

CleanTechCampus Garching

Transformationspfade der Energieversorgung

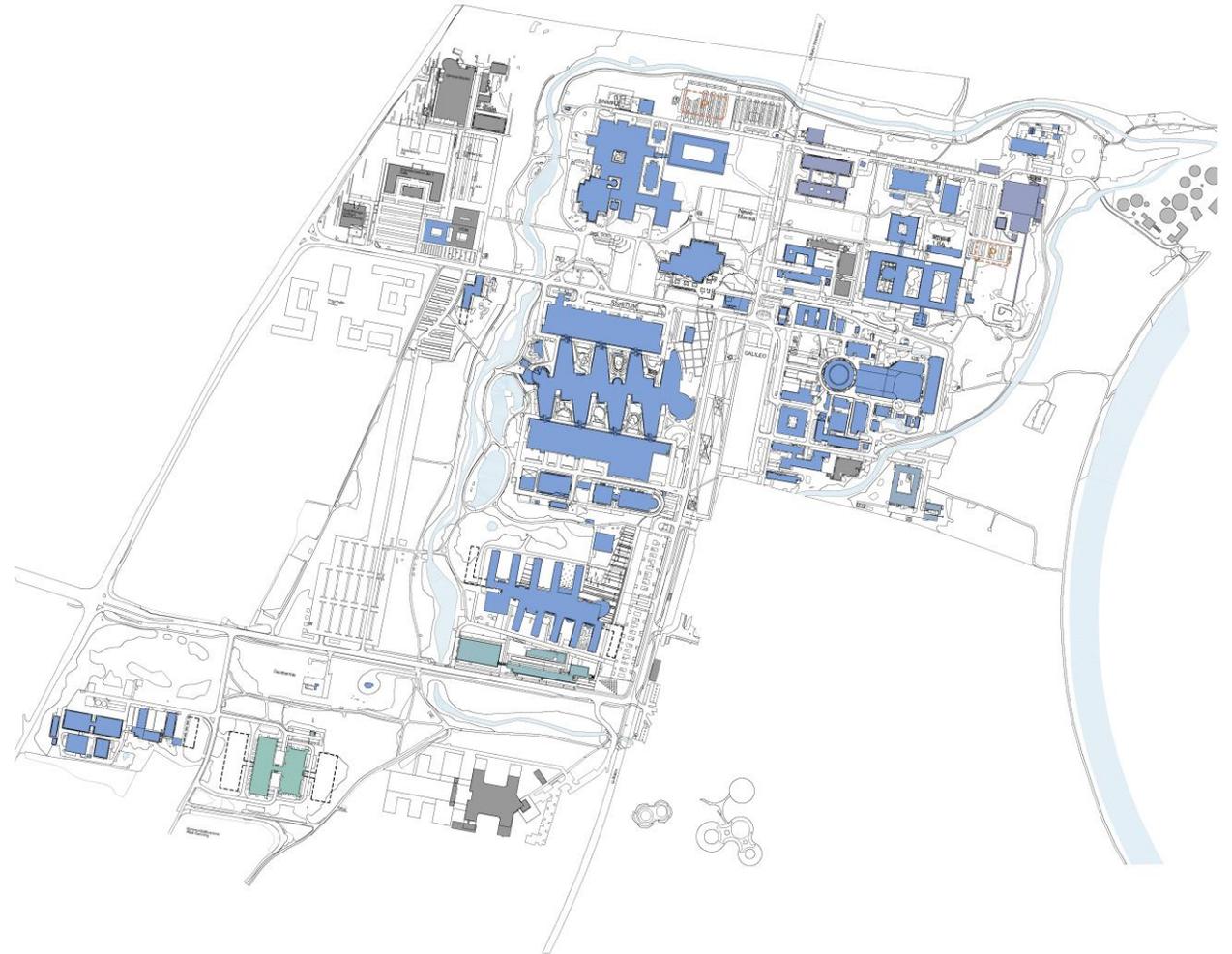
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff (Vortragender)

Benedikt Schweiger

Dr.-Ing. Annelies Vandersickel

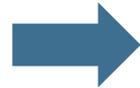
Lehrstuhl für Energiesysteme

25. Mai 2021

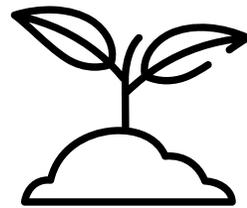


Historische Entwicklung

Cheng Cycle
Inbetriebnahme 1996



CleanTechCampus
Seedfunding



CleanTechCampus
als Wegbereiter ...

