zahlen, 2023

Erneuerbare Energien in Bayern – Wärmebereitstellung

Wärmebereitstellung 2021



EE-Anteil am thermischen Endenergieverbrauch in %



- Konventionelle Energieträger
- Biogene Festbrennstoffe
- Biogene Flüssigbrennstoffe
- Biogas
- Klärgas
- Biogener Anteil des Abfalls
- Solarthermie
- Tiefe Geothermie
- Umweltwärme

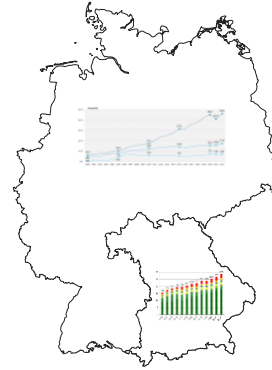
Energie-Atlas Bayern: Geothermie

*Schätzung IE Leipzig

StMWI, Endbericht Energiedaten Bayern, 2023

Gliederung

Wärmeversorgung in De/By – aktueller Stand



Transformation der Wärmeversorgung in Bayern – ein Beispiel



Kommunale Wärmeplanung

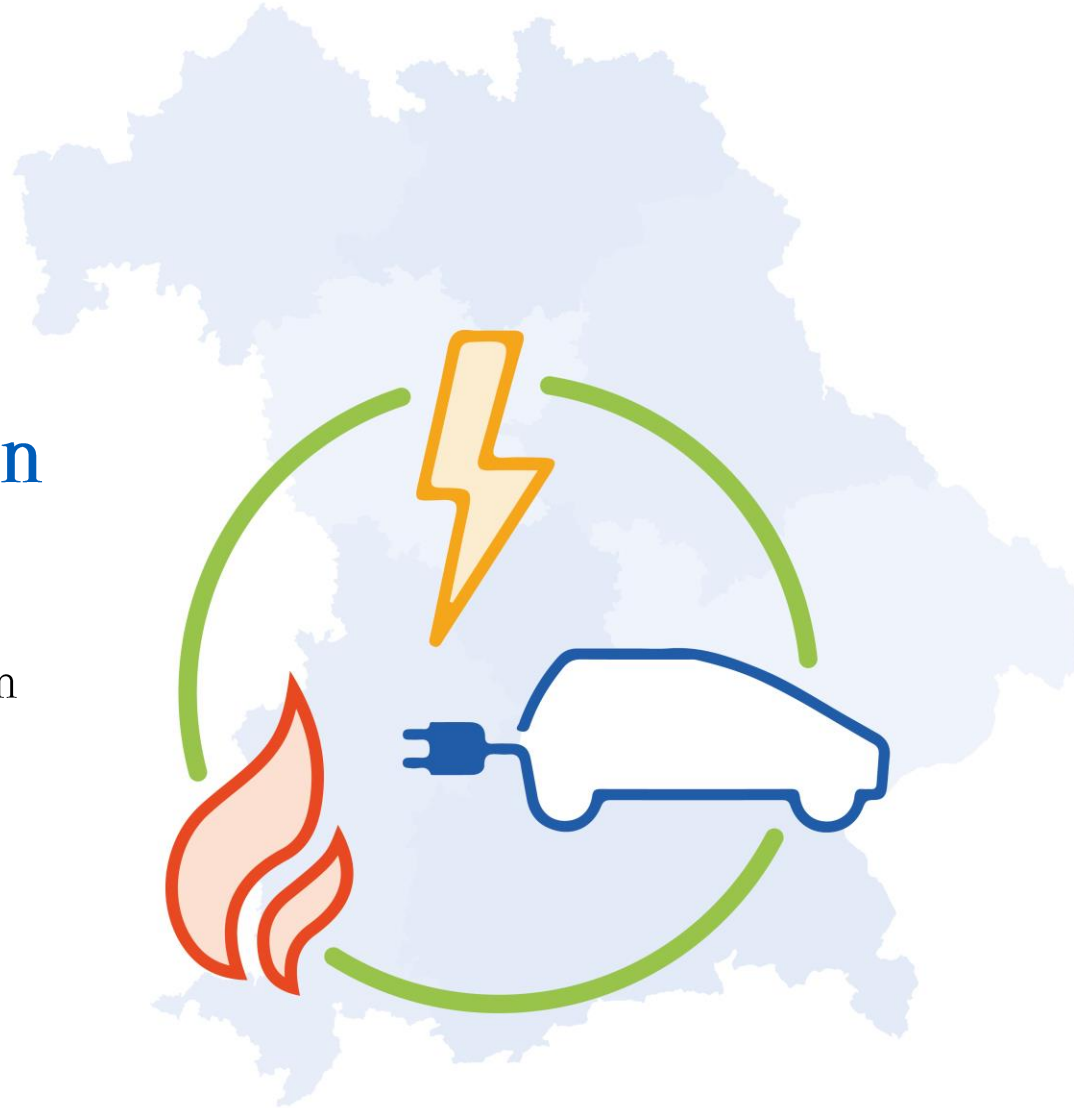


Heizen mit Wasserstoff?

