

Energieperspektive Frauenfeld 2050

Datenbasierte Planung für eine klimaneutrale Stadt

Empa: Prof. Matthias Sulzer, Dr. Barton Chen, Dr. Binod Koirala, Dr. Georgios Mavromatidis

Symphony: Dr. Andrew Bollinger, Alice Chevrier

Ausgangslage und Ziele

1. Klimaziel der Stadt Frauenfeld

- Klimaneutralität bis 2050 als gemeinsames Ziel von Stadt Frauenfeld und Energieversorger Thurplus
- Wichtiges Zwischenziel: Vollständiger Ausstieg aus der Gasversorgung im Wohnbereich bis 2040

2. Herausforderungen auf dem Weg zur Netto-Null

- Aktuell werden rund 80% der Gebäude in Frauenfeld fossil beheizt (Öl und Gas)
- Sicherstellung von Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit beim Übergang zu erneuerbaren Lösungen erforderlich

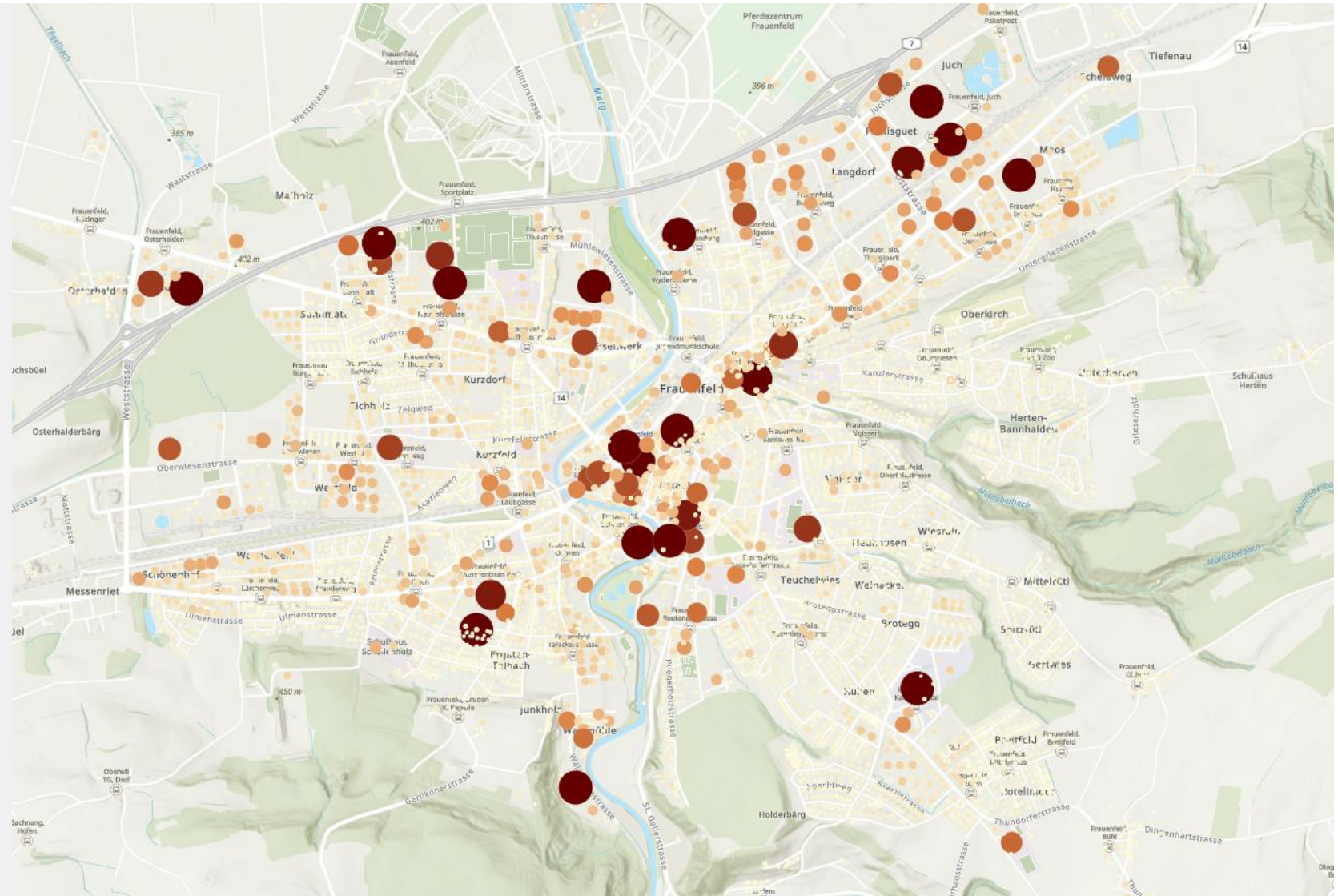
3. Beitrag des Projekts Energieperspektiven Frauenfeld 2050