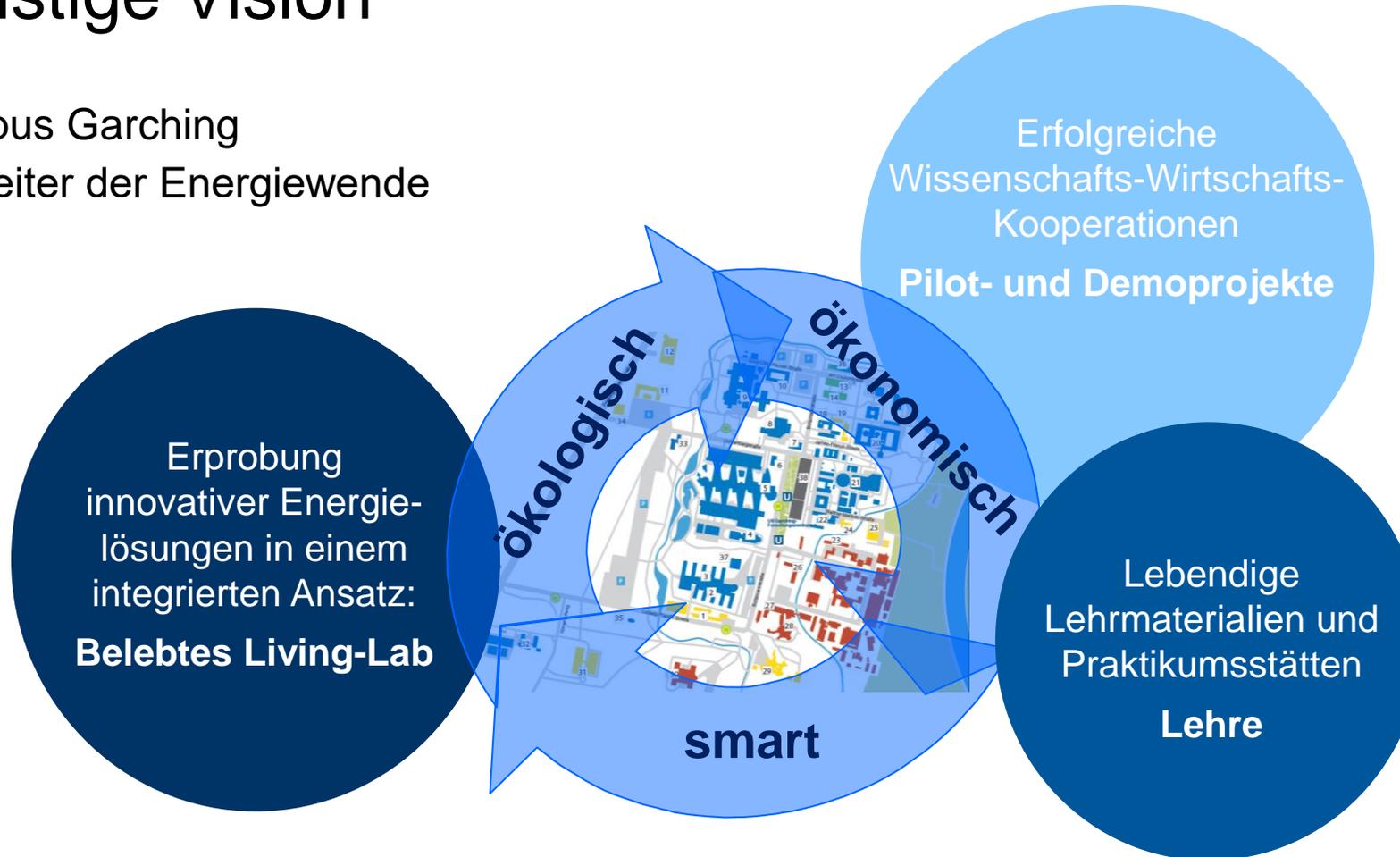


... für eine nachhaltige
Energieversorgung des
TUM Campus in Garching



Langfristige Vision

TUM Campus Garching
... als Vorreiter der Energiewende



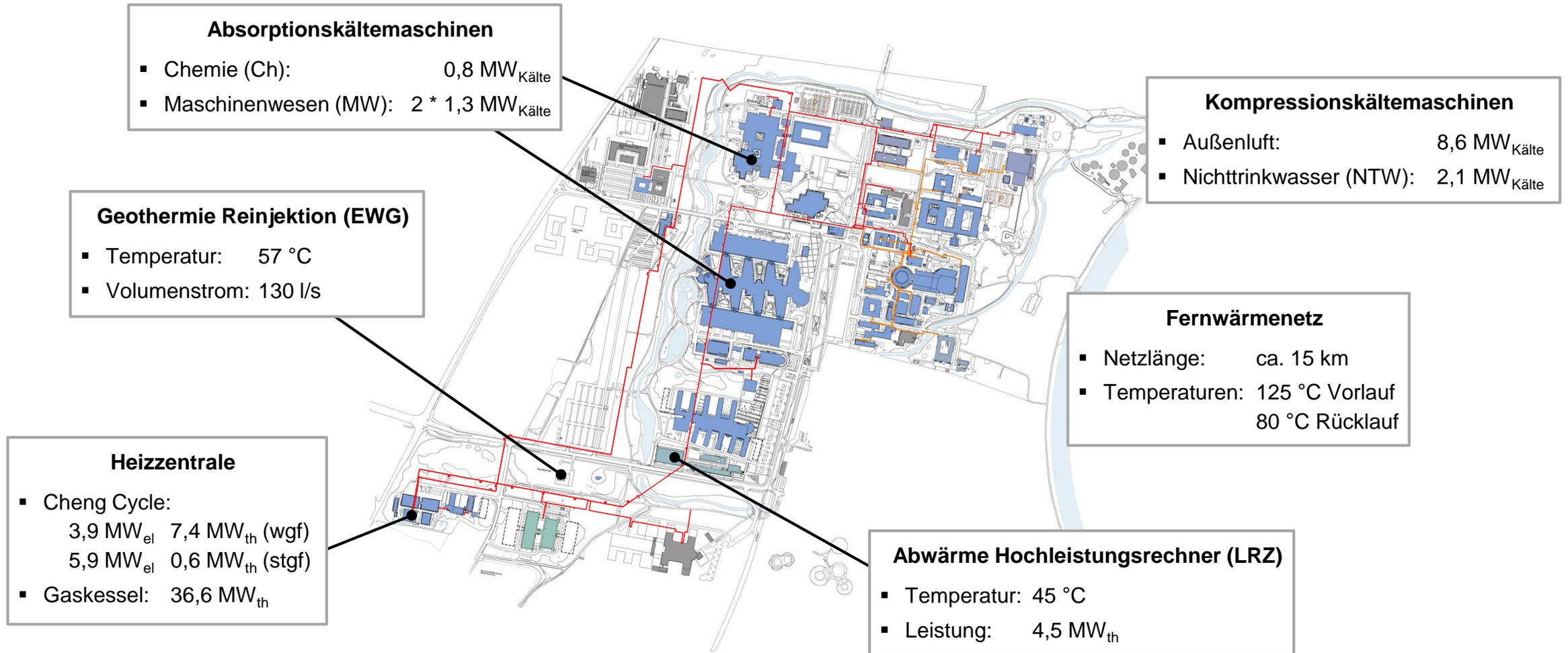
Intelligent gesteuerte Energienetze, Energiewandlungsanlagen, Speicher und Gebäude mit Andockungsmöglichkeiten für Forschungsinstitute

TUM Campus Garching in Zahlen



| | 2017 | 2040 |
|---|---|------------------------|
|  | 16.000 Studierende 3.500 Mitarbeiter | + 80 % |
|  | 400.000 m ² NGF Campus West ab 2022 | 750.000 m ² |
|  | 70 GWh | + 60 % |
|  | 65 GWh | + 20 % |
|  | 15 GWh | + 100 % |

Energieversorgungssystem in Zahlen – Ausgangslage



Daten, Modelle

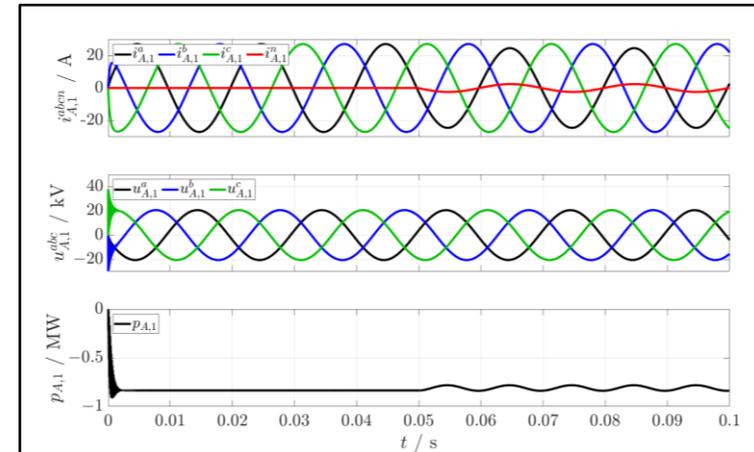
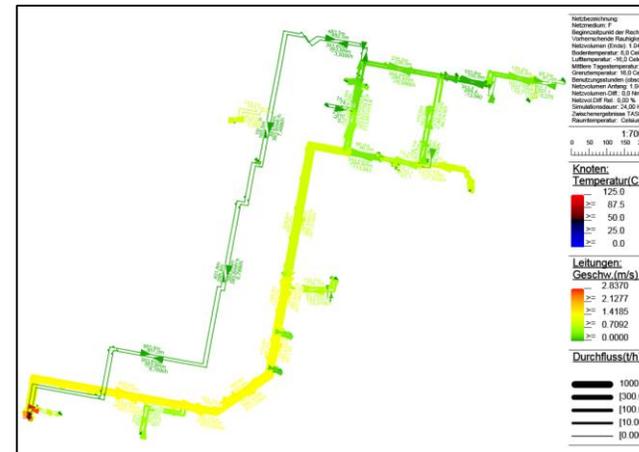
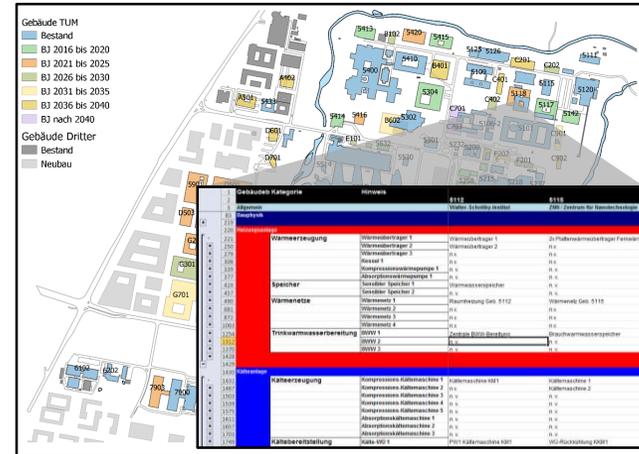
Daten & Modelle des Campus