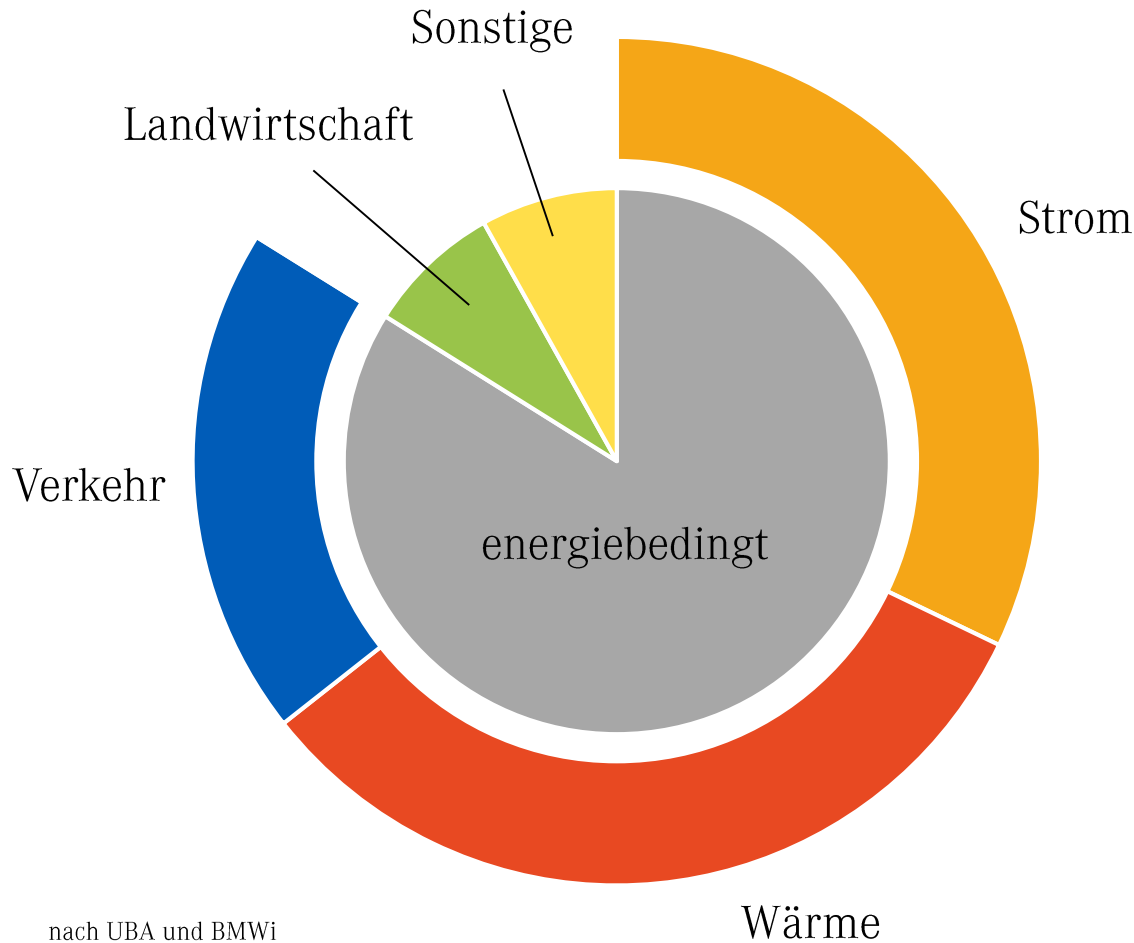


100 % erneuerbare Energien für Bayern

Potentiale und Strukturen
einer Vollversorgung in den Sektoren
Strom, Wärme und Mobilität








Treibhausgasemissionen in Deutschland (2018)



nach UBA und BMWi

- Knapp 85 % aller Treibhausgasemissionen in Deutschland sind energiebedingt
- Studie berücksichtigt diese Sektoren

- Strom 
- Wärme   
- Verkehr 

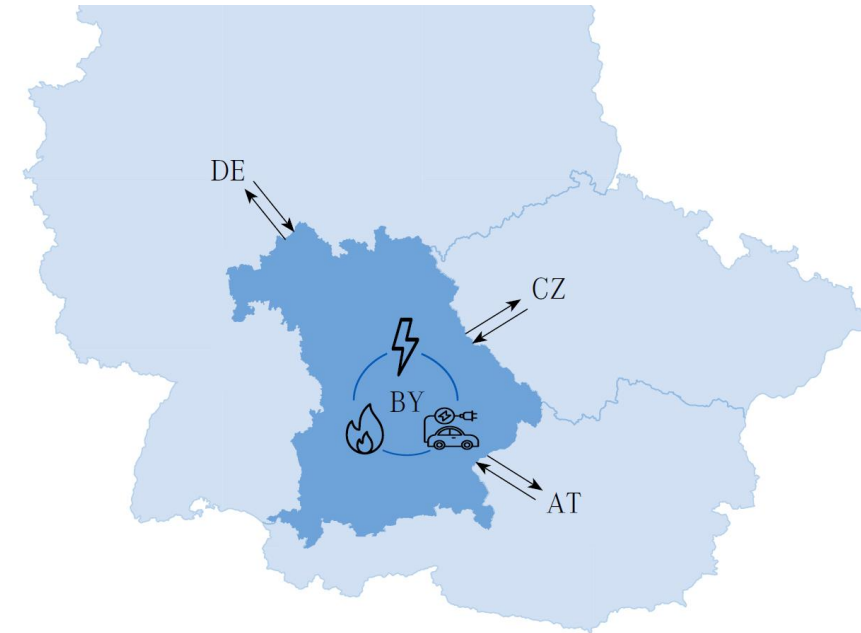
Das Energiesystem-Modell

Ziel:

- vollständig erneuerbare Energieversorgung Bayerns in 2040

Vorgehen:

- Mathematisches Modell mit stündlicher Auflösung des bayerischen Energiesystems und der direkten Nachbarregionen
- Annahmen zu den Kosten, Technologien und Energienachfragen für 2040
- Berechnung verschiedener Szenarien



Betrachtete Sektoren		Annahme für 2040
Strom	Konventionelle Anwendungen	-50 %
Mobilität		Konstant
Wärme	Raumheizung/Brauchwarmwasser	-54 %
	Prozesswärme	-52 %

