

Implications of energy consumption charges on local energy systems in city quarters

Energie Campus Nürnberg und Lehrstuhl für VWL, insb. Wirtschaftstheorie

Johannes Wirth & Jonas Egerer, Veronika Grimm, Olga Kolesnikova



1. Regionale Energiewende im Quartier

1. Regionale Energiewende im Quartier

Untersuchungsrahmen

- Strom und Wärmeversorgung in einem urbanen Quartier
- Einfluss von Szenarien zu energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Rahmenbedingungen
- Bewertung verschiedener technischer Konfigurationen
- Optimierung der technischen Anlagenkapazitäten

	<h3>Standortmerkmale</h3>	<ul style="list-style-type: none"> • Standort: Klima, Verfügbarkeit öffentliche Versorgung • Layout: lokales EE-Potential, Flächen für Technologien • Gebäude: vorhandene Heizungen, Dachflächen, Gebäudeeffizienz • Konsumenten: Nachfragewerte 						
	<h3>Allgemeines Marktdesign und Politikumfeld</h3>	<table border="0"> <tr> <td>• Strom </td> <td rowspan="4">}</td> <td rowspan="4">• Verbraucherpreise • Preiskomponenten • Verfügbarkeit</td> </tr> <tr> <td>• Fernwärme </td> </tr> <tr> <td>• Gas </td> </tr> <tr> <td>• Wasserstoff </td> </tr> </table>	• Strom 	}	• Verbraucherpreise • Preiskomponenten • Verfügbarkeit	• Fernwärme 	• Gas 	• Wasserstoff 
• Strom 	}	• Verbraucherpreise • Preiskomponenten • Verfügbarkeit						
• Fernwärme 								
• Gas 								
• Wasserstoff 								
	<h3>Technologien</h3>	<ul style="list-style-type: none"> • PV, BHKW, SOFC, etc.: maximale Kapazität, Effizienz, stündliche Verfügbarkeit • Speicher: maximale Kapazität, Ladeeffizienz, zeitliche Verluste 						
	<h3>Lokales Marktdesign und Politikumfeld</h3>	<ul style="list-style-type: none"> • Verkaufspreise: Einspeisetarife, Marktpreise • Abgaben: Verbrauchssteuern abhängig von technischer Konfiguration • Subventionen: Förderprogramme, Investitionsanreize 						

1. Regionale Energiewende im Quartier

Standortmerkmale

Anwendungsfall Lagarde-West (Bamberg)

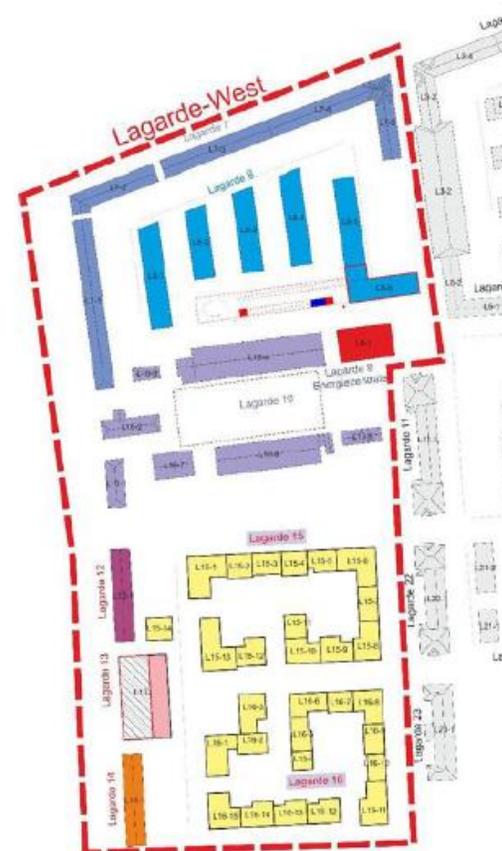
- räumlich abgeschlossenes Quartier
- Anschluss an Fernwärme- und Erdgasnetz
- Zusammensetzung aus Bestands- und Neubauten
- teilweise Belegung der Dachflächen für Photovoltaik (PV)
- Platz für Energiezentrale auf dem Gelände

Aufteilung der Gebäudeblöcke

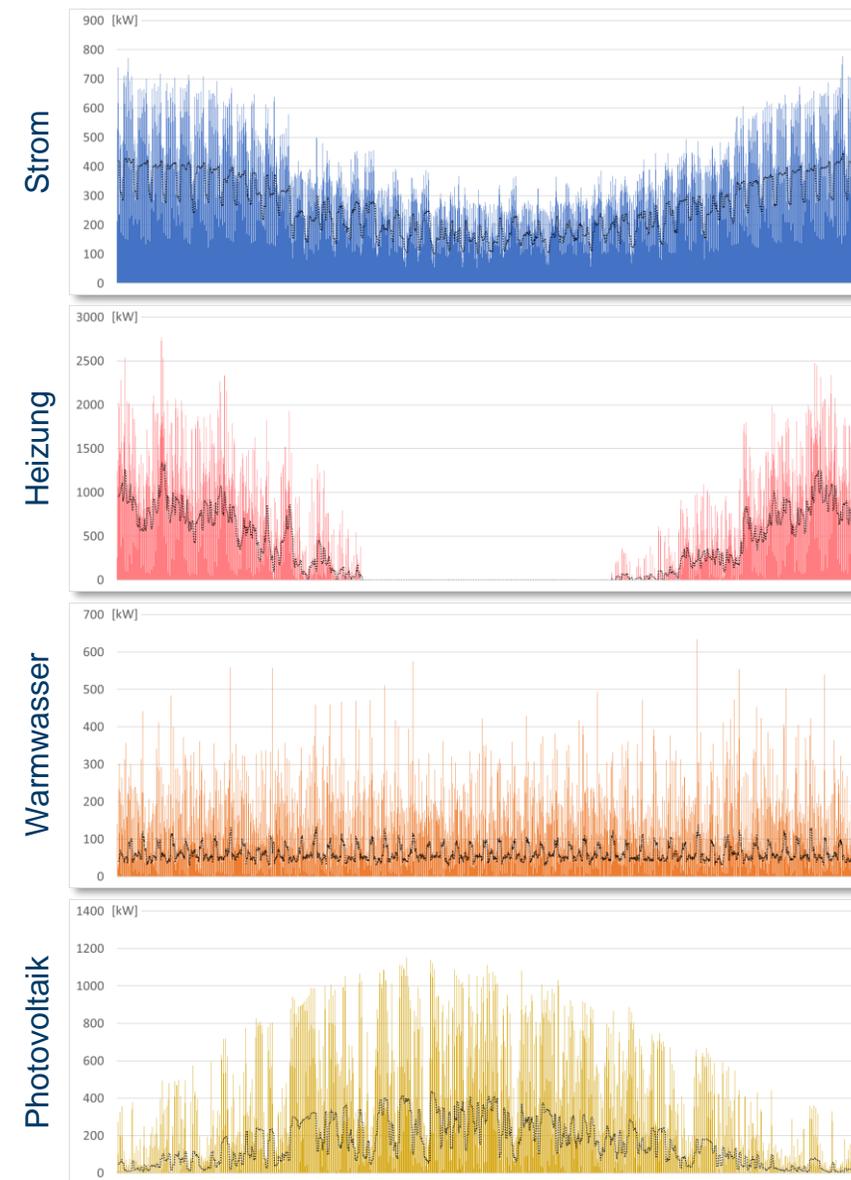
- Bestandsbauten (lila, orange)
- Neubauten (hellblau, gelb)
- Modernisierung (rosa, blau)
- Energiezentrale (rot)