GIS-Datenbank mit Gebäudebestand & -technik

BIM-Modelle von Kerngebäuden

Hydraulik-Modelle von Fernwärmenetzen

Modelle zur Untersuchung der elektrischen Netzstabilität und -qualität



Daten, Modelle, Bedarfsprognosen

Daten & Modelle des Campus

GIS-Datenbank mit
Gebäudebestand & -technik

BIM-Modelle von
Kerngebäuden

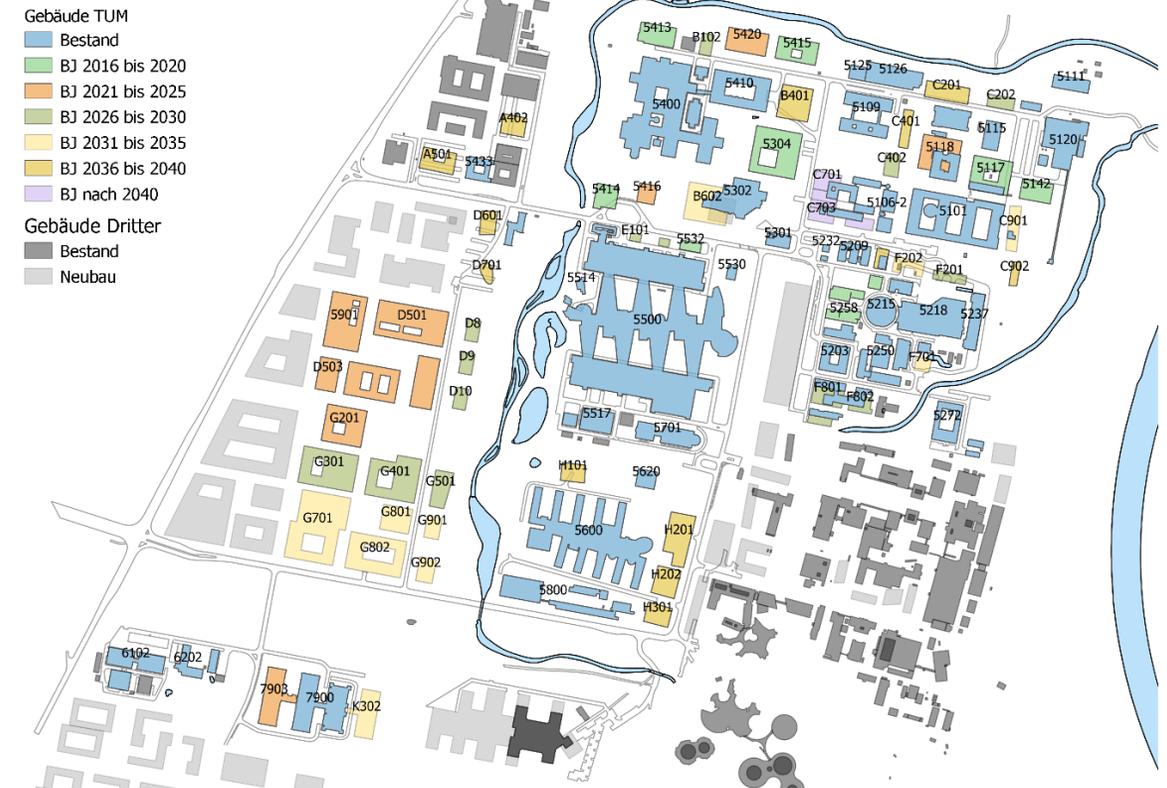
Hydraulik-Modelle von
Fernwärmenetzen

Modelle zur Untersuchung
der elektrischen Netz-
stabilität und -qualität

Prognosen für Strom-, Wärme- und Kälte- bedarf bis 2040

Analyse historischer
Verbräuche ergänzt mit
mobilen Messungen & BIM-
Simulationen

Analyse baulicher und
personeller Entwicklung



Daten, Modelle, Bedarfsprognosen

Daten & Modelle des Campus

GIS-Datenbank mit Gebäudebestand & -technik

BIM-Modelle von Kerngebäuden

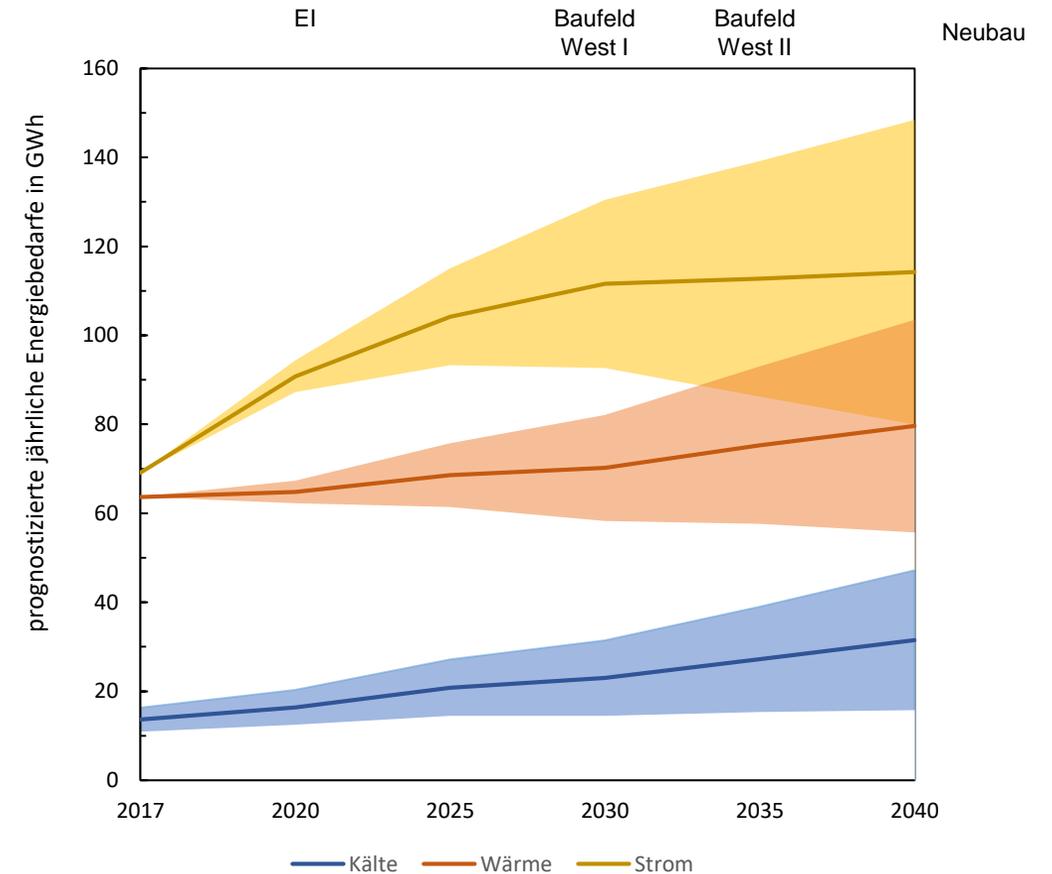
Hydraulik-Modelle von Fernwärmenetzen

Modelle zur Untersuchung der elektrischen Netzstabilität und -qualität

Prognosen für Strom-, Wärme- und Kältebedarf bis 2040

Analyse historischer Verbräuche ergänzt mit mobilen Messungen & BIM-Simulationen

Analyse baulicher und personeller Entwicklung



Daten, Modelle, Bedarfsprognosen & Optimierung

Daten & Modelle des Campus

GIS-Datenbank mit Gebäudebestand & -technik

BIM-Modelle von Kerngebäuden

Hydraulik-Modelle von Fernwärmenetzen

Modelle zur Untersuchung der elektrischen Netzstabilität und -qualität

Prognosen für Strom-, Wärme- und Kältebedarf bis 2040

Analyse historischer Verbräuche ergänzt mit mobilen Messungen & BIM-Simulationen

Analyse baulicher und personeller Entwicklung

Sektorengekoppelte Energiesystemoptimierungen

5-jährige Ausbaustufen bis 2040 unter Berücksichtigung von:

- Energiepolitischen Rahmenbedingungen
- Kostenentwicklungen
- strategischen Entscheidungen, wie bspw.
 - Absenkung der Netztemperaturen
 - Lebensdauer des Cheng Cycles

→ **Transformationspfade**

Energiesystemoptimierung

Energiequellen

- Importe aus Strom- und Gasnetz
- Erneuerbare Energien

Technologien

- Wirkungsgrad, Kosten, Leistungsgrenzen
- CO₂-Emissionen

Energiebedarfe

- Stündliche Jahreslastgänge von Strom, Wärme & Kälte

- Bestandsanlagen
 - Gaskessel
 - Cheng-Cycle (KWK)
- Biomasse:
 - Heizwerk
 - ORC-Turbine (KWK)
 - Vergasung mit Gasmotor (KWK)
- Wärmepumpen: (Abwärme Irz bzw. EWG)
 - Gasgefeuert
 - Kompression
 - Hochtemperatur
- Gasmotoren (KWK)
 - Heißgekühlt
 - Standardausführung
- Gasmotoren-KWKK-Anlage Maschinenwesen
- Heizstäbe
- Photovoltaik
 - Ost-West 10°
 - Süd 30°
- Kälte:
 - Kompression (Bestand & neu)
 - Absorption (Bestand & neu)
- Elektrische Energiespeicher
 - Bleisäure
 - Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium
 - Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid
 - Lithiumtitanat
 - Natriumschwefel
 - Vanadium-Redox
 - Zinkbromid
- Thermische Energiespeicher
 - 2-Zonen-Stahltank
 - Druckloser Stahltank

Energiesystemoptimierung

Energiequellen

- Importe aus Strom- und Gasnetz
- Erneuerbare Energien

Technologien

- Wirkungsgrad, Kosten, Leistungsgrenzen
- CO₂-Emissionen

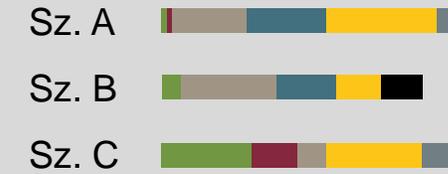
Energiebedarfe

- Stündliche Jahreslastgänge von Strom, Wärme & Kälte

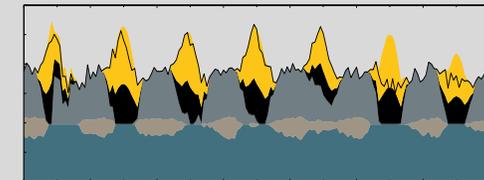
Optimierung des Energiesystems

- Sektorengespeist
- Intertemporal
- Durchgängige Deckung der Bedarfe
- Zielfunktion: Minimierung der Gesamtkosten