- Entwicklung eines lokalen Energiesystemmodells auf Basis stadt-spezifischer Daten und der Optimierungssoftware von Sympheny
- Analyse zweier Szenarien zur Identifikation technologisch und wirtschaftlich sinnvoller Pfade zur Zielerreichung

4. Erwartete Ergebnisse und Nutzen

- Aufzeigen des Potenzials zur Dekarbonisierung des Wärmesektors durch Ausbau der Fernwärme
- Durchführung detaillierter Analysen auf Quartier- und Zonenebene
- Ableitung konkreter und umsetzbarer Strategien für die lokale Energiewende

- 1. Einleitung
- 2. Modellierung
- 3. Ergebnisse
- 4. Analyse
- 5. Zusammenfassung



01

Einleitung

Hintergrund und Motivation

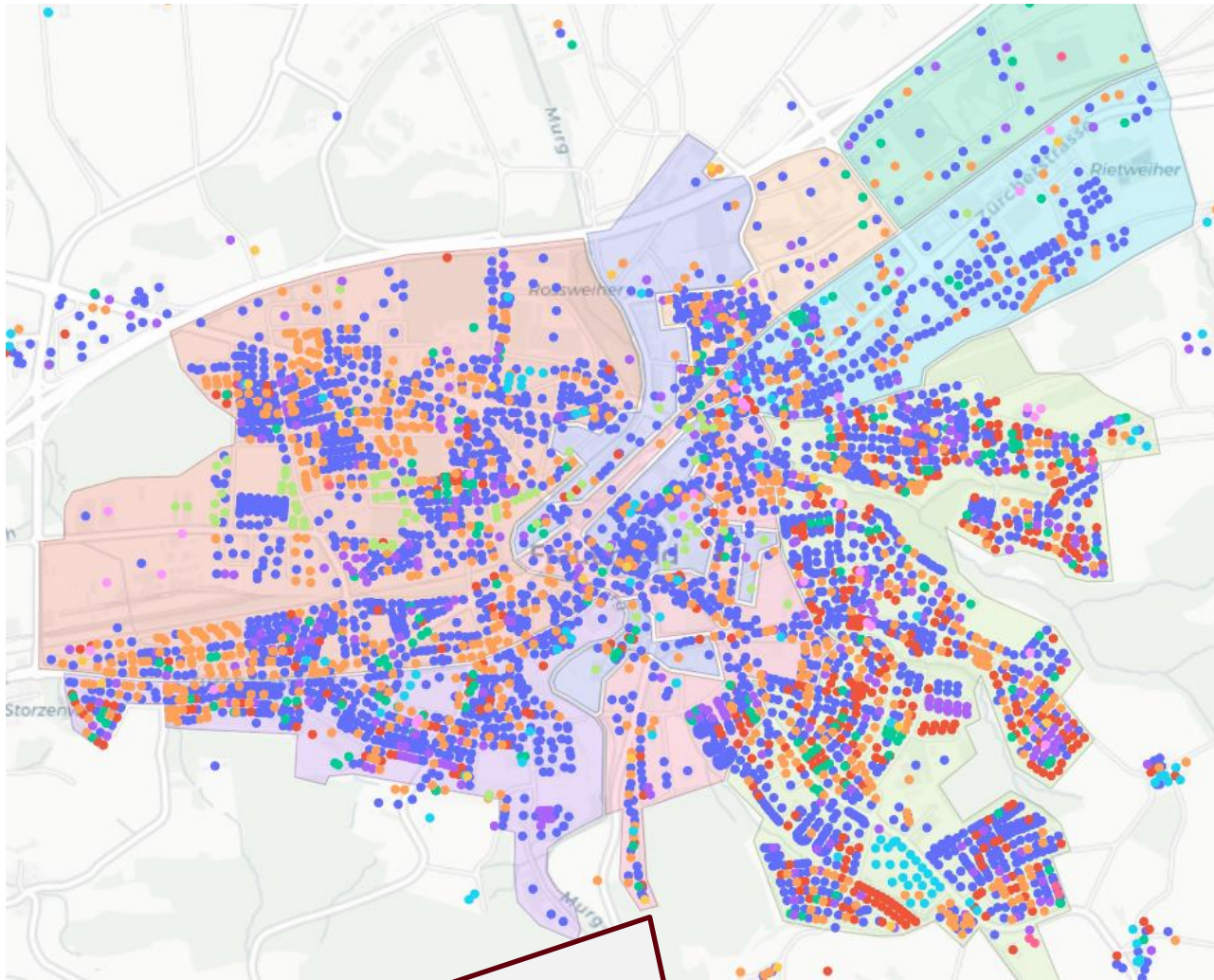
- Die **Dekarbonisierung** der bebauten Umwelt ist ein Kernziel der Schweizer Energiestrategie 2050 und erfordert erneuerbare Energien, Elektrifizierung und sektorübergreifende Synergien.
- Das Projekt strebt einen **integrierten Energieplanungsprozess** für ein CO₂-neutrales Frauenfeld bis 2050 an, wobei die sektorübergreifende Integration entscheidend ist.
- Umfangreiche **Energiedatenerfassung** und -analyse sind für den Planungsprozess essenziell, da Smart Meter und andere Technologien neue Möglichkeiten eröffnen.
- Identifikation **kostenminimaler Netto-Null-Lösungen** mit Fernwärmesystemen, Abwärmenutzung und Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen jeder Heizzone.
- Schwerpunkte sind **CO₂-freie Wärme- und Kälteversorgung, Ausbau lokaler erneuerbarer Energien und Optimierung von Multi-Energie-Netzen** in Übereinstimmung mit den VSE-Szenarien "Energiezukunft 2050".