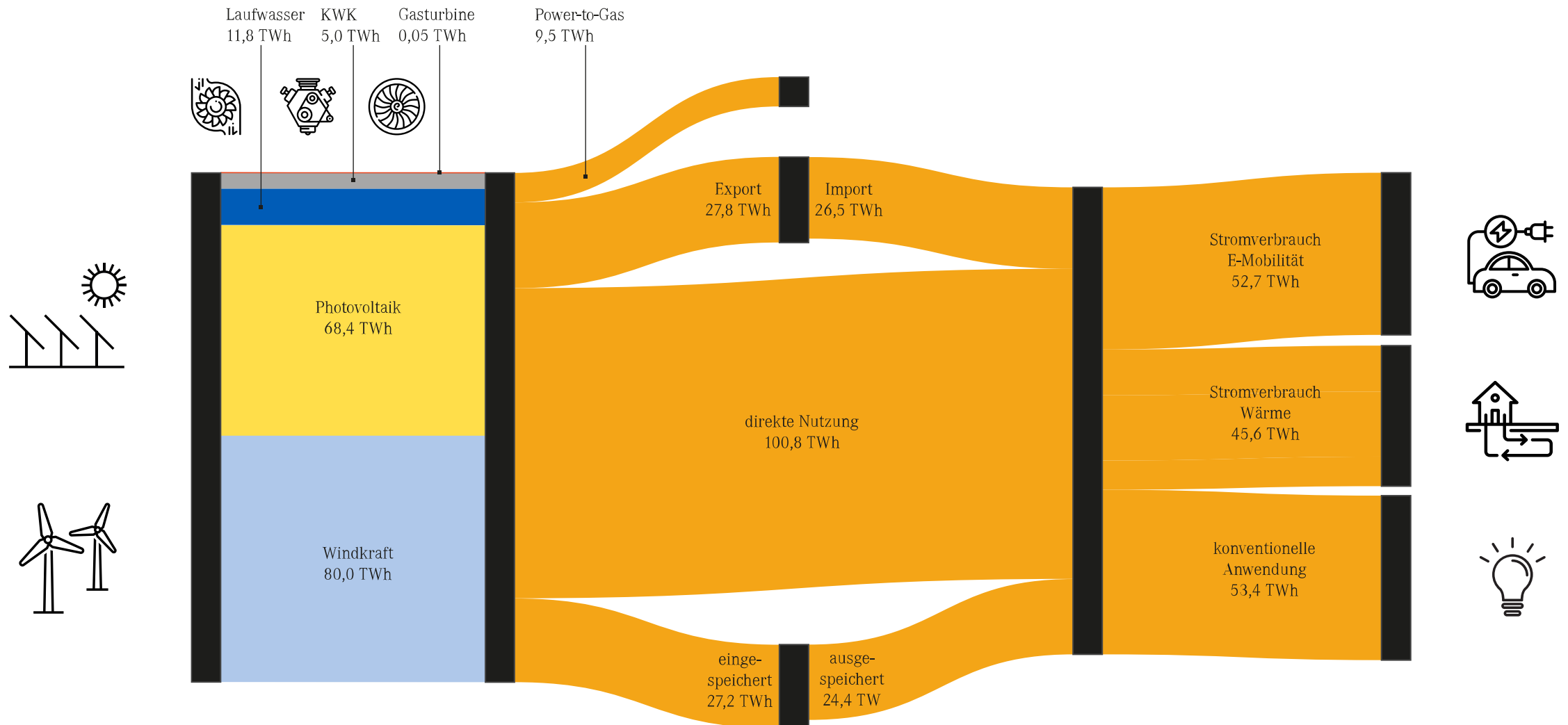
Betrachtete Szenarien

	Basis	Nachbarn konventionell	Inselsystem	Windlimit 15 GW	Synthetische Kraftstoffe
Bayern vollständig erneuerbar versorgt	X	X	X	X	X
EE-Anteil in benachbarten Energiesystemen	80 %	50 %	Kein Stromtausch	80 %	80 %
Stromtausch mit Nachbarn bilanziell ausgeglichen und gedeckelt	X	X	Kein Stromtausch	X	X
Begrenzte installierbare Leistung an Windkraft				15 GW	
Verkehrssektor	Vollelektrisch	Vollelektrisch	Vollelektrisch	Vollelektrisch	Var. Anteil synth. Kraftstoffe

Stromsektor



Übersicht über die Strombereitstellung



Wichtigste Technologien und Stromverbrauch

Wichtigste Technologien

	Installiert	Spezifisch
Windkraft	32,3 GW	1335 $\frac{\text{Einwohner}}{\text{Windanlage}}$
Photovoltaik	66,6 GW	5,1 $\frac{\text{kW}}{\text{Einwohner}}$
Batteriespeicher	105 GWh	8,1 $\frac{\text{kWh}}{\text{Einwohner}}$

Sonstige Erzeugungstechnologien

	Installiert
Biomasse-KWK	1,15 GW
Gas-KWK	2,61 GW
Gasturbine	1,57 GW

Verbrauch

	Verbrauch	Reduktion Endenergie	Anmerkung
Konventionell	53,4 TWh _{el}	50 %	Szenariovorgabe BUND
E-Mobilität	52,7 TWh _{el}	53 %	infolge Elektrifizierung
Wärme	45,6 TWh _{el} (+ Q _{th})	52 bis 54 %	eigene Berechnungen