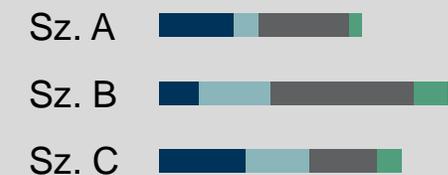
Technologiepark



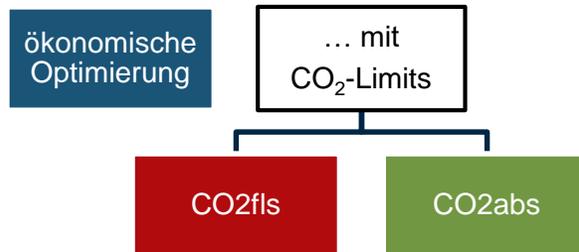
Versorgungslastgänge



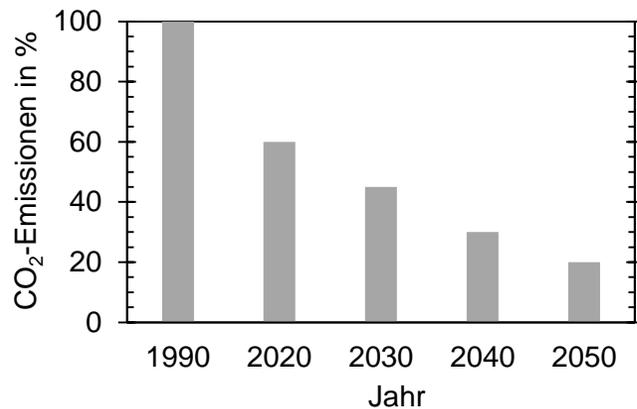
Kosten



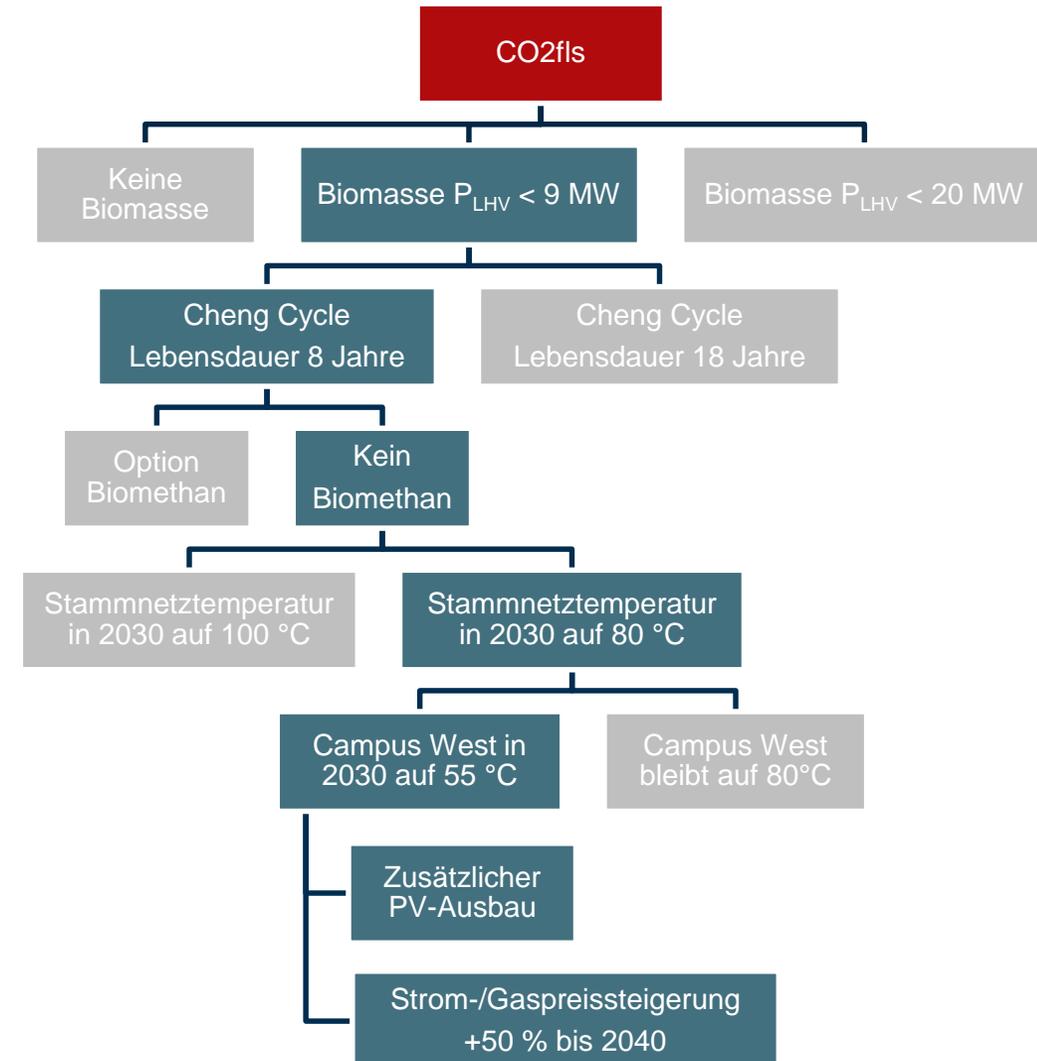
Betrachtete Szenarien



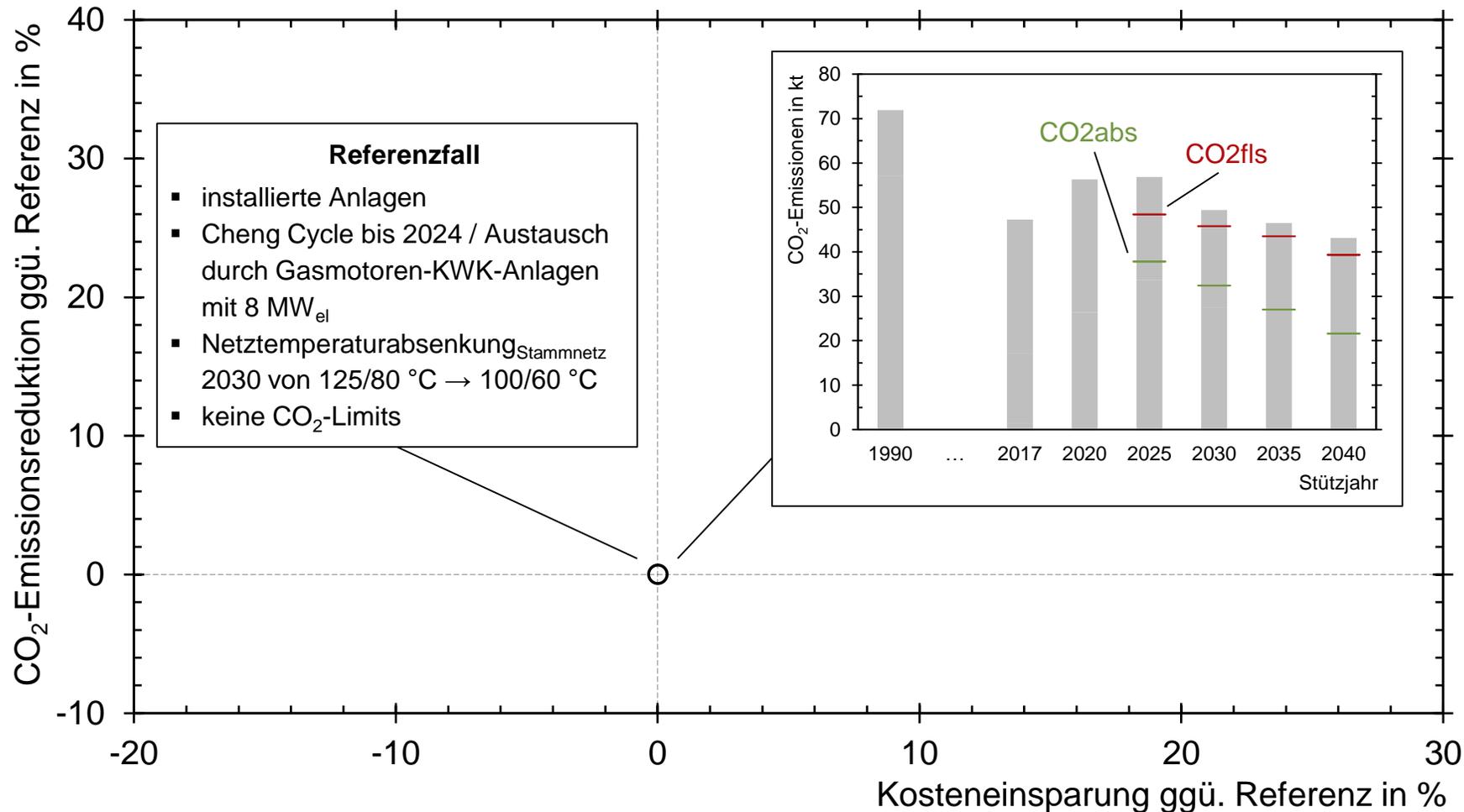
CO₂-Emissionsreduktionsziele Bundesregierung