UESL und Sympheny

UESL leitet das Energiesystemplanungsprojekt für Net-Zero Frauenfeld mit Fokus auf Datenerhebung und Szenarioanalyse für kostenminimale Netto-Null-Lösungen bis 2050, während Sympheny AG bei der Szenarientwicklung mitarbeitet und ihre Plattform für die Energieplanung bereitstellt:

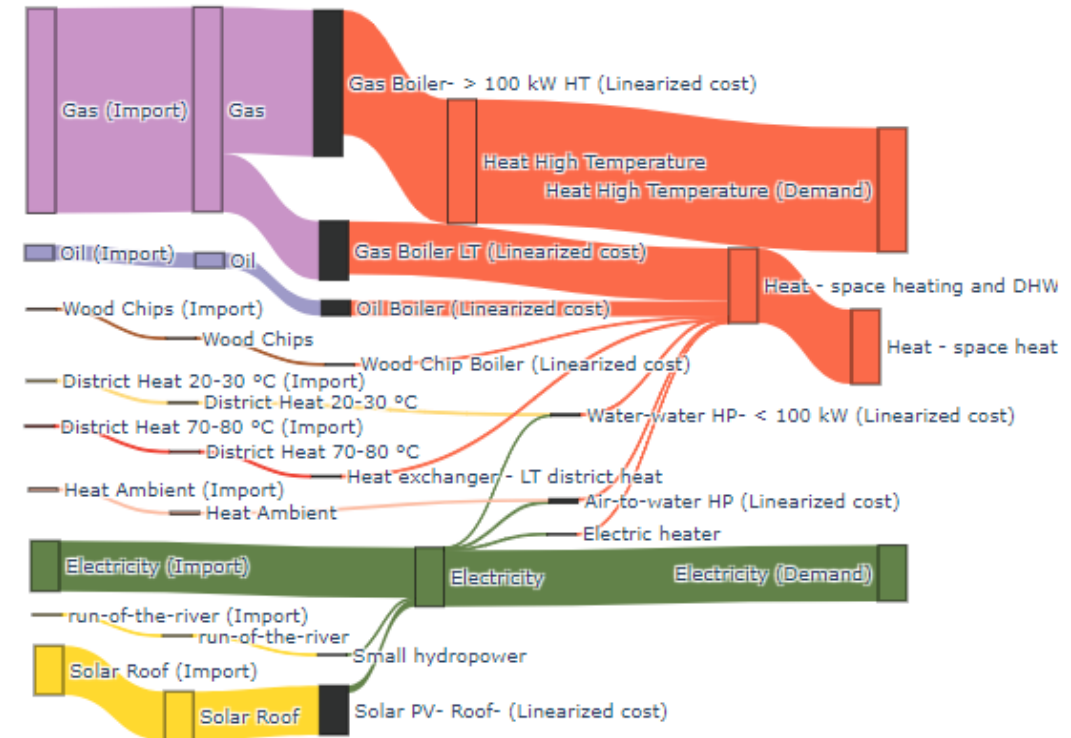
- Das Urban Energy Systems Laboratory (UESL) der Empa entwickelt Methoden zur Dekarbonisierung von Gebäuden bis hin zu Städten, mit Fokus auf Multi-Energie-Systeme, erneuerbare Energien und intelligente Steuerung, und unterstützt Städte und Energieversorger bei der Umsetzung.
- Sympheny (Empa Spin-off) ist eine Cloud-Plattform für die Planung nachhaltiger Energiesysteme, die durch leistungsstarke Optimierungsalgorithmen tausende Versorgungskonzepte analysiert, um optimale Lösungen für Gebäude, Quartiere und Städte zu finden.