Wärmesektor

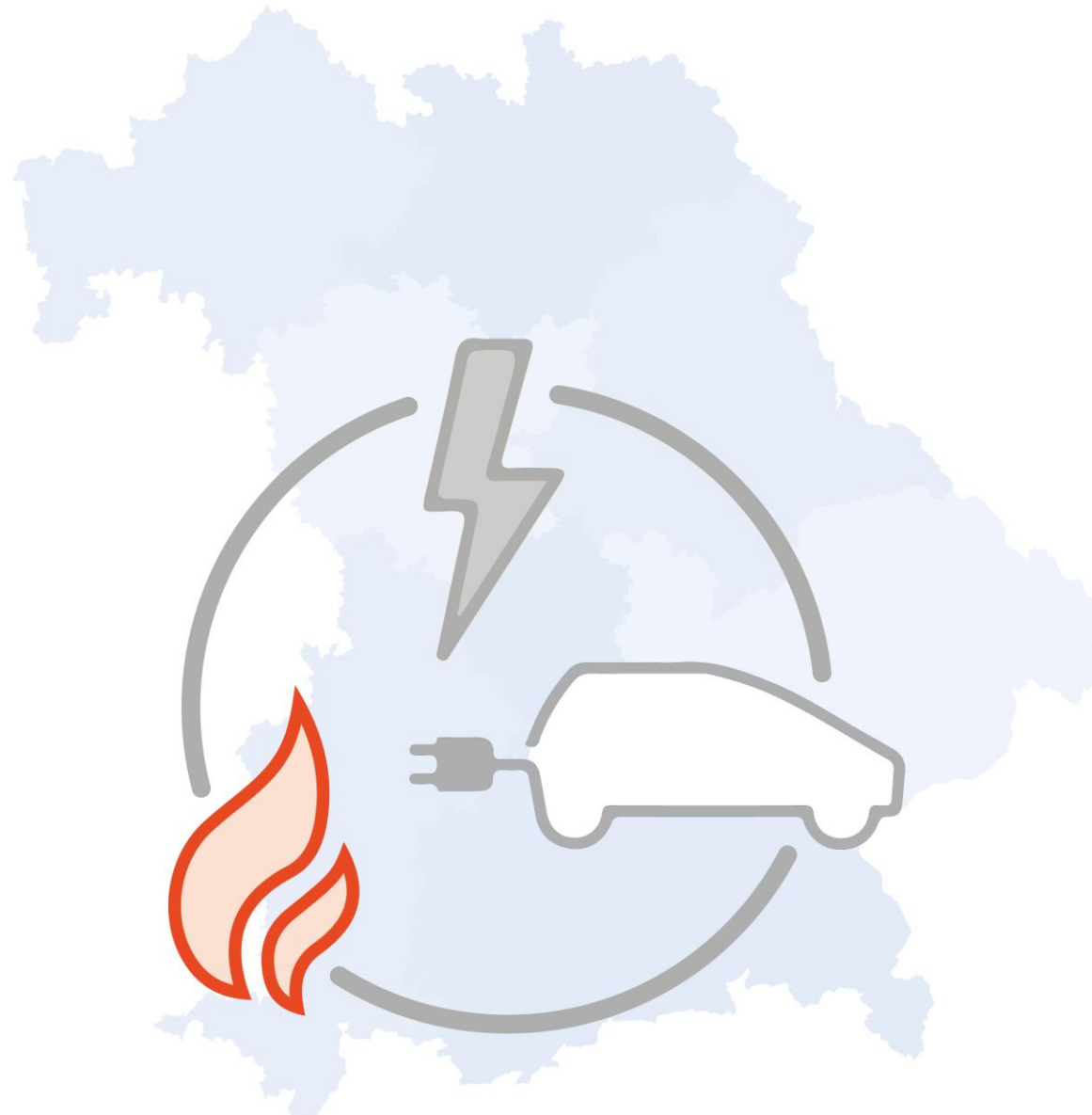


Abbildung des Wärmesektors

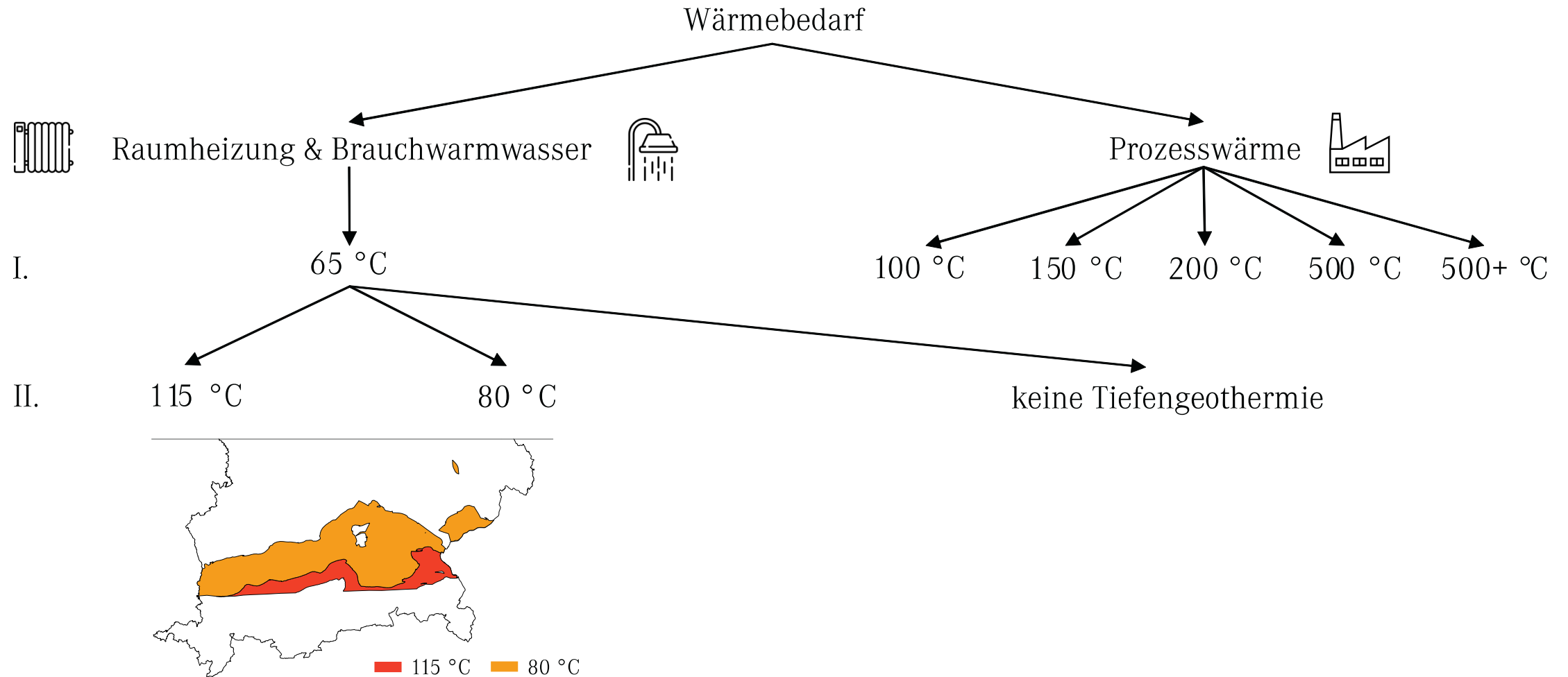