- **CO2fls**: Berücksichtigung des zukünftigen Flächenzubaues (flächenspezifisch)
- **CO2abs**: Ziele der BRD ohne Berücksichtigung ... (absolut)

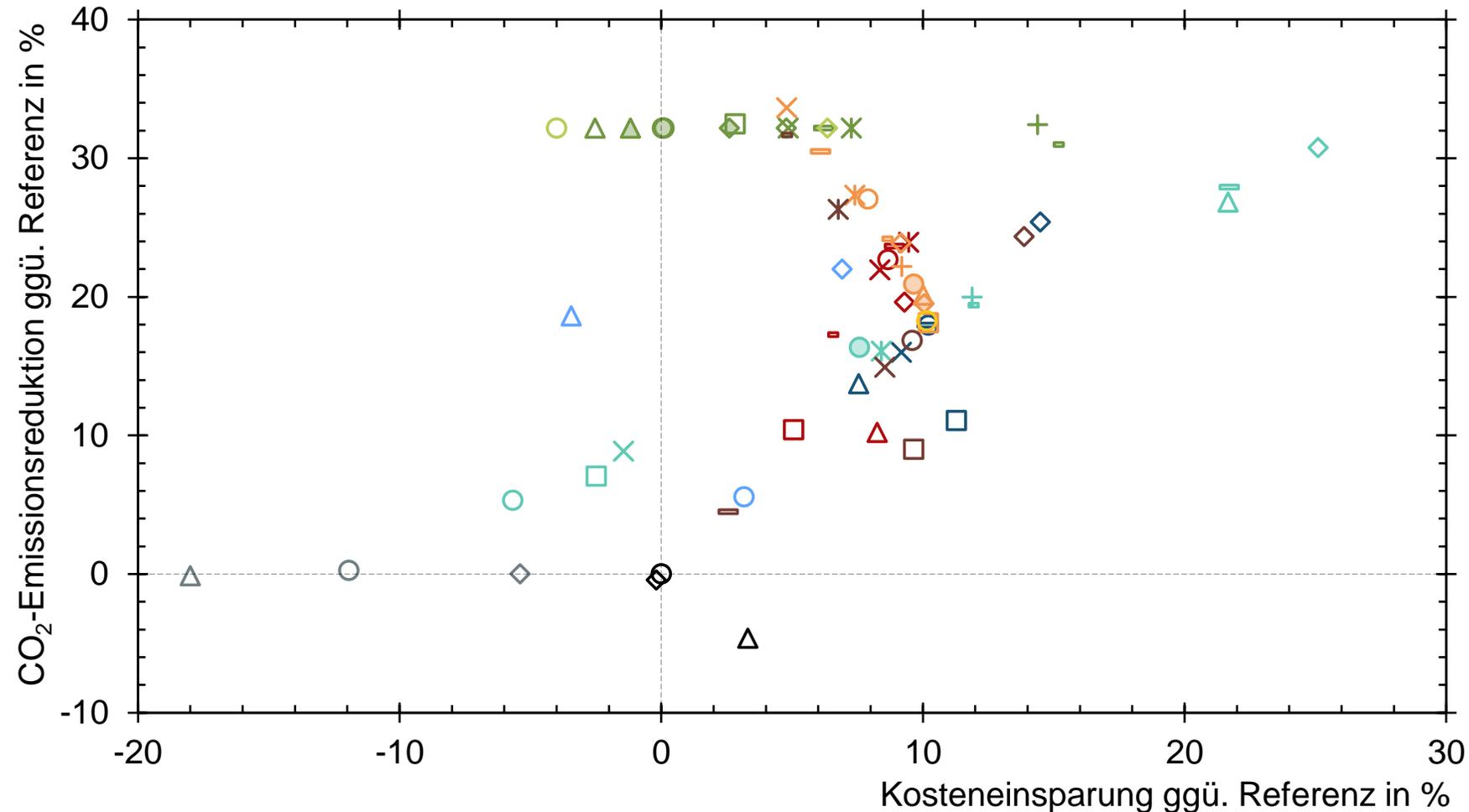


Szenarienübersicht



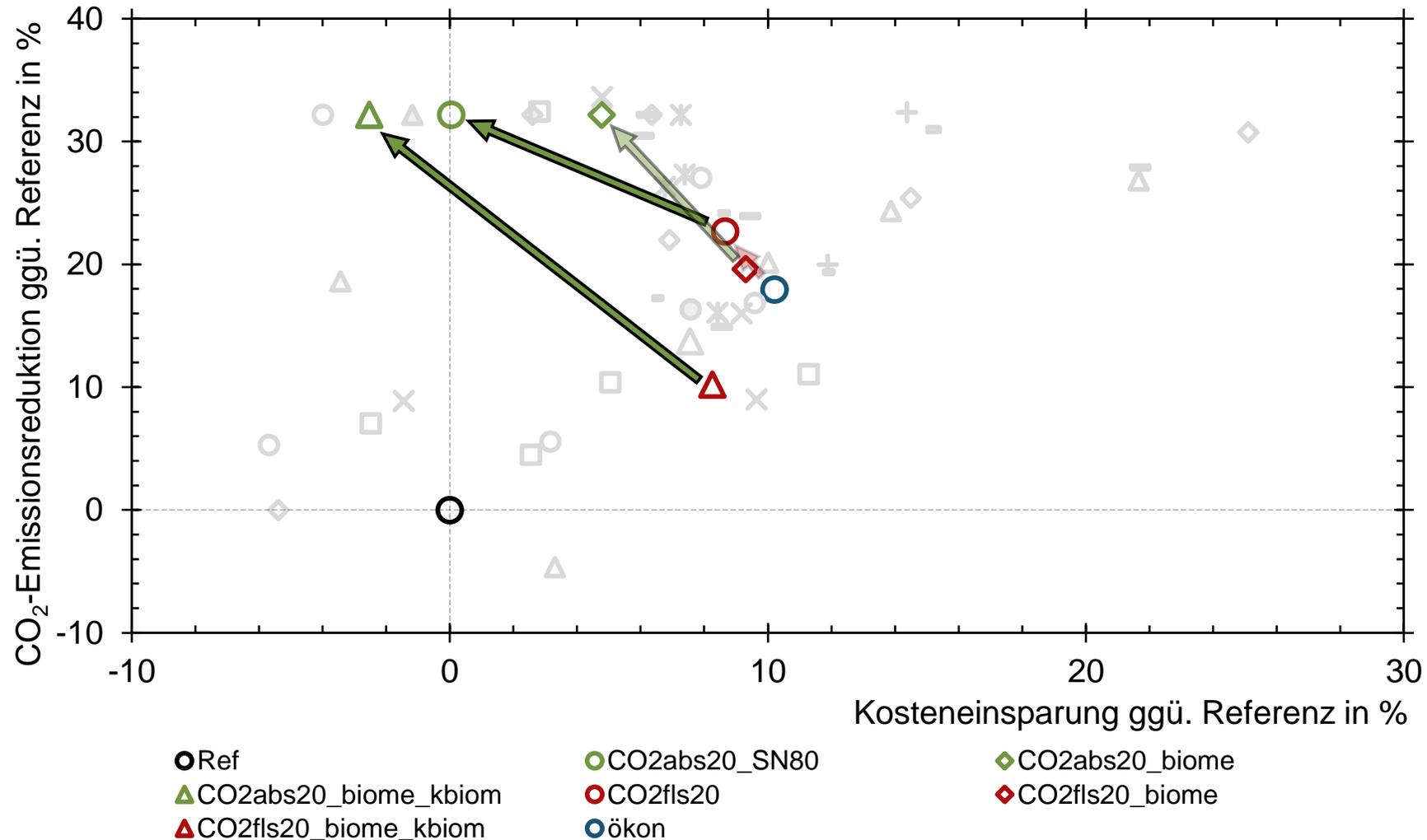
• Referenz

Szenarienübersicht

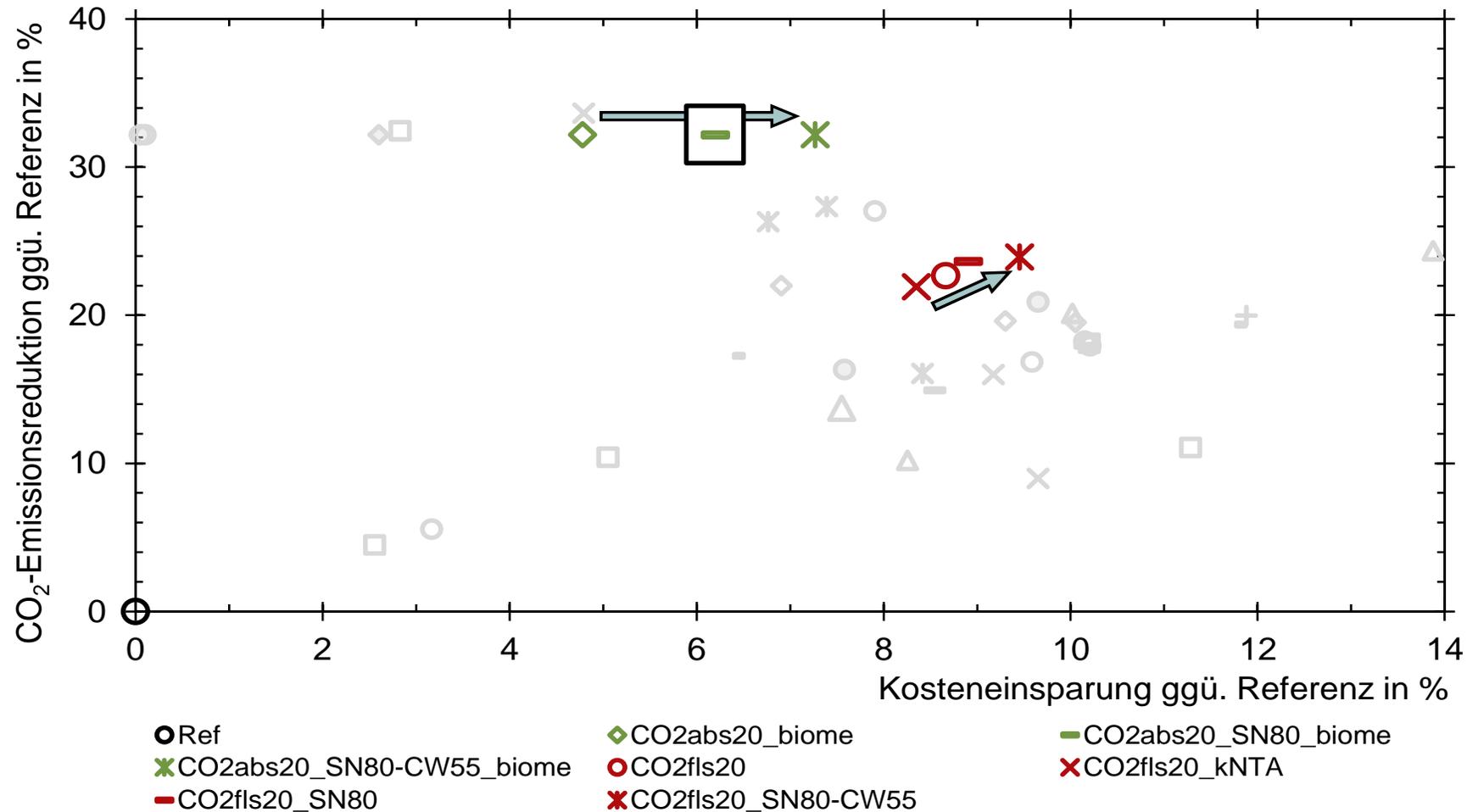


- Referenz
- Referenz mit vom Standard abweichenden (v. St. abw.) Energiebezugskosten
- Absolute CO₂-Grenzwerte