Stündliche Zeitreihen

- Strom-/Wärmenachfrage pro Gebäudeblock
- Erzeugung der Photovoltaikanlagen



2,2 GWh Stromnachfrage
3,3 GWh Wärmenachfrage
1,3 GWh PV-Erzeugung

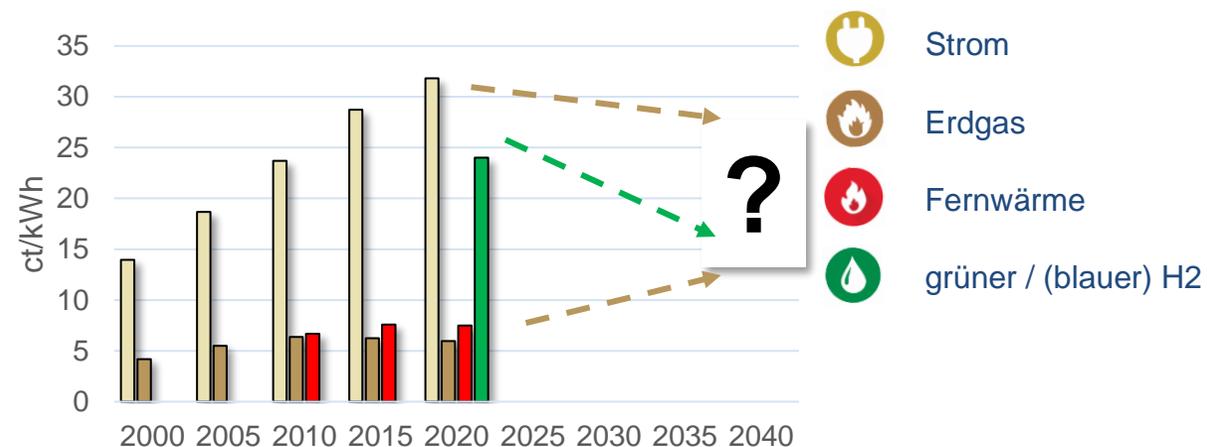


1. Regionale Energiewende im Quartier

Allgemeines Marktdesign und Politikumfeld

Entwicklung der Endenergiepreise

- Verdopplung des Endkundenpreises für Strom zwischen 2000 und 2020
- Anstieg des Erdgaspreises zwischen 2000 und 2010 um 50%, seitdem leichtes Abfallen
- Abbildung des Ausstiegs aus der energetischen Nutzung fossiler Energieträger bis 2040(er) in Preisen für Strom, Erdgas und Wasserstoff



1. Regionale Energiewende im Quartier

Technologien

	Input	Output	Regulierung
Photovoltaik			EEG Umlage Wärmepumpe, Mieterstrom
BHKW	 	 	Gas- / H2 Preis
SOFC	 	 	Gas- / H2 Preis, Anreize lokale Flexibilität
Brennwertkessel			Auslaufmodell, zukünftig Verbot (?)
Wärmepumpe	 		Anreiz Nutzung lokaler Stromerzeugung
Heizstäbe			Anreiz Nutzung lokaler Stromerzeugung
Elektrolyseur		 	Abgaben, Anreize lokale Flexibilität
Energiespeicher	  		Abgaben, Anreize lokale Flexibilität

1. Regionale Energiewende im Quartier

Lokales Marktdesign und Politikumfeld - Abgaben auf Eigenstromnutzung

Nutzung der PV-Erzeugung (EE-Anlagen bis 2MW, ohne Netznutzung) für:

- Wärmepumpe: **Netzentgelt**, besondere Netzentgeltbestandteile, **EEG-Umlage**, **Stromsteuer**
- Batteriespeicher: **Netzentgelt**, besondere Netzentgeltbestandteile, **EEG-Umlage**, **Stromsteuer**
- Elektrolyseur: **Netzentgelt**, besondere Netzentgeltbestandteile, **EEG-Umlage**, **Stromsteuer**

Nutzung der SOFC/BHKW-Erzeugung (ohne Netznutzung beim Strombezug) für:

- Wärmepumpe: **Netzentgelt**, besondere Netzentgeltbestandteile, **EEG-Umlage**, **Stromsteuer**
- Batteriespeicher: **Netzentgelt**, besondere Netzentgeltbestandteile, **EEG-Umlage**, **Stromsteuer**
- Elektrolyseur: **Netzentgelt**, besondere Netzentgeltbestandteile, **EEG-Umlage**, **Stromsteuer**

Grün: Abgabe entfällt komplett
 Gelb: reduzierte Abgabe (40%)
 Rot: Abgabe ist zu zahlen
 Grau: Situation unklar

2. Optimierungsmodell

2. Optimierungsmodell

Minimierung der Kosten für Wärme- und Stromversorgung

Zielfunktion

Kosten für (Investition in technische Anlagen) → im Modell optimale Investition
 + Strom-, Erdgas- und Wasserstoffbezug über öffentliche Versorgung
 + und Steuern und Umlagen für Strom aus Eigenversorgung
 - minus Erlöse aus Einspeisung von Strom ins öffentliche Netz
 und Wärme ins Fernwärmenetz

Investitionskosten

+ variable Kosten
 + Abgaben
 - Erlöse

} Betriebskosten

Nebenbedingungen

- maximale Erzeugungskapazitäten:
 - Strom von Photovoltaik (stündlich), SOFC und BHKW
 - Wärme von Wärmepumpen, Heizstäbe, SOFC, BHKW und Elektrolyseur
 - Wasserstoff vom Elektrolyseur
- Speicherbetrieb (Speichervolumen, Lade-/Entladekapazität, Verluste bei Ein-/Auspeicherung, Verluste über Zeit)
 - Batterie
 - Wärmespeicher
 - Wasserstoffspeicher
- Energiebilanzen (stündlich) für Strom, Wärme, Wasserstoff (Energiezentrale / Betriebsnetz / einzelne Blöcke Mieterstrom)

3. Annahmen zu Szenarien und Rahmenbedingungen

3. Annahmen zu Szenarien und Rahmenbedingungen

Zentrale Anlagenkonfiguration - Zentral (BHKW) / Zentral (SOFC)

Betriebsnetz mit Energiezentrale

Technische Einflussgrößen:

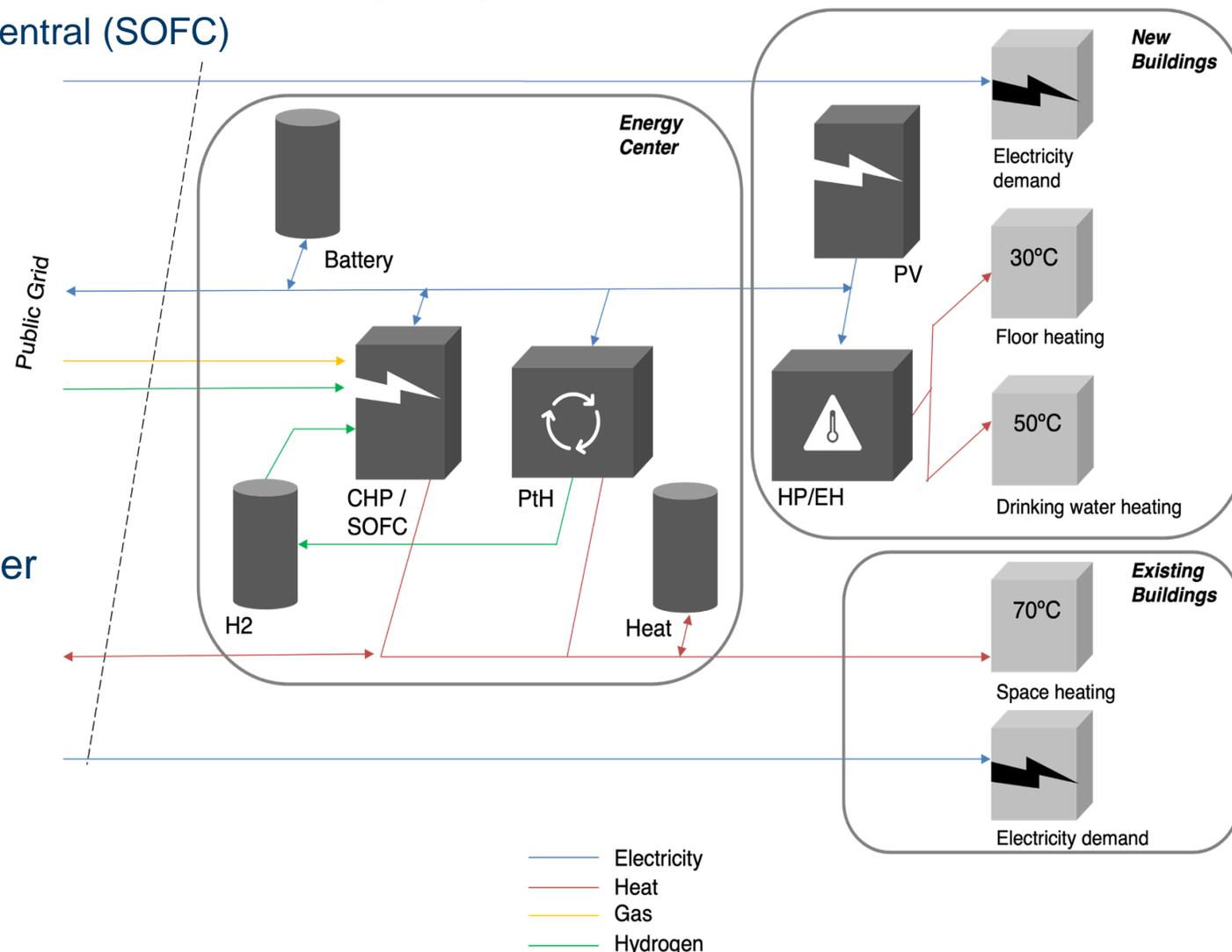
- Nachfrageprofile Wärme BB / NB
- Dimensionierung der technischen Anlagen