Abbildung des Wärmesektors

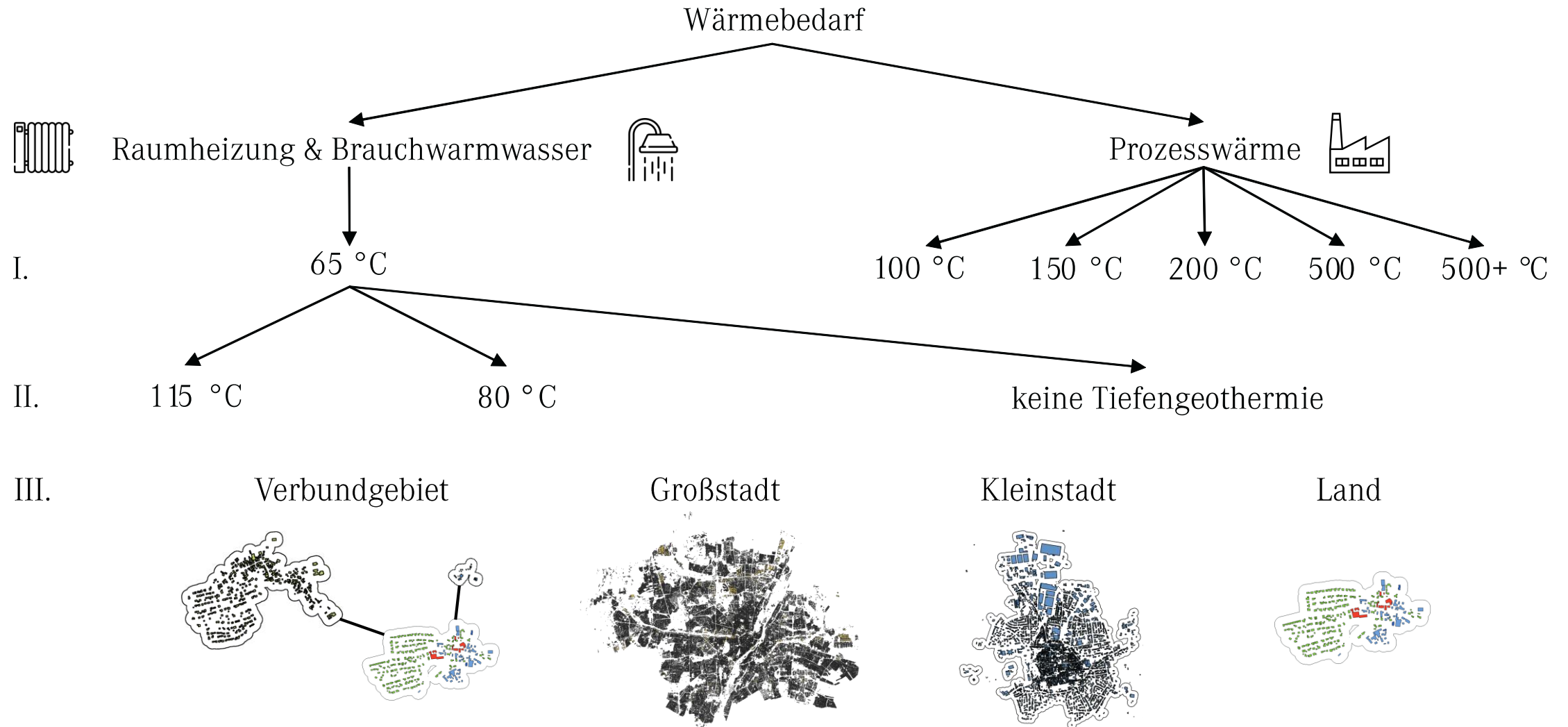
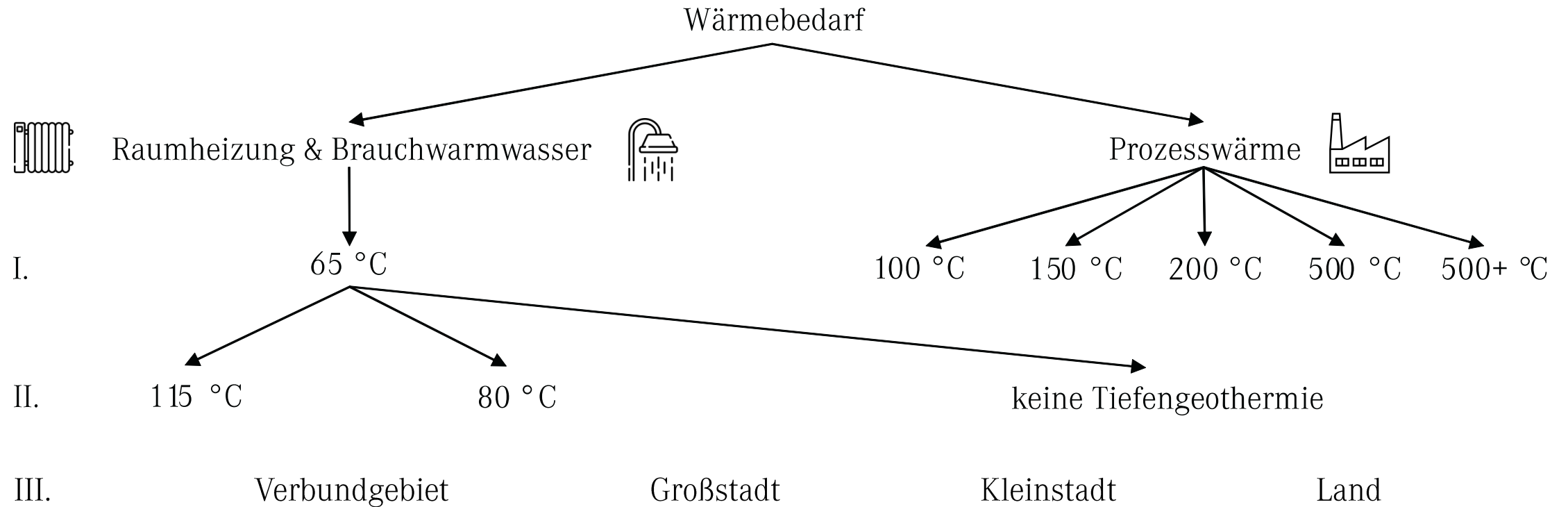