- Absolute CO₂-Grenzwerte & v. St. abw. Energiebezugskosten
- Flächenspezifische CO₂-Grenzwerte
- Keine CO₂-Grenzwerte
- Keine CO₂-Grenzwerte & v. St. abw. Bedarfe
- Keine CO₂-Grenzwerte & v. St. abw. Energiebezugskosten
- CO₂-Grenzwerte zwischen fls. und abs.

Auswirkungen CO₂-Reduktionsziele

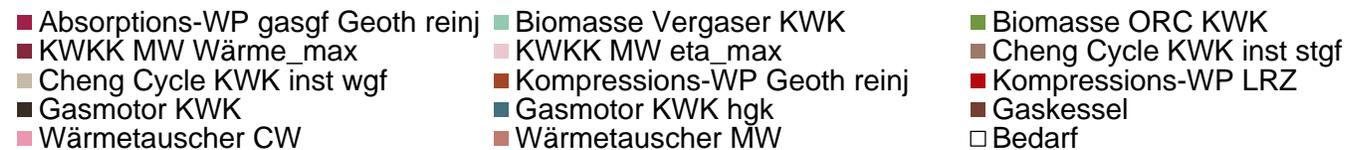
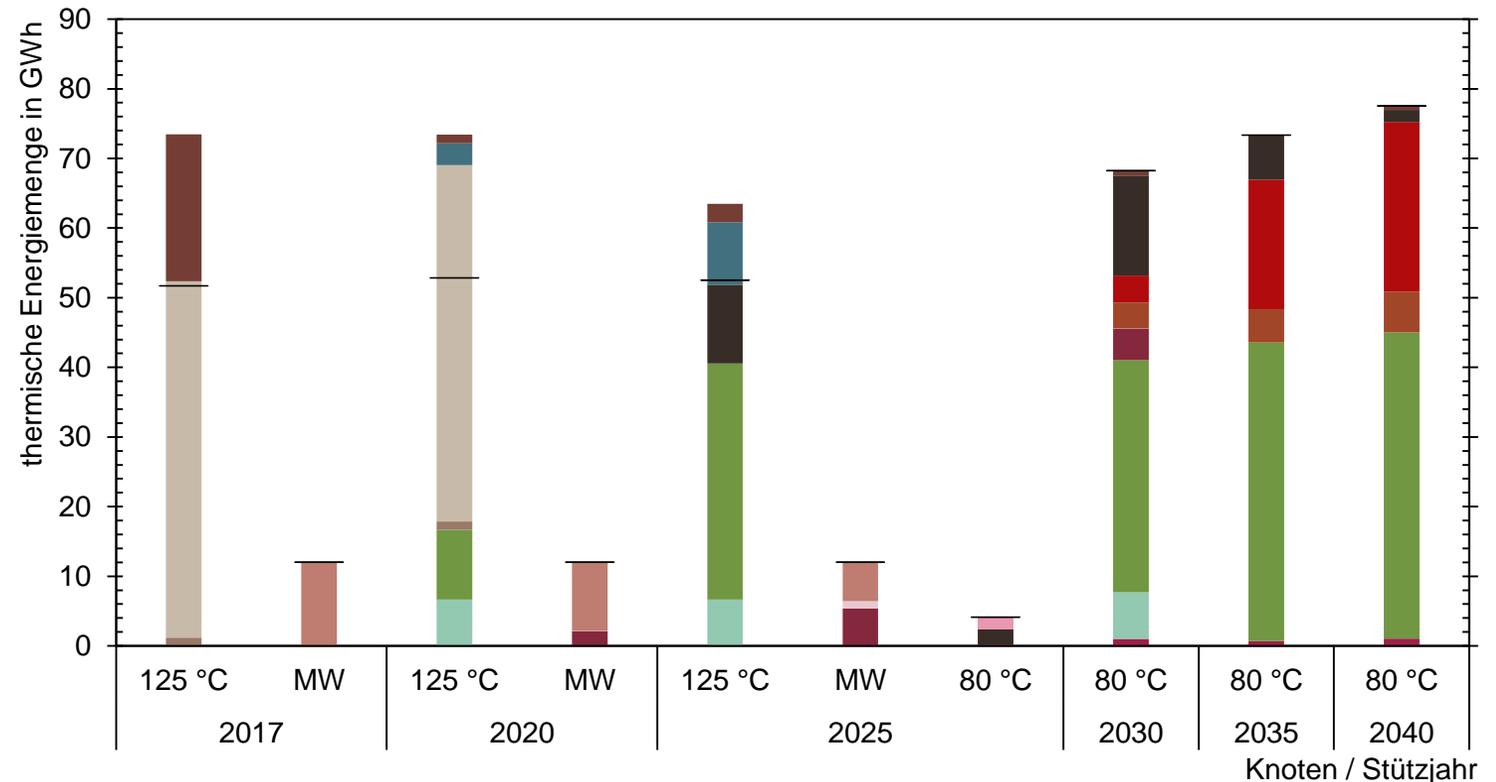
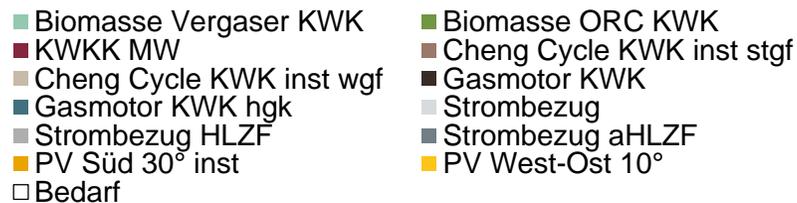
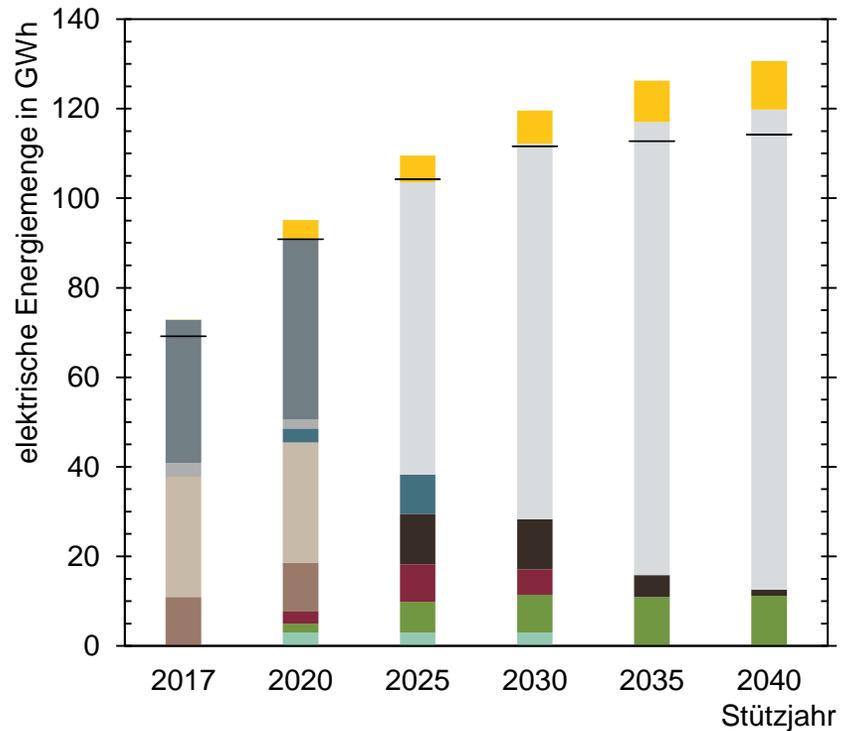