Validierte Grundlage durch Messdaten (Ist-Situation)



Heating technology

- Gas boiler
- GSHP
- Heat pump, other
- ASHP
- Oil boiler
- Wood boiler
- Solar thermal
- District heating
- No heating
- Electric heater

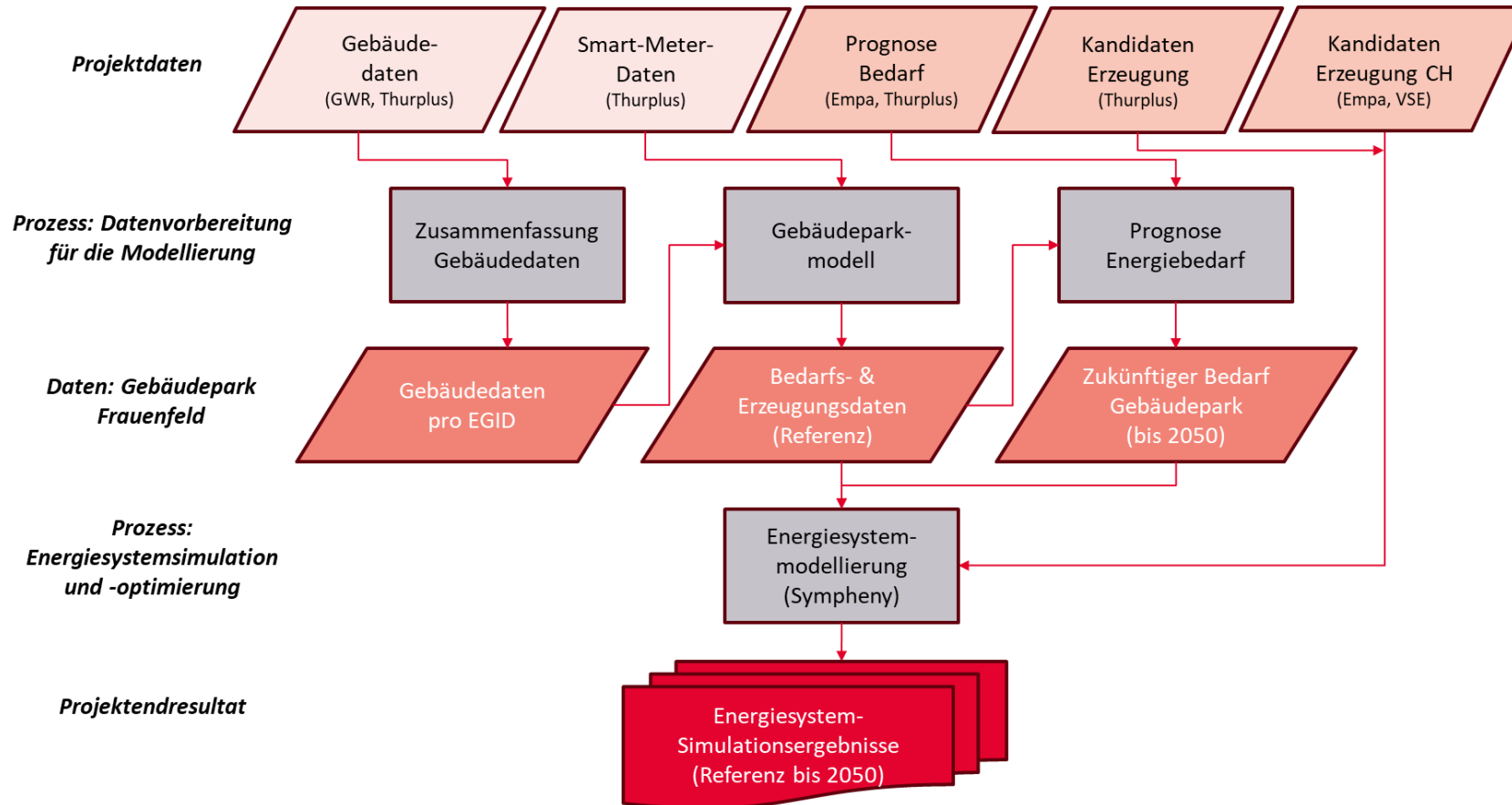


Fast 80 % des Wärmebedarfs der Gebäude werden durch fossile Brennstoffe gedeckt (Gasheizung: 60 %, Ölheizung: 19 %).

02

2.1 Modellierung des Energiebedarfs

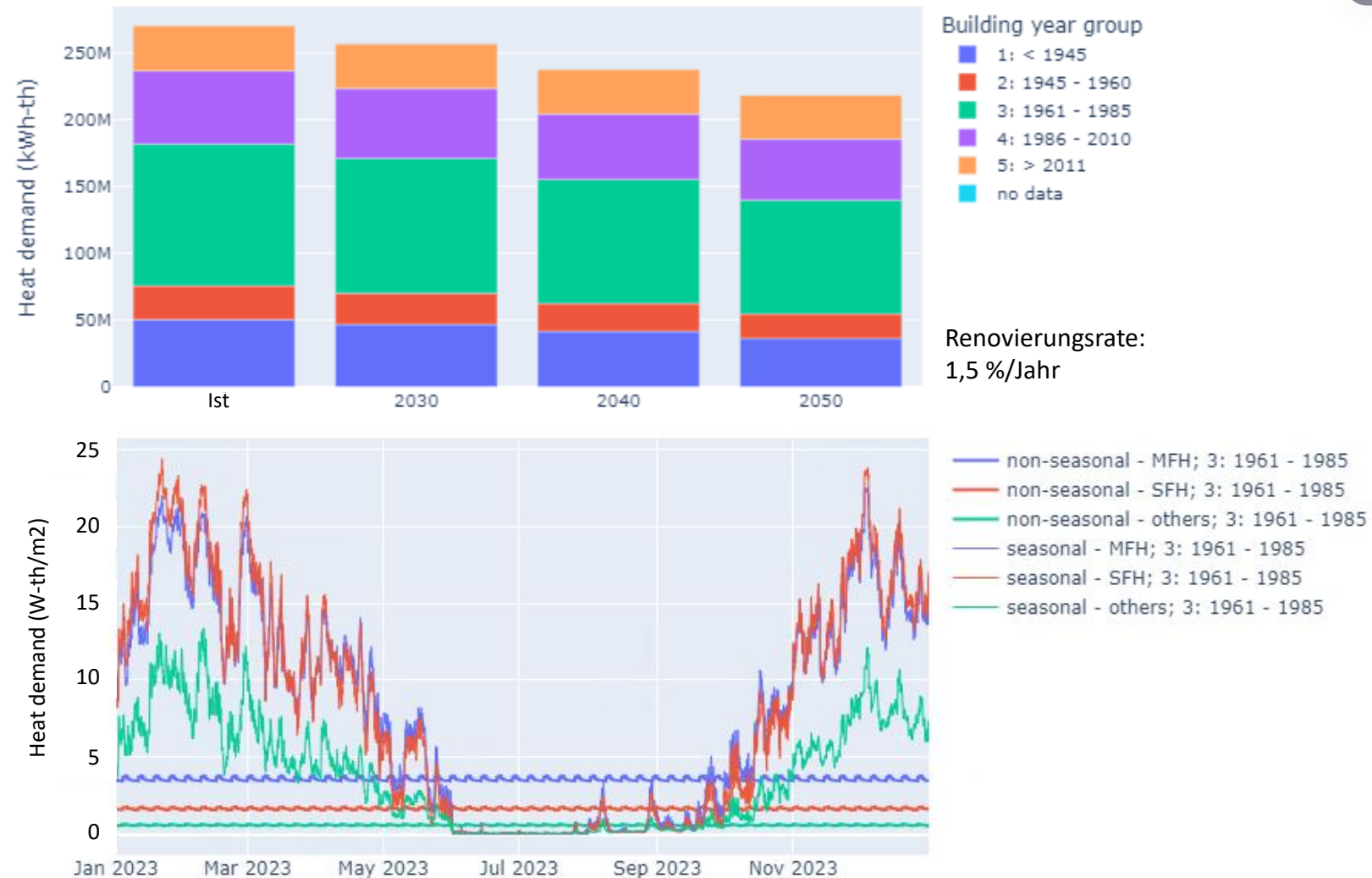
Überblick über das Modellierungsframework