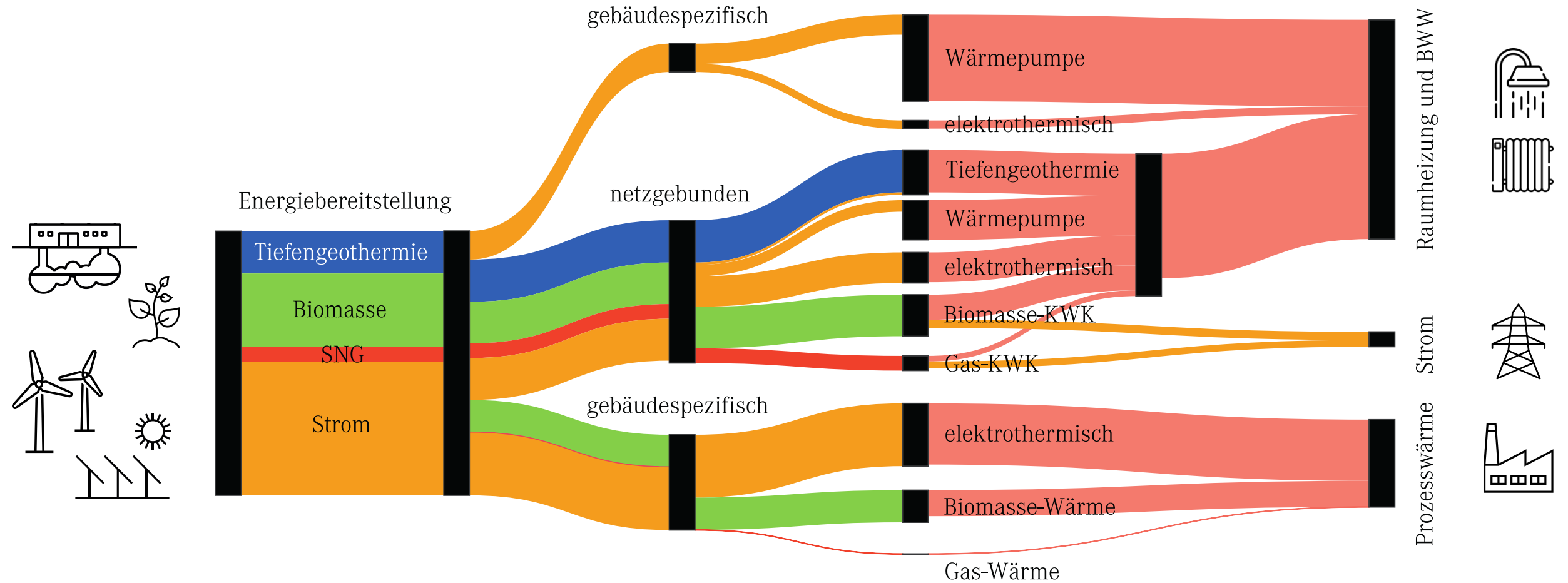
Abbildung des Wärmesektors



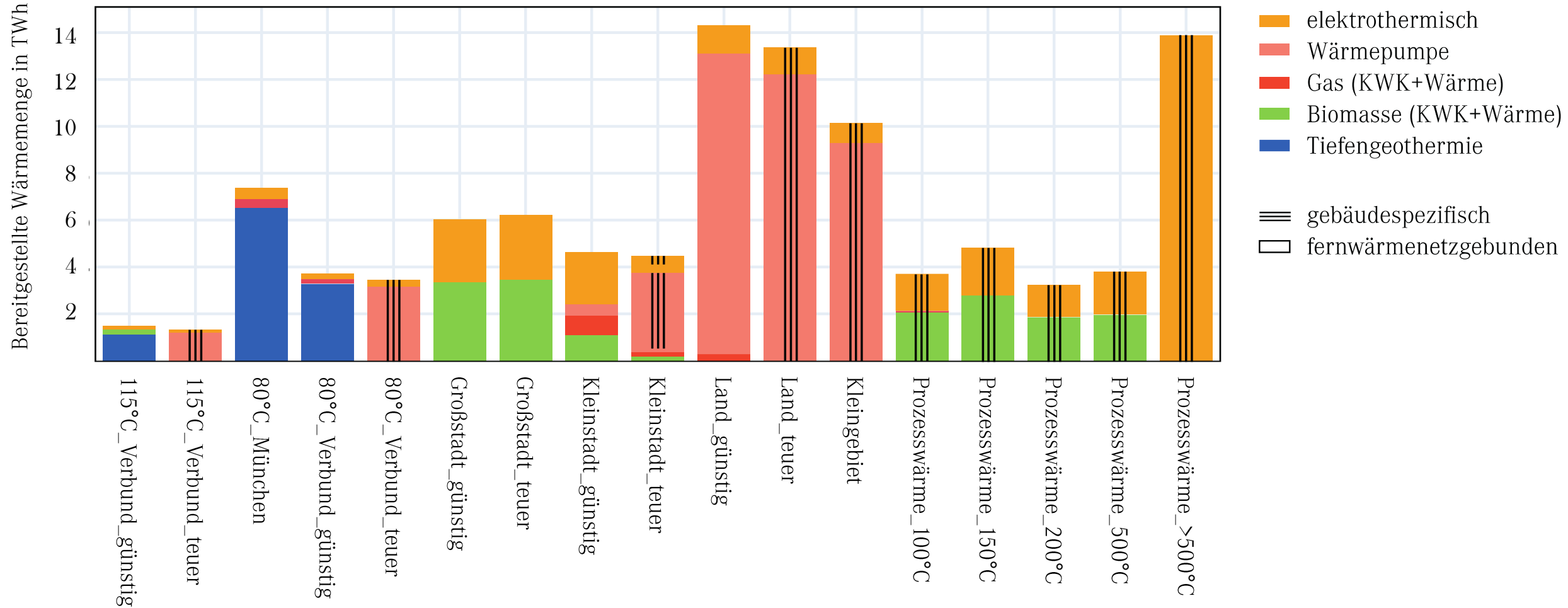
IV. Kosten potentieller Fernwärmenetze



Die bayerische Wärmeversorgung

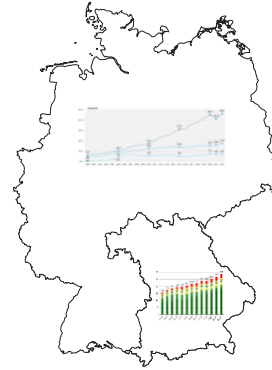


Wärmebereitstellung in den Typgebieten



Gliederung

Wärmeversorgung in De/By – aktueller Stand



Transformation der Wärmeversorgung in Bayern – ein Beispiel



Kommunale Wärmeplanung



Heizen mit Wasserstoff?



Das Wärmeplanungsgesetz

Kommunale Wärmeplanung in Dänemark – seit wann?

1979

→ Anteil der Fernwärmeversorgung in Privathaushalten

DNK
64,5 %

DEU
14 %

Das Wärmeplanungsgesetz

Kabinettsfassung vom 16.08.2023

§1 Ziele des Gesetzes (S. 9)

Zentrales Ziel: Beitrag zu kosteneffizienter, nachhaltiger, sparsamer, bezahlbarer und treibhausgasneutraler Wärmeversorgung bis spätestens 2045

§2 Ziele für die leitungsgebundene Wärmeversorgung (S.9)

- 50 % EE im bundesweiten Mittel ab spätestens 1. Januar 2030, 100 % EE oder unvermeidbarer Abwärme und thermischer Abfallbehandlung oder Kombination bis 31. Dezember 2045
- Deutliche Steigerung der an Wärmenetze angeschlossener Gebäude

§ 3 Begriffsbestimmungen (S. 9)

- Wärmenetzgebiet: Verdichtungs-, Ausbau oder Neubaugebiet
- Wasserstoffnetzgebiet: geplant oder bestehend, vsl. hoher Anteil der Letztverbraucher darüber versorgt
- Gebiet für dezentrale Wärmeversorgung: überwiegend nicht über Wärme- oder Wasserstoffnetz versorgt
- Prüfgebiet: noch unklar oder bspw. überwiegend grünes Methan

Das Wärmeplanungsgesetz

§ 4 Pflicht zur Wärmeplanung (S. 14)

- Gemeinden mit > 100.000 Menschen → bis 30. Juni 2026
- Gemeinden mit < 100.000 Menschen → bis 30. Juni 2028
 - Optional vereinfachtes Verfahren für Gemeinden mit < 10.000 Menschen (Länderverantwortung)

§ 10 Datenverarbeitung zur Aufgabenerfüllung (S.18)

- Endenergieverbräuche nur erheben, wenn keine keine personenbezogenen Daten
→ Aggregation mind. 5 benachbarter Hausnummern oder Messstationen o. Ä.

§ 11 Auskunftspflicht und Form der Auskunftserteilung (S. 19)

- auskunftspflichtig sind Bundes- und Länderbehörden, EVUs und Netzbetreiber, Bezirksschornsteinfeger
- betrifft nur bereits vorliegende Daten
- Keine Erstattung entstehender Kosten, außer bei Bezirksschornsteinfegern
- Nichtübermittlung kann geahndet werden

Das Wärmeplanungsgesetz

§13 Bestandteile und Ablauf der Wärmeplanung (S.21)

- Eignungsprüfung
- Bestandsanalyse
- Potenzialanalyse
- Entwicklung und Beschreibung eines Zielszenarios
- Einteilung in Wärmeversorgungsgebiete sowie Darstellung der Versorgungsoptionen
- Entwicklung einer Umsetzungsstrategie

§ 14 Eignungsprüfung und verkürzte Wärmeplanung (S.22)

- Vorprüfung von Gebieten, die sehr wahrscheinlich ungeeignet für Versorgung über ein Wärme-/ Wasserstoffnetz
 - **Ausschlussgründe für Wärmenetz:**
bisher kein Wärmenetz vorhanden und zukünftig aufgrund Siedlungsstruktur (→Wärmebedarf) vmtl. unwirtschaftlich
 - **Ausschlussgründe für Wasserstoffnetz:**
bisher kein Gasnetz vorhanden oder zukünftig aufgrund räumlicher Lage, Abnehmerstruktur vmtl. unwirtschaftlich

Das Wärmeplanungsgesetz

§15 Bestandsanalyse (S. 23; Anlage 1, S. 36)

- Für Einteilung in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete werden ermittelt:
 - derzeitiger Wärmebedarf und-verbrauch einschl. eingesetzter Energieträger
 - vorhandene Wärmeerzeugungsanlagen
 - für Wärmeversorgung relevante Energieinfrastrukturen
- Planungsverantwortliche Stelle ist berechtigt nachfolgende Daten zu erheben (MFH: gebäudescharf; EFH: mind. 5):
 - Gas- oder Wärmeverbräuche, falls an Gas- oder Wärmenetz angeschlossen
 - Daten zu dezentralen Wärmeerzeugungsanlagen (Art, Energieträger, Jahr der Inbetriebnahme, thermische Leistung)
 - Informationen zum Gebäude (Lage, Nutzung, Nutzfläche, Baujahr)
 - Daten zur Ermittlung industrieller Verbräuche und Abwärme-Potenziale
 - Daten zu bestehenden und bereits geplanten Wärmenetzen, Gasnetzen, Stromnetzen und Abwassernetzen
 - Daten zu Wärmeerzeugern

§ 16 Potenzialanalyse (S. 23)

- Potenzialabschätzung der Wärmeerzeugung aus EE, aus unvermeidbarer Abwärme und der zentralen Wärmespeicherung
- Schätzung der Einsparpotenziale durch Wärmebedarfsreduktion in Gebäuden sowie industriellen und gewerblichen Prozessen

Das Wärmeplanungsgesetz

§ 17 Zielszenario (S. 23)