Auswirkungen Netztemperaturabsenkungen

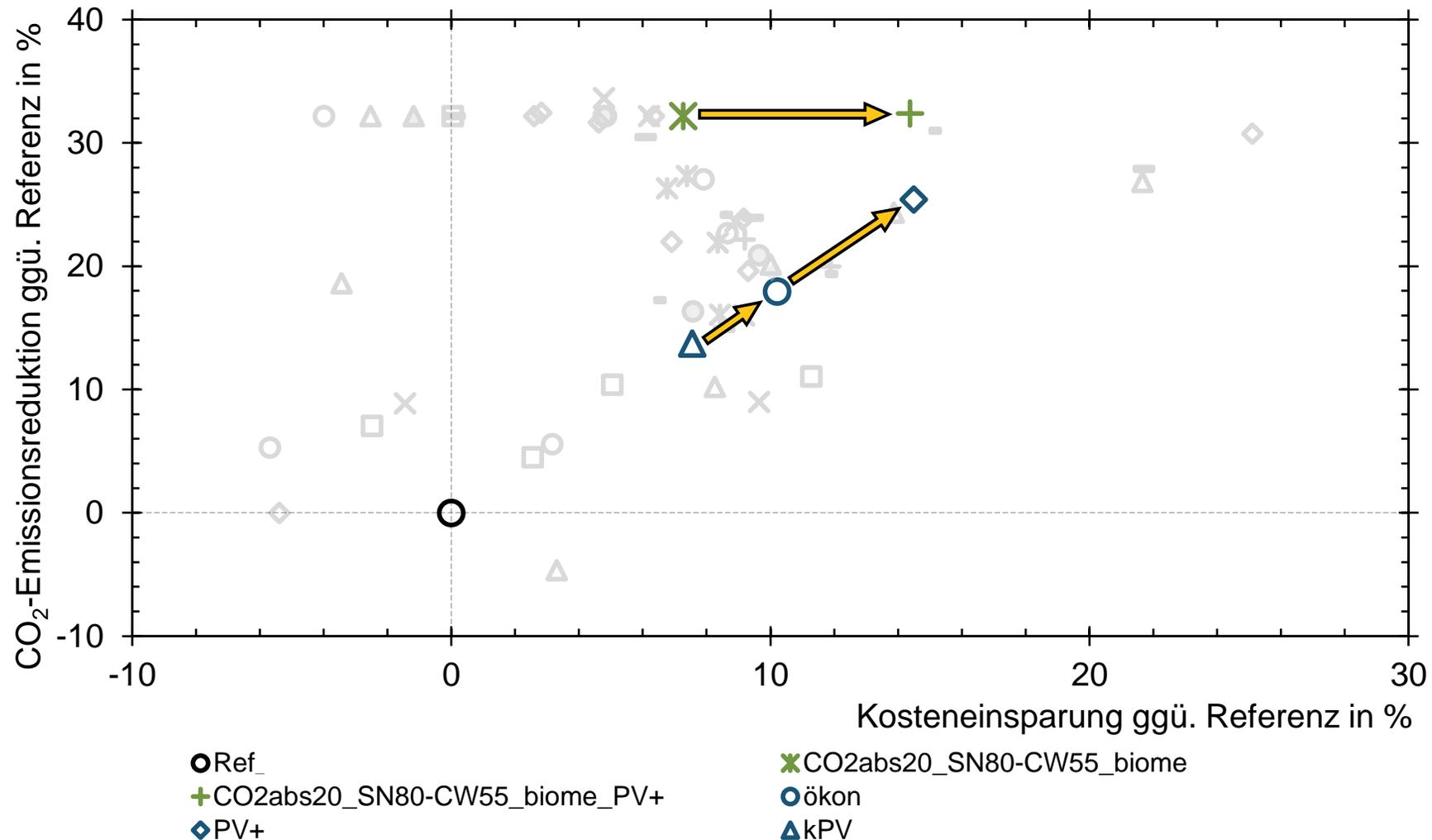


Szenario CO2abs_SN80°C_Biomethan

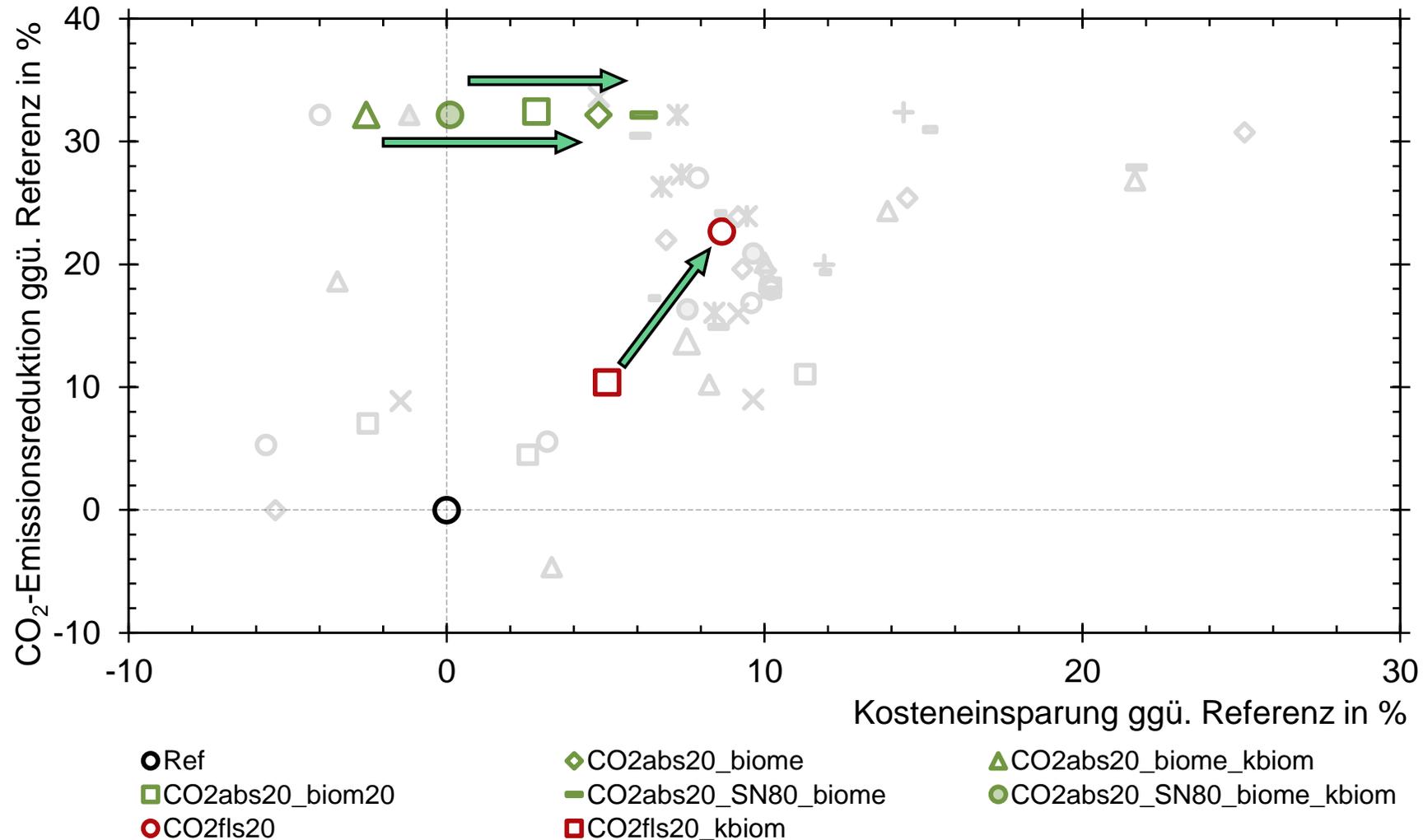
Elektrische und thermische Energieversorgung



Auswirkungen PV-Zubau



Auswirkungen Biomasse



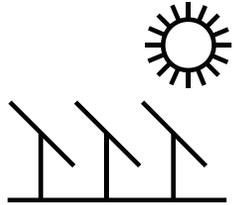
Zusammenfassung

- Erhebliche CO₂-Emissionsreduktion bei sinkenden Kosten möglich
- Wärmebedarf limitiert die elektrische Eigenversorgung
- Netztemperaturabsenkung so ambitioniert wie möglich
- PV-Ausbau so ambitioniert wie möglich
- Aufbau eines intelligenten Energiemonitorings und -managements als Voraussetzung für Umsetzung
- Laufzeit des Cheng Cycles insbesondere abhängig von CO₂-Zielen der TUM
- KWKK-Anlage MW – ökonomischste Versorgungsanlage
- Einsatz von Biomasse und/oder Biomethanbezug erlauben ökonomische Einhaltung ambitionierter Reduktionsziele

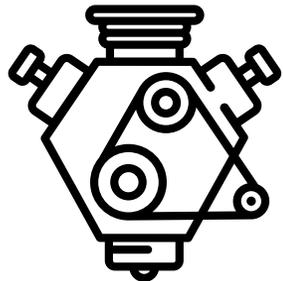
Flex Campus

Demonstration innovativer Pilottechnologien im netzdienlichen Betrieb

Erneuerbare Strombereitstellung

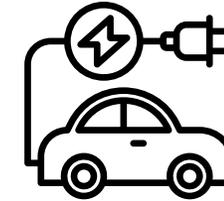