Ökonomische Einflussgrößen:

- Investitionskosten für SOFC, PtH & Speicher
- Preis für Strom, Erdgas / H₂, Fernwärme

Politische Einflussgrößen

- Vergütung für Einspeisung (PV, SOFC)
- Abgaben und Umlagen für Strom



3. Annahmen zu Szenarien und Rahmenbedingungen

Dezentrale Anlagenkonfiguration - Dezentral (SOFC)

Mieterstrommodell in Neubauten

Technische Einflussgrößen:

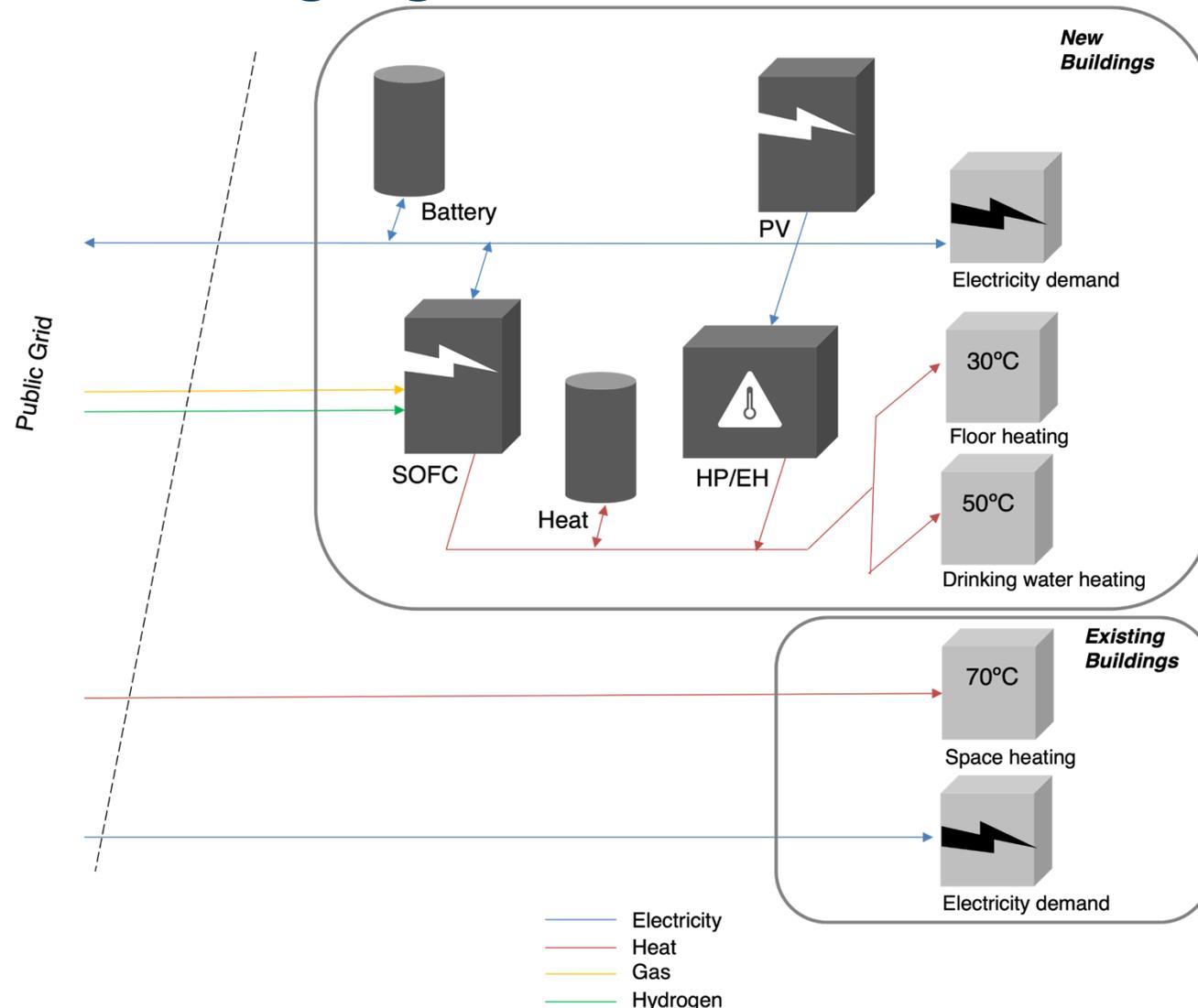
- Nachfrageprofile Strom und Wärme
- Dimensionierung der technischen Anlagen

Ökonomische Einflussgrößen:

- Investitionskosten für SOFC & Speicher
- Preis für Strom, Erdgas / H₂, Fernwärme

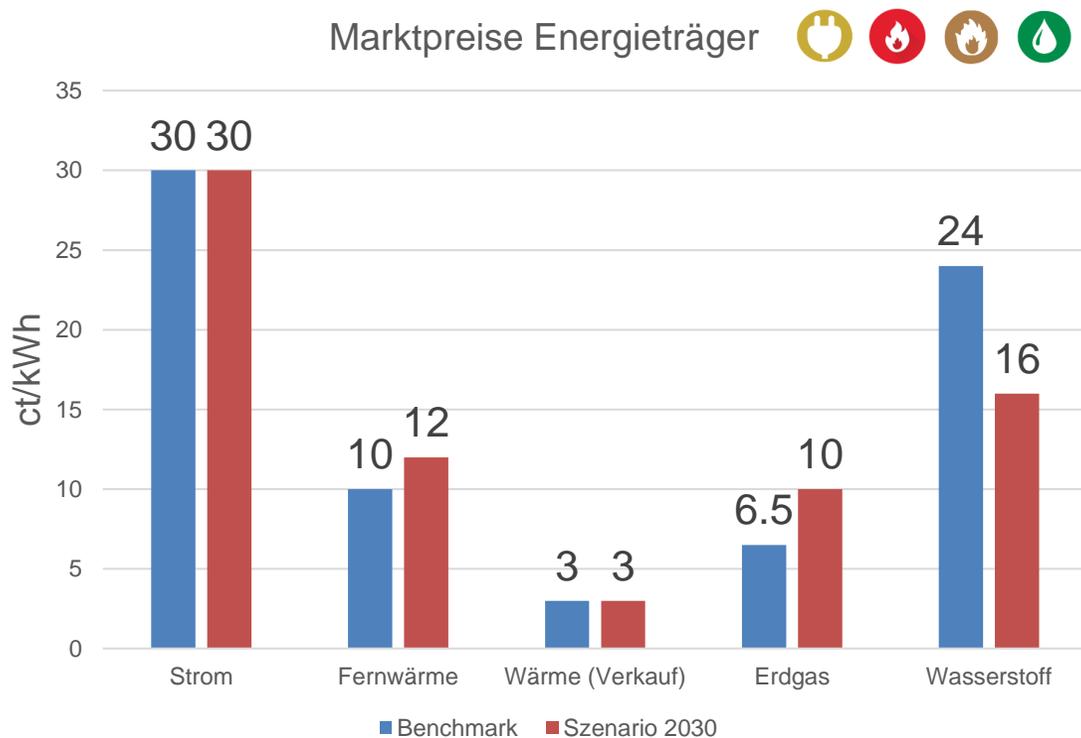
Politische Einflussgrößen

- Vergütung für Einspeisung (PV, SOFC)
- Abgaben und Umlagen Mieterstrom



3. Annahmen zu Szenarien und Rahmenbedingungen

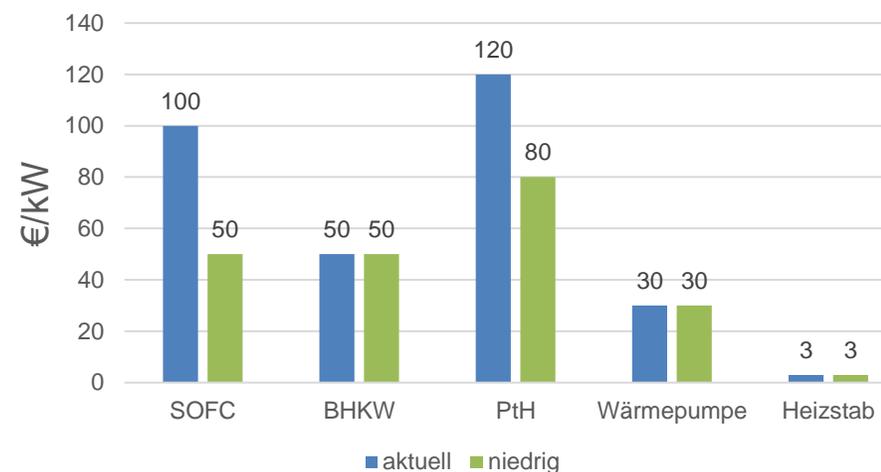
Marktpreise und Investitionskosten



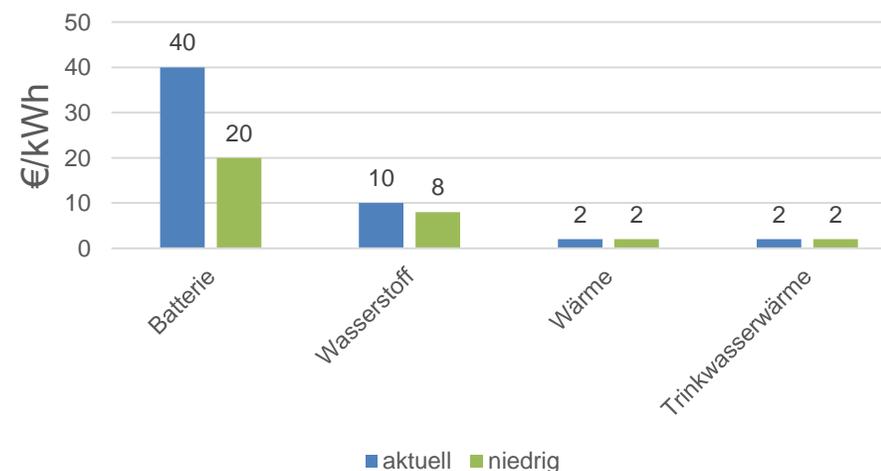
CO₂-Intensitäten [in gCO₂/kWh]

	Benchmark	in 2030
Strom	401	280
Erdgas	202	202
Fernwärme	300	300

Investitionskosten Erzeugungstechnologien



Investitionskosten Speicher

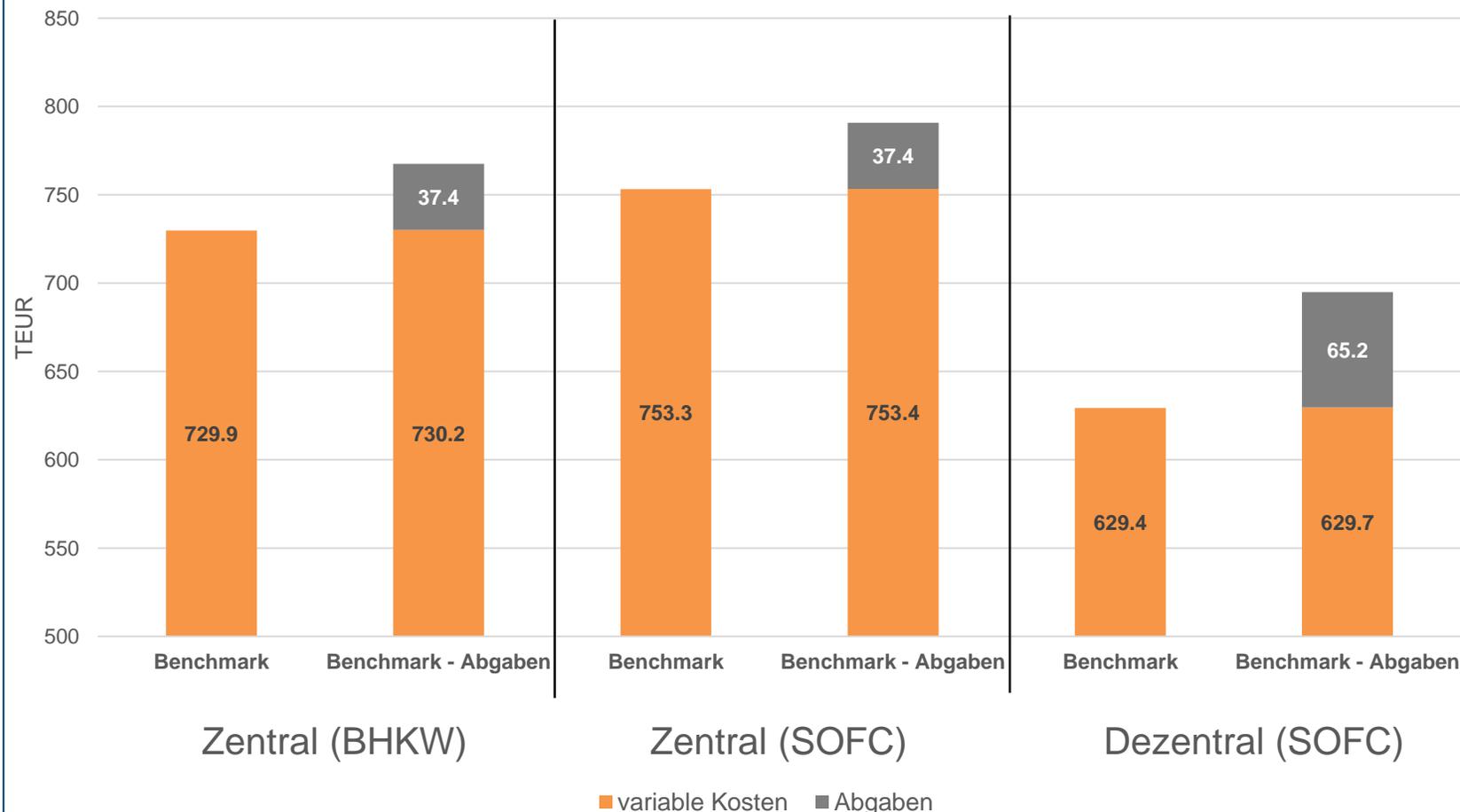


4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse optimaler Betrieb

4.1 Ergebnisse optimaler Betrieb

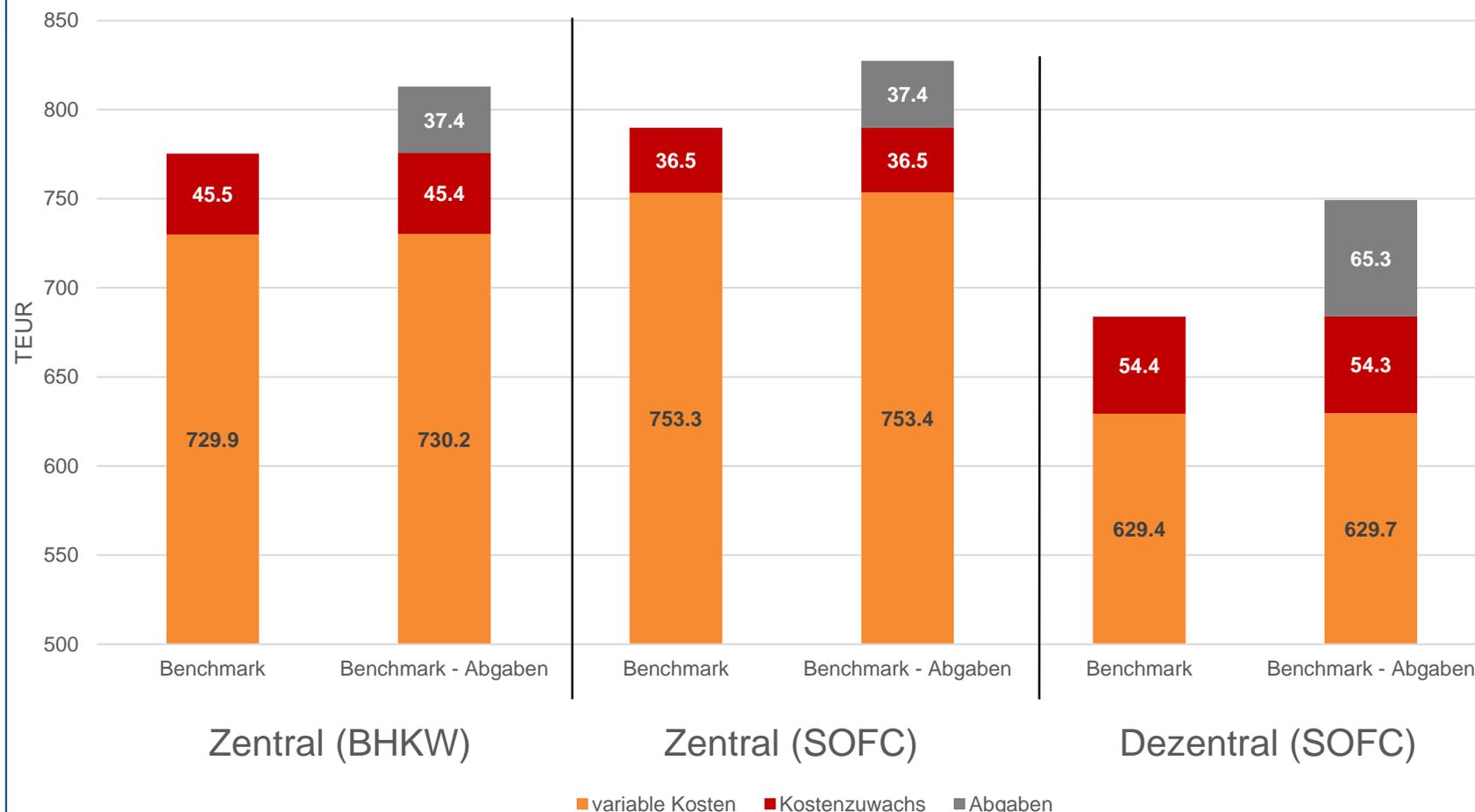
Betriebskosten - Benchmark



- Zentral (SOFC) 3% teurer als Zentral (BHKW)
- lokaler Strombedarf zu niedrig für SOFC
- höhere lokale Stromabdeckung in Dezentral (SOFC) und damit SOFC-Nutzung vorteilhaft
- Effizienz (Strom / Wärme)
 - SOFC (0.6 / 0.18)
 - BHKW (0.4 / 0.5)
- höchste Abgabenbelastung bei Dezentral (SOFC), da mehr Eigenverbrauch von PV

4.1 Ergebnisse optimaler Betrieb

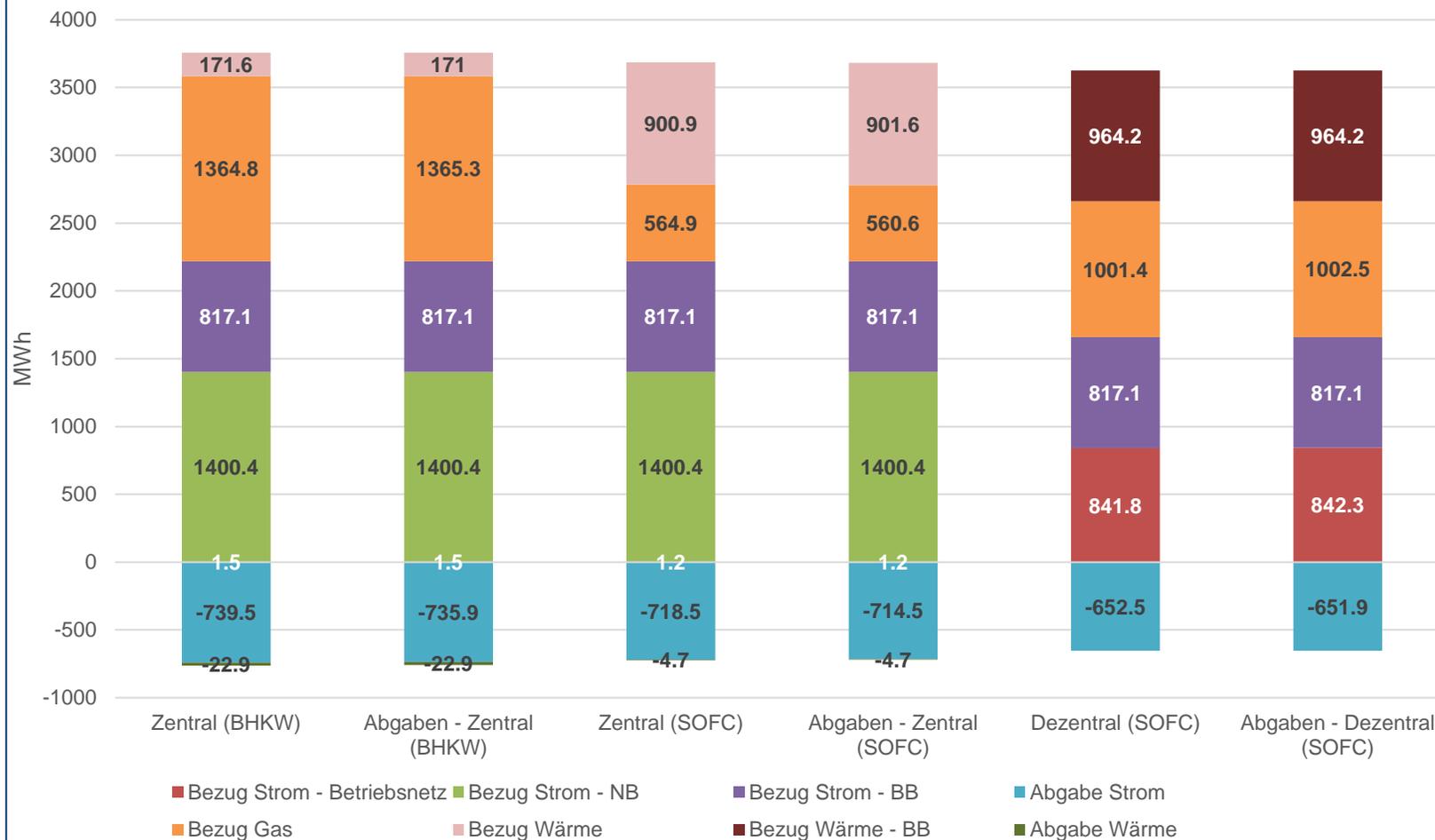
Betriebskosten - Szenario 2030



- Zentral (SOFC) niedrigerer Kostenzuwachs (+4,8% zu +6,2%)
- steigender Gaspreis führt zu höherer Kosteneffizienz SOFC
- Zentral (BHKW) mehr Fernwärmebezug
- Dezentral (SOFC) bleibt günstiger, allerdings stärkerer Kostenzuwachs als Zentral (+8,6%)

4.1 Ergebnisse optimaler Betrieb

Energieflüsse - Importe und Exporte - Benchmark



- Zentrale Konfiguration mit nahezu vollständiger lokaler Abdeckung des Strombedarf im Betriebsnetz
- SOFC mit etwa 5x höherem Fernwärmebezug und stark reduziertem Gasbedarf
- 17,4 MWh größerer Stromexport in Zentral (BHKW), da Strom als Nebenprodukt für Wärmeerzeugung

Trennung BB / NB (dezentral):

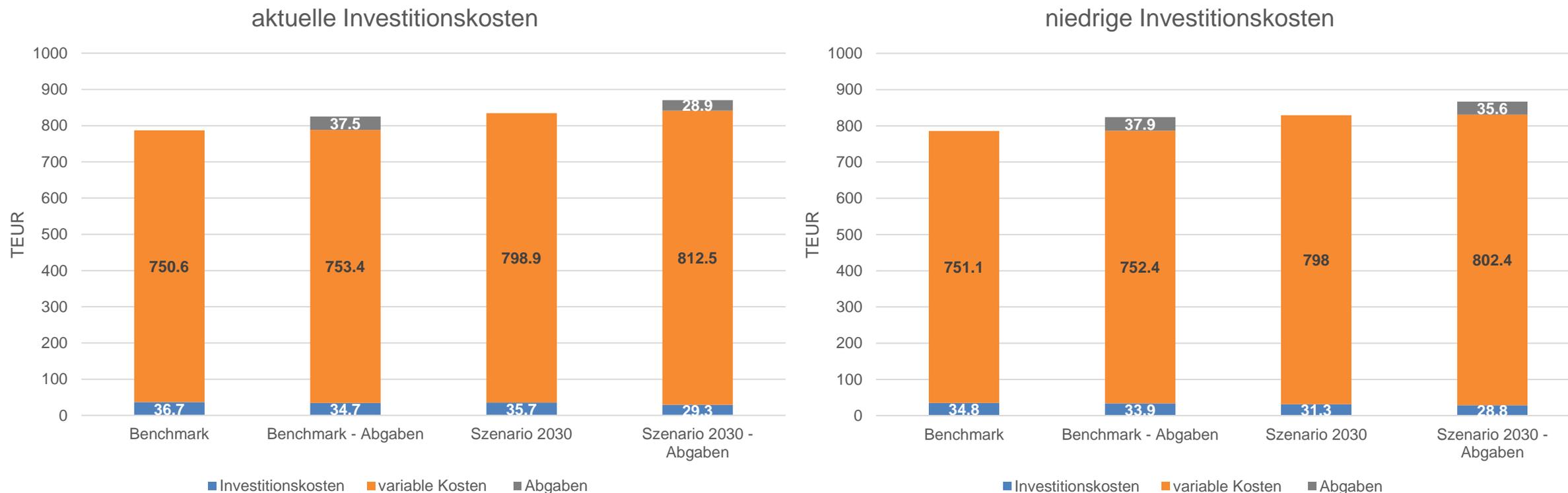
- Mieterstrommodell führt zu deutlicher Reduktion des verbleibenden Strombezugs in NB und zu höherer lokaler Nutzung von PV
- BB werden komplett über öffentliche Versorgung (Strom & Wärme) abgedeckt

4. Ergebnisse

4.2 Ergebnisse optimale Investition und Betrieb

4.2 Ergebnisse optimale Investition und Betrieb

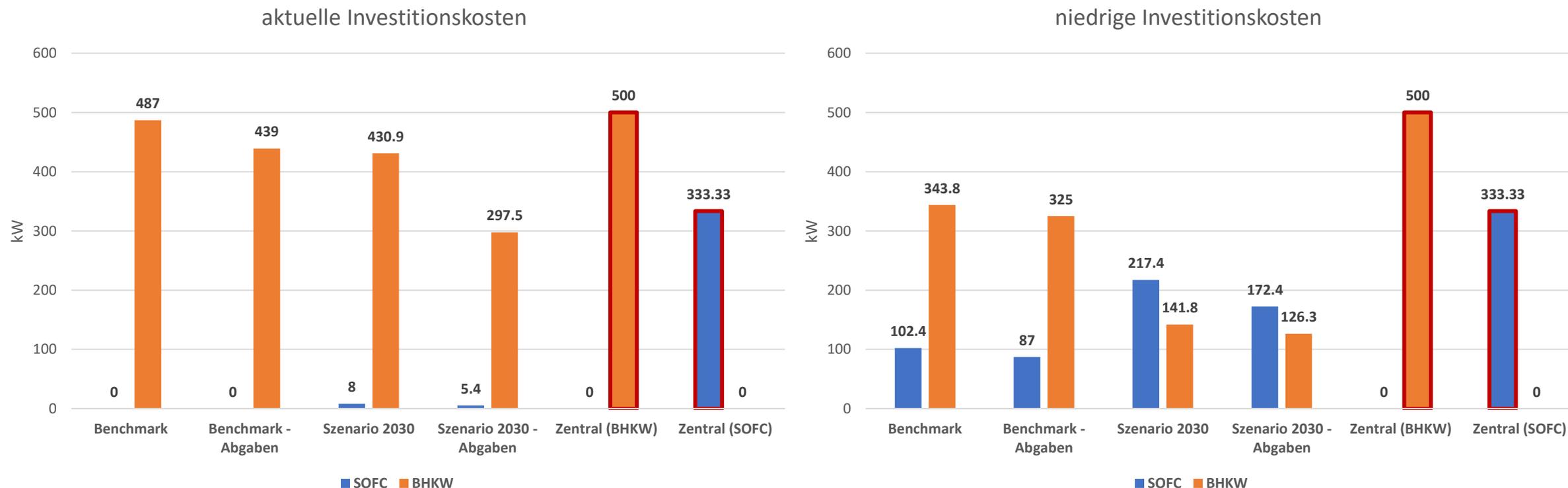
Kostenbestandteile



- Anteil Investition zwischen 4% und 6% (jährliche variable Kosten in etwa gleicher Höhe wie komplette Investition)
- höhere variable Kosten als mit fester Konfiguration, da weniger Investition in Speicher und mehr Bezug öffentliche Versorgung
- niedrige Investitionskosten führen zu mehr SOFC und Speicher (höhere Abgaben insb. 2030 bei geringeren variablen Kosten)

4.2 Ergebnisse optimale Investition und Betrieb

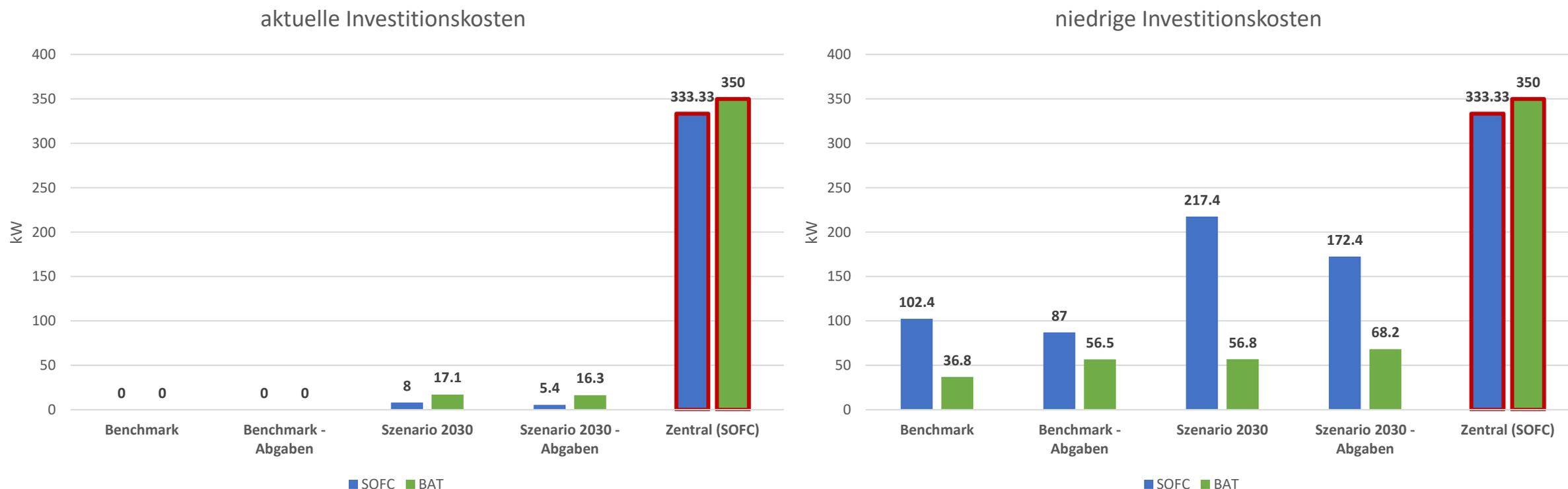
Optimale Kapazitäten – Energiezentrale



- Ineffizienz alleiniger Nutzung SOFC, nur BHKW oder Kombination aus SOFC und BHKW optimal
- mit steigendem Gaspreis und sinkenden Kosten für SOFC mehr SOFC-Kapazität optimal (ggf. Förderung der Investition sinnvoll)
- durch Verbrauchssteuern auf lokale Erzeugung verringerte Rentabilität von Investitionen, da Bezug Strom / Wärme attraktiver

4.2 Ergebnisse optimale Investition und Betrieb

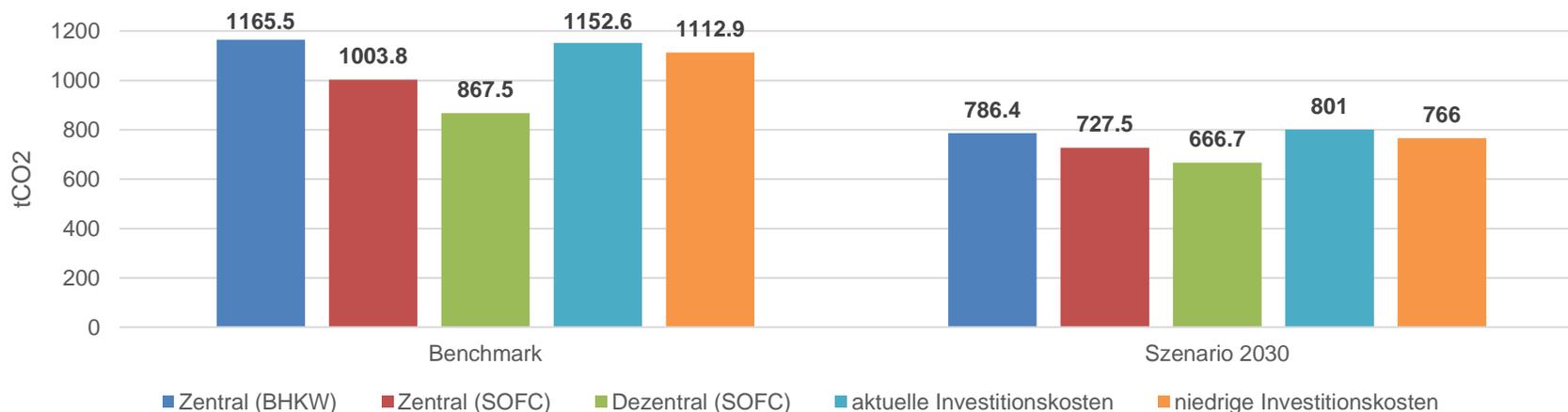
Optimale Kapazitäten – SOFC und Batterie



- SOFC-Nutzung optimal in Verbindung mit Batterie
- begrenzte Investition in Batterie optimal (falls Reduktion der Batteriekosten nicht noch stärker als angenommen)
- keine Nutzung Elektrolyse und Wasserstoffspeicher für angenommene Kosten

4.2 Ergebnisse optimale Investition und Betrieb

CO₂-Emissionen



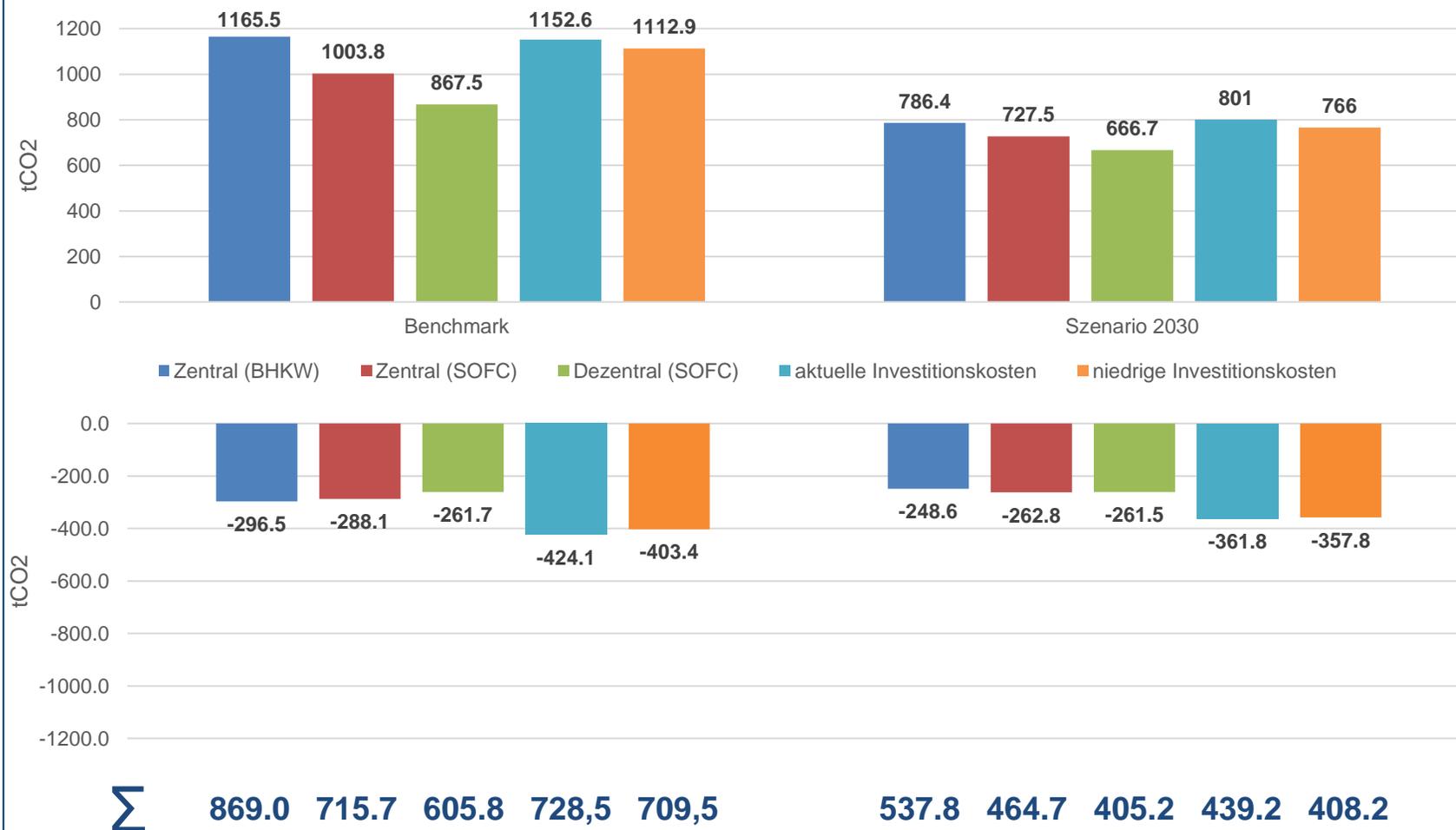
- dezentrale Konfiguration mit niedrigsten Emissionen aufgrund höherer lokaler, emissionsneutraler Versorgung
- steigender Gaspreis führt zu Emissionsreduktion um 30% bis 45%
- Dezentral (SOFC) mit kleinster Emissionsreduktion (-30%), da höhere emissionsfreie Eigenversorgung
- teilweise Emissionszunahme durch optimale Investition, insbesondere 2030

CO₂-Intensitäten [in gCO₂/kWh]

	Benchmark	in 2030
 Strom	401	280
 Erdgas	202	202
 Fernwärme	300	300

4.2 Ergebnisse optimale Investition und Betrieb

CO₂-Emissionen inkl. negative Emissionen



- Berücksichtigung negativer Emissionen führt zu Emissionsreduktion bei optimaler Investition, da mehr Stromexport

CO₂-Intensitäten [in gCO₂/kWh]

	Benchmark	in 2030
Strom	401	280
Erdgas	202	202
Fernwärme	300	300

5. Fazit

5. Fazit

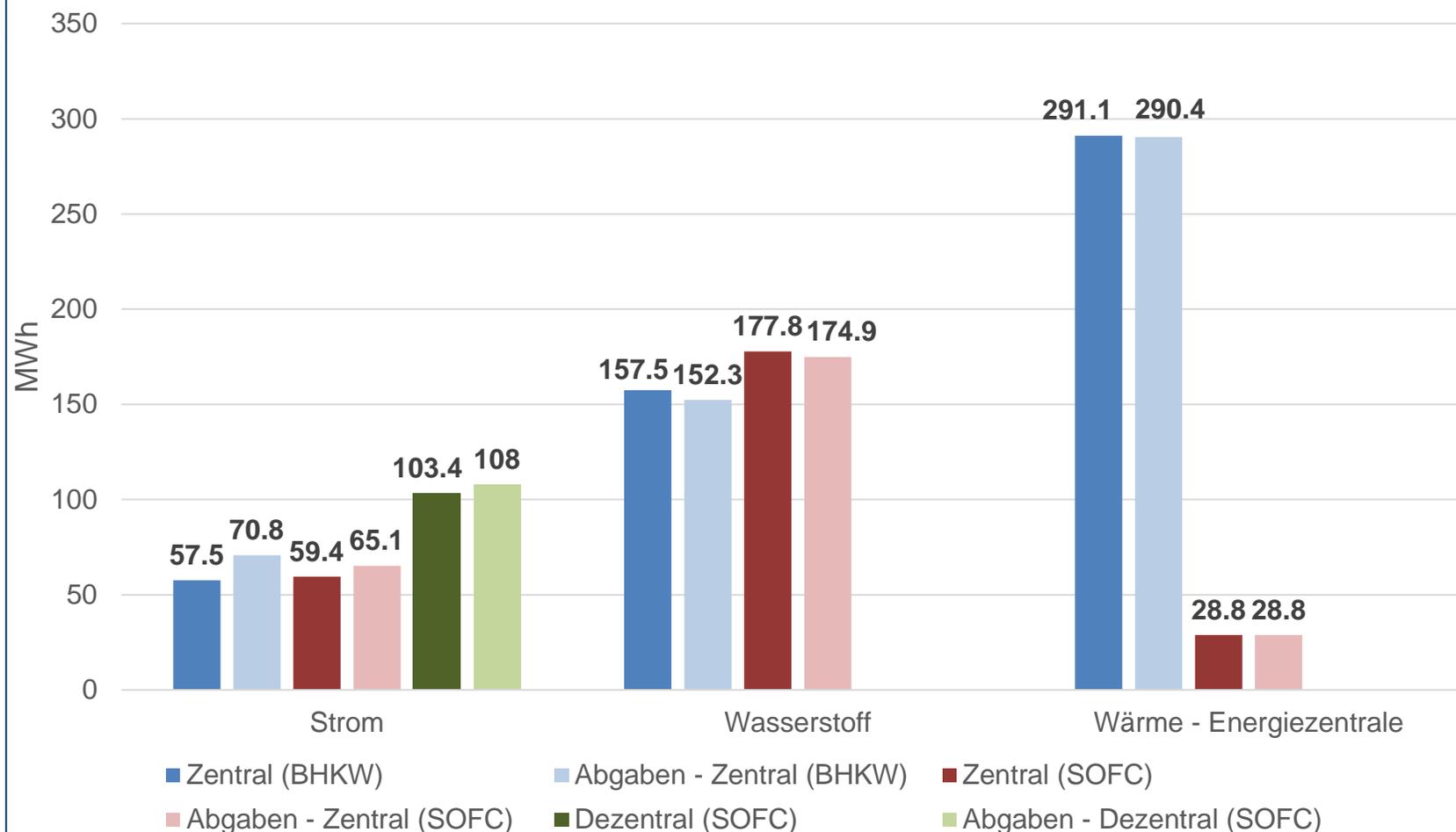
- Entwicklung eines technisch-ökonomischen Modells (Energieflüsse) für den optimalen Betrieb (und Investitionen) unter Berücksichtigung der Regulierung, insbes. lokaler Abgaben
- lokale Abgaben haben insbesondere Auswirkung auf die technische Konfiguration des Energiesystems; es wird lokal weniger investiert, da Bezug von öffentlicher Versorgung attraktiver
- steigende Preise für Erdgas (CO₂-Preis) führen zu mehr Investitionen in SOFC mit höherem elektrischen Wirkungsgrad, Wärmeversorgung verstärkt über Fernwärme und Wärmepumpen
- lokale Mieterstromkonzepte führen zu einem höheren Stromanteil an der Nachfrage im Quartier und machen Investitionen in SOFC und Speicher rentabler
- Elektrolyse (H₂) als Speichertechnologie für System interessant, aber Investition (noch?) zu teuer

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!



4.1 Ergebnisse optimaler Betrieb - Anhang

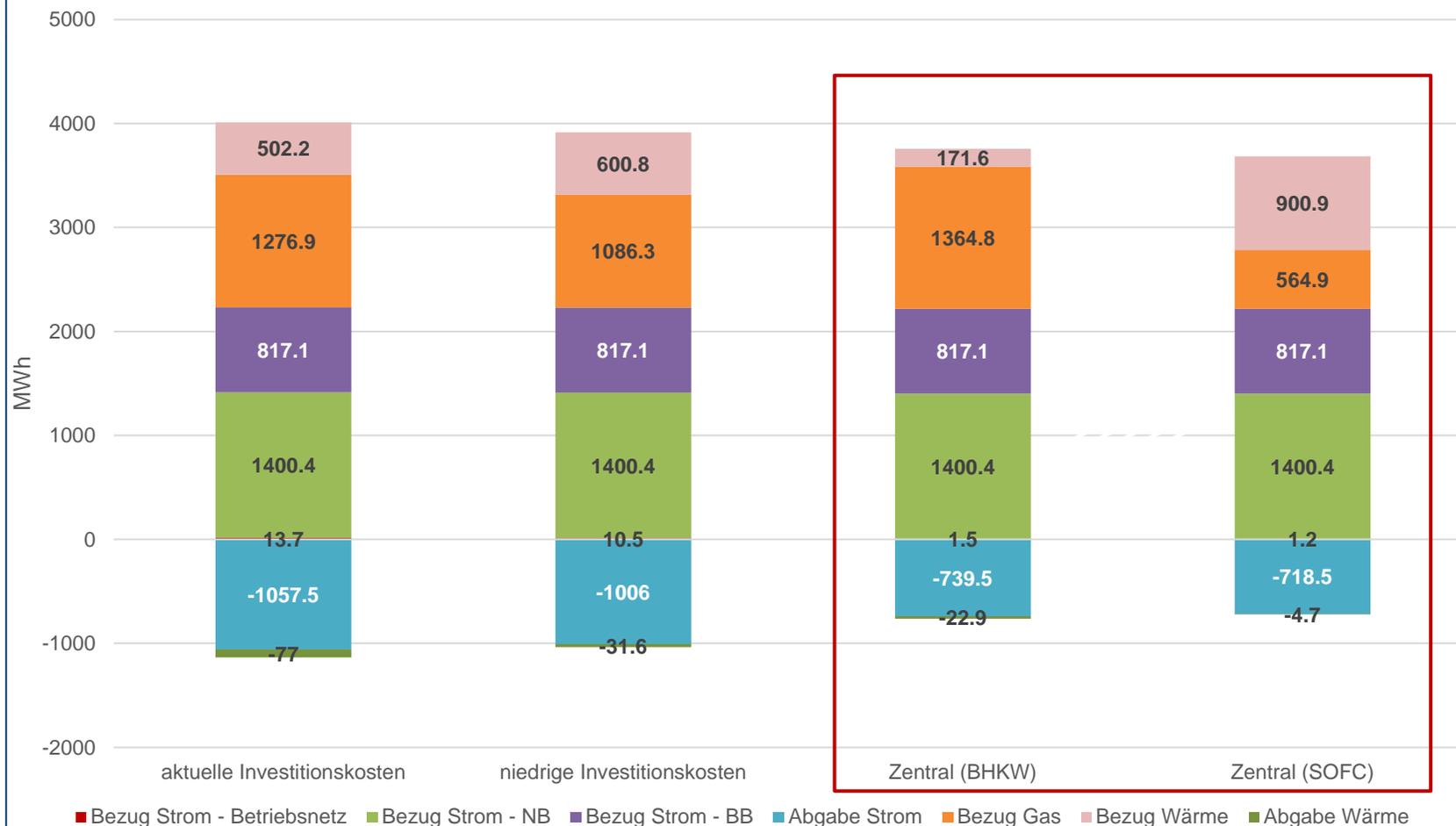
Energieflüsse - Einspeisung Speicher - Benchmark



- verstärkte Batterienutzung bei zu zahlenden Abgaben
- erhöhte Nutzung Wasserstoff bei Zentral (SOFC), da Wasserstoff mit höherem elektrischem Wirkungsgrad nutzbar
- erhöhte Nutzung Wärmespeicher in Zentral (BHKW), da höherer thermischer Wirkungsgrad

4.2 Ergebnisse optimale Investition und Betrieb - Anhang

Energieflüsse - Importe und Exporte - Benchmark



Optimale Investitionen mit Betriebsnetz:

- bei optimaler Investition etwa 40% mehr Stromexport, da keine Investition in Elektrolyse (bei angenommenen Kosten und Rahmenbedingungen nicht rentabel)
- Mischung aus Zentral (BHKW) und Zentral (SOFC) optimal
- mehr SOFC-Kapazität führt zu niedrigerem Gasverbrauch und höherem Fernwärmebezug