- basierend auf Eignungsprüfung (§ 14), der Bestands- und Potenzialanalyse (§ 15/16) und unter Berücksichtigung der Einteilung in Wärmeversorgungsgebiete (§ 18)
- mehrere potenzielle Szenarien → ein Zielszenario

§ 18 Einteilung des beplanten Gebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete (S. 24)

- basierend auf Wirtschaftlichkeitsvergleichen werden Arten der Wärmeversorgung festgelegt
- Kriterien bei der Wahl der Versorgungsart:
 - geringe Wärmegestehungskosten
 - geringe Realisierungsrisiken
 - hohes Maß an Versorgungssicherheit
 - geringe kumulierte Treibhausgasemissionen bis zum Zieljahr
- anzugeben für 2030, 2035 und 2040 & aus Einteilung entsteht keine Pflicht zur Nutzung

Das Wärmeplanungsgesetz

§ 29 Anteil erneuerbarer Energien in bestehenden Wärmenetzen (S. 30)

- Anteile Erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme in bestehenden Wärmenetzen:
 - ab 1. Januar 2030: mindestens 30 %
 - ab 1. Januar 2040: mindestens 80 %

§ 30 Anteil erneuerbarer Energien in neuen Wärmenetzen (S. 32)

- ab 1. Januar 2024: mindestens 65 % EE oder unvermeidbare Abwärme
- Begrenzung der Biomasse-Anteile auf max. 35 % bei 20 – 50 km FWN und max. 25 % bei > 50 km FWN
- thermische Abfallbehandlung keine erneuerbare Energiequelle

§ 31 Vollständige Klimaneutralität in Wärmenetzen bis zum Jahr 2045 (S. 32)

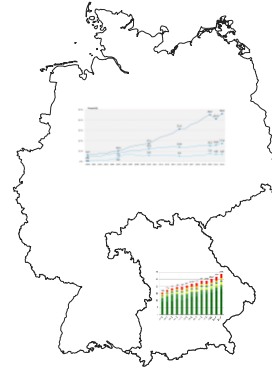
- bis 31. Dezember 2044: 100 % EE oder unvermeidbare Abwärme
- Begrenzung der Biomasse-Anteile auf max. 25 % bei 20 – 50 km FWN und max. 15 % bei > 50 km FWN

§ 32 Verpflichtung zur Erstellung von Transformations- und Dekarbonisierungsausbauplänen (S. 33)

- bis 31.12.2026: Wärmenetzbetreiber müssen Transformations- und Wärmenetzausbauplan vorlegen (Veröffentlichung auf website)
- Gilt nicht für Wärmenetze mit einer Gesamtläng < 1 km

Gliederung

Wärmeversorgung in De/By – aktueller Stand



Transformation der Wärmeversorgung in Bayern – ein Beispiel



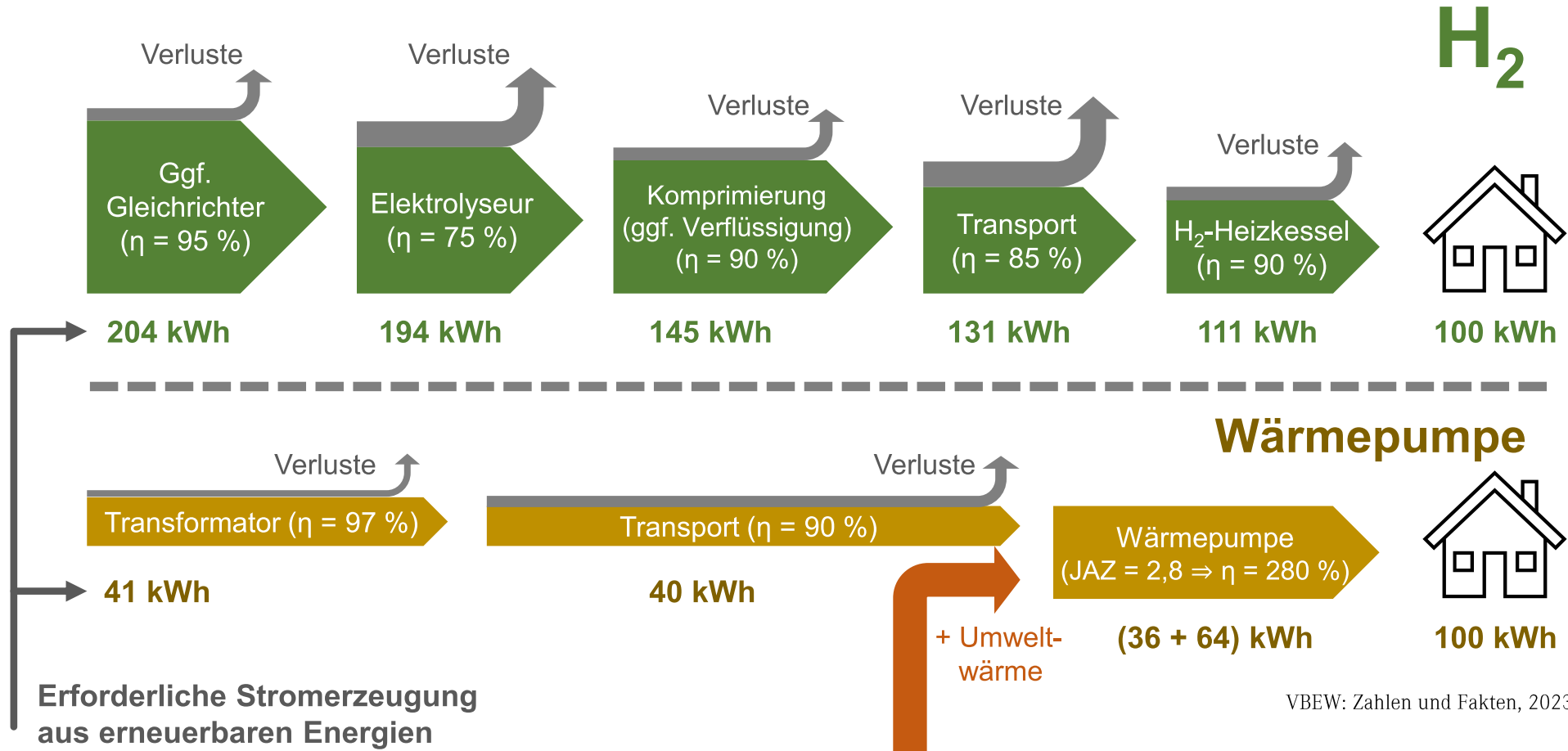
Kommunale Wärmeplanung



Heizen mit Wasserstoff?