PV mit intelligenter Steuerung zur Verbesserung der Netzqualität und -stabilität

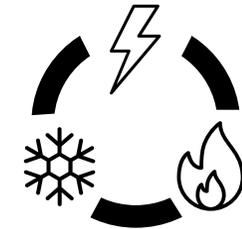


Demonstration netzdienlicher Betrieb von Gasmotoren- bzw. Biomasse-KWK-Anlagen

Intelligente und vernetzte Regelung als Basis für die Betriebsoptimierung

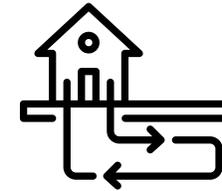


Effiziente Strom-, Wärme- und Kältebereitstellung



Demonstration KWKK-Anlage auf Gebäudeebene

- Hohe Effizienz durch Kälte- & Wärmebereitstellung
- Hohe Flexibilität bezüglich Kälte/Wärmeverhältnis



Einbindung hydroth. Tiefengeothermie mittels Kompressionswärmepumpe

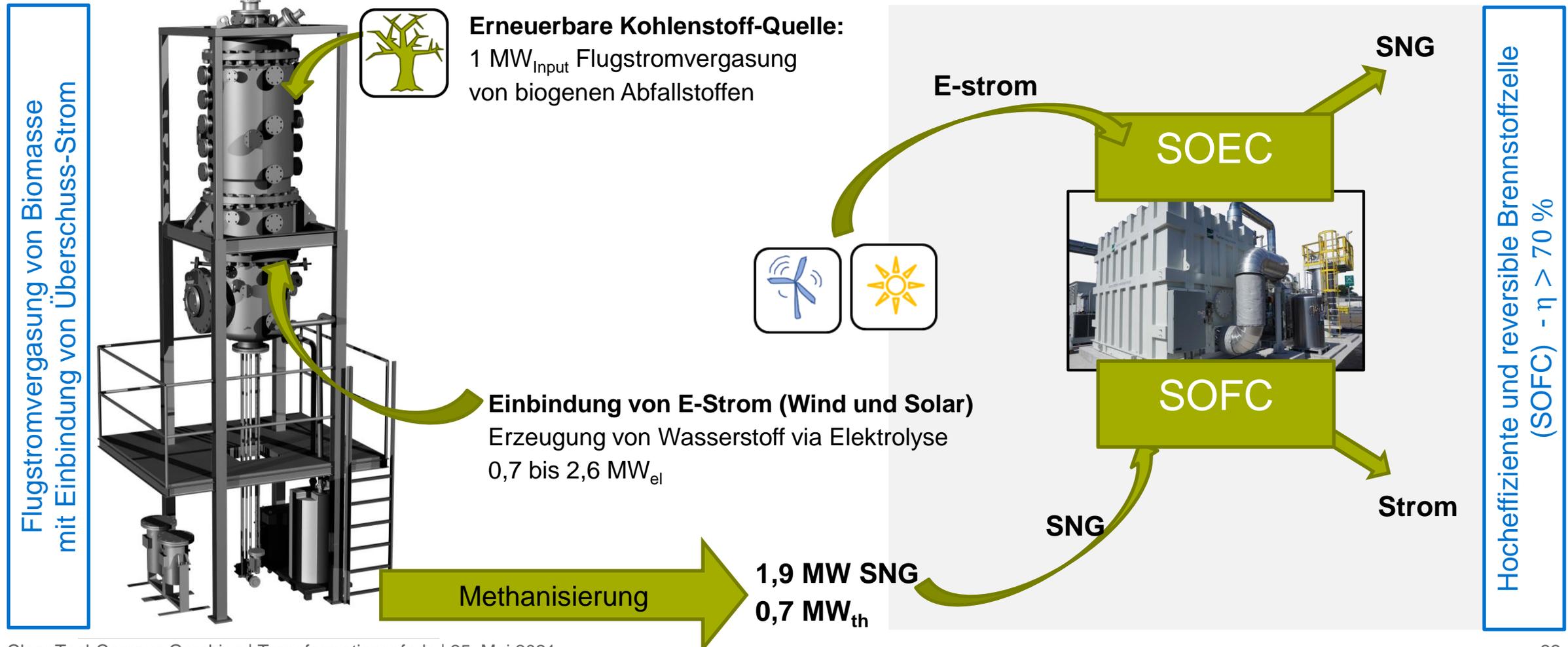
Demonstration Hochtemperatur-Wärmepumpe (4,5 MW_{th})



Batteriespeicher

Future Campus - Integration von Leuchtturmprojekten

Vielfältige Möglichkeiten für interdisziplinäre Energieforschung an der TUM



Chancen und Hürden bei der Umsetzung

Chancen

TUM Campus Garching

... als Vorreiter der Energiewende



Hürden

- Tätigung von Investitionskosten zur Einsparung variabler Kosten
- Zusätzlicher Personalaufwand

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!