- Statistische Daten (Gebäuderegister, Feuerungsdatenbank, Thurplus)
- Daten und Annahmen aus früheren Studien (VSE Energiezukunft 2050)
- Nutzung von Smart-Meter Daten und Gaszählerdaten
- Einhaltung der Datensicherheit und Privacy (aggregiert und anonymisiert)

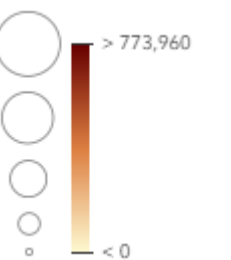
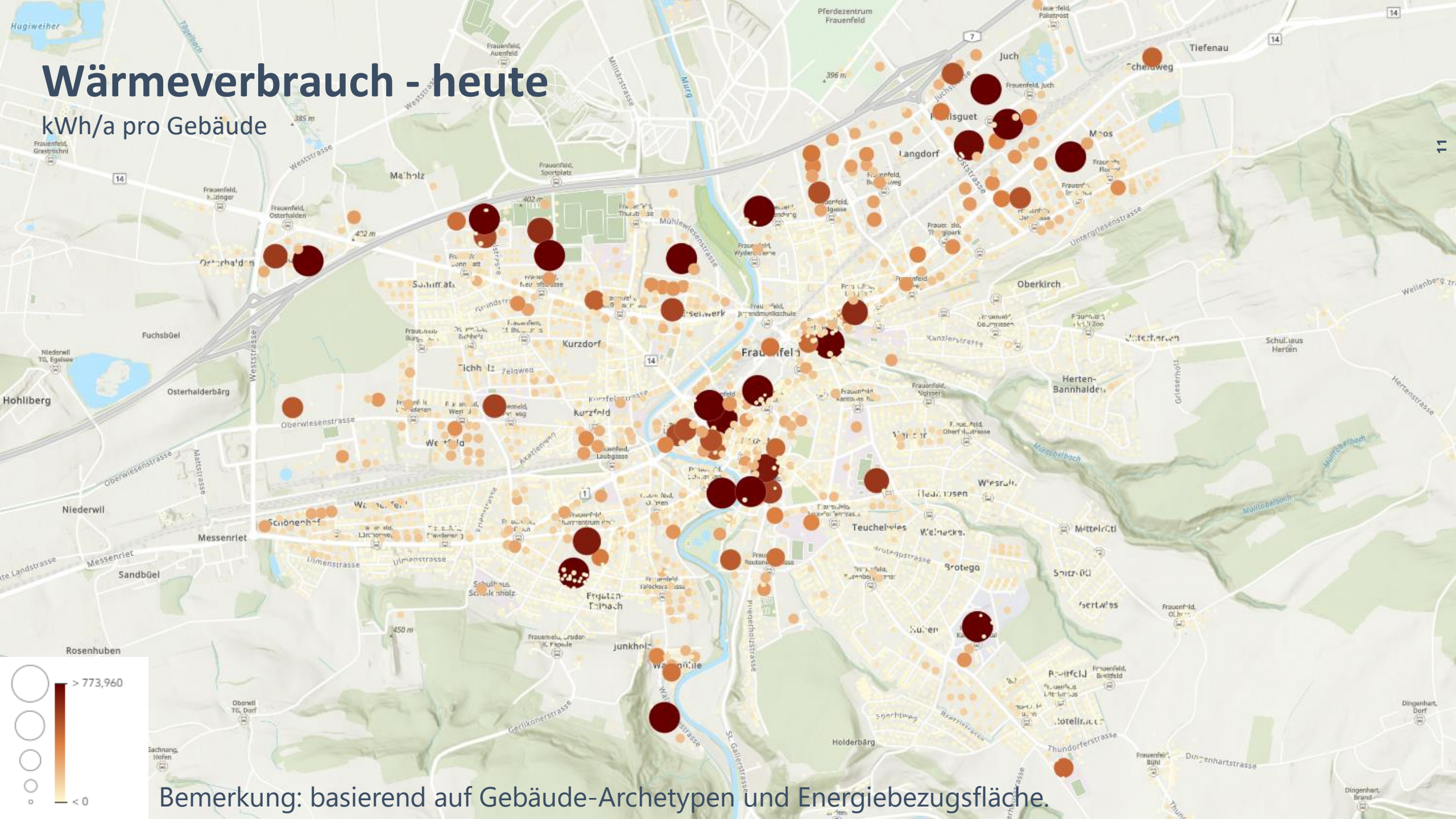
Wärmebedarf Gebäude

- Die zukünftige **Reduktion** des Wärmebedarfs basiert auf einer früheren Studie (2023) zum schweizerischen Gebäudebestand.
- Die **Wärmebedarfsprofile** der Gebäudetypen werden aus den täglichen Gaszählerdaten und den Gebäudeinformationen hergeleitet.



Wärmeverbrauch - heute

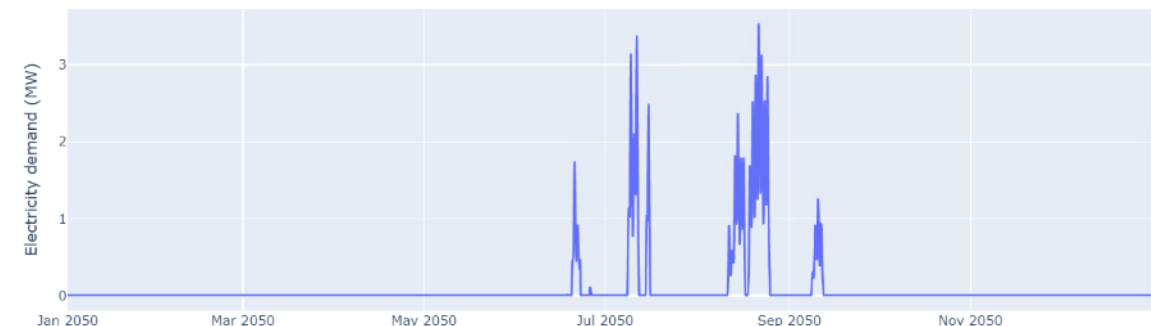
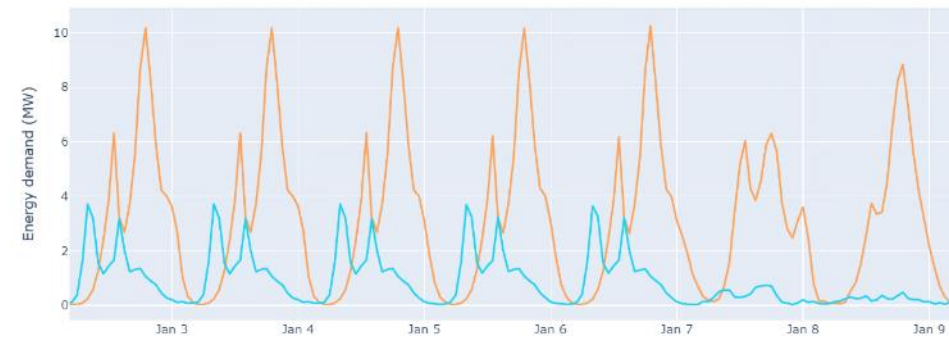