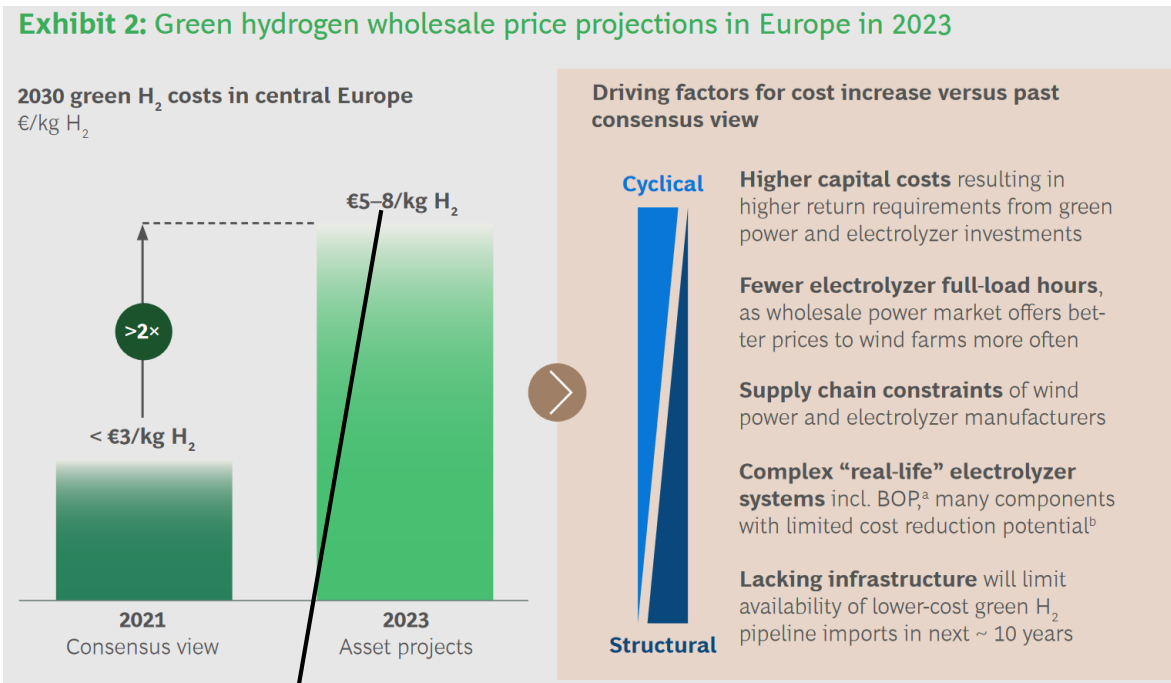


Wärmebereitstellung mittels H₂ vs. Wärmepumpe



Prognostizierte Kosten für Wasserstoff

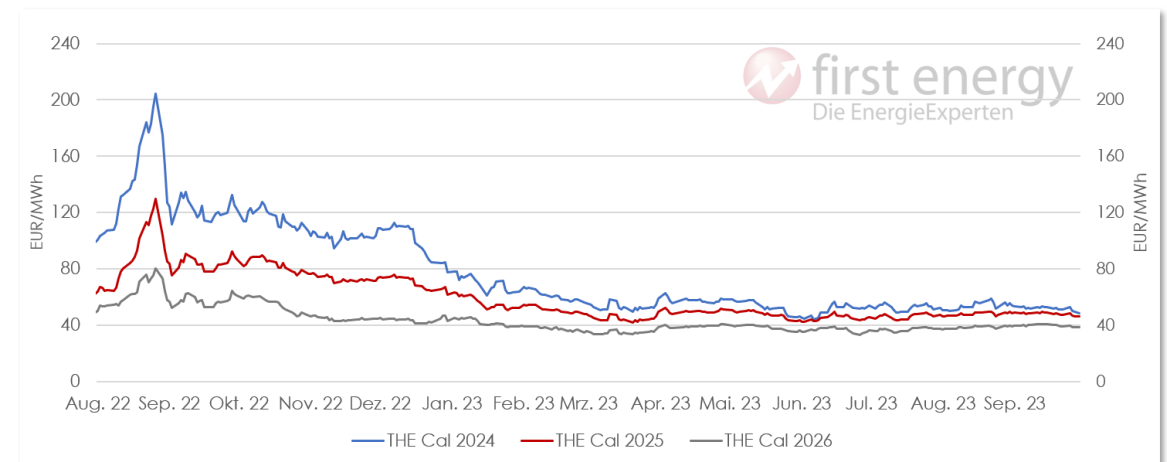
Preisprognosen für grünen Wasserstoff



165 – 265 €/MWh_{LHV}

Turning the European Green Hydrogen Dream into Reality, Boston Consulting Group, Okt. 2023

Gaspreisentwicklung (EEX-THE-Jahreskontrakte)



First energy, Sept. 2023

Kommunale Wärmeplanung am LES

Energetische Quartiersoptimierung mit detaillierter Abbildung des Wärmesektors

Motivation:

Bei der Planung nachhaltiger Energiesysteme für Quartiere mit einem hohen Anteil volatiler Erneuerbarer Energien stoßen konventionelle Methoden an Grenzen.

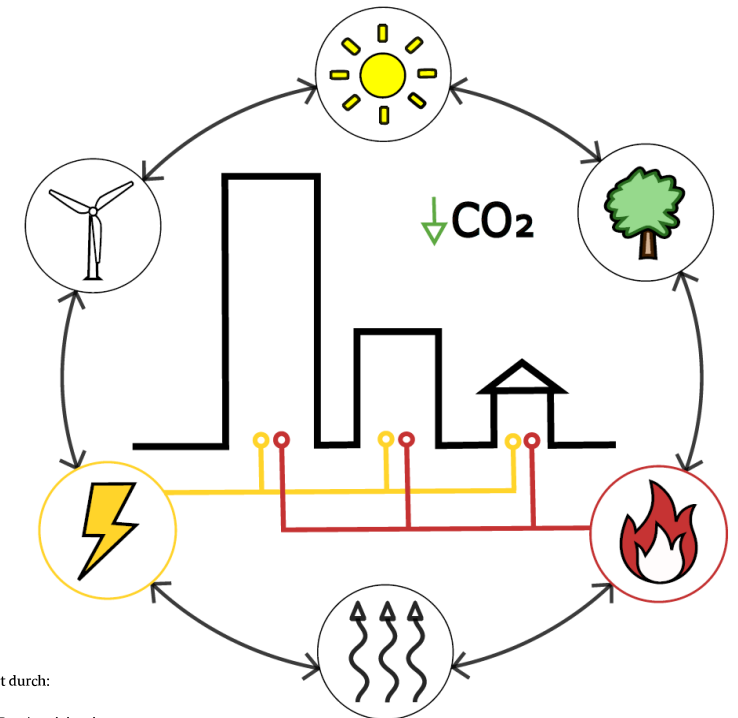
Forschungsfokus:

- Detaillierte, sektorenggekoppelte Modellierung des Wärmesektors
- Entwicklung neuer Optimierungsmethodiken
- Anwendung und Validierung an realen Anwendungsgebieten

Projektinfos:

- Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- Laufzeit von 02/2022 – 02/2026

Projektbeteiligte:



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Heat²Q

Anhang

Weiterführende Informationen zu Wärmepumpen

- Planungsleitfaden von Prof. Werner Schenk
<https://www.youtube.com/watch?v=4zAttQNeL5w>
- Projektabschlussbericht „Wärmepumpen in Bestandsgebäuden“ vom Fraunhofer ISE
https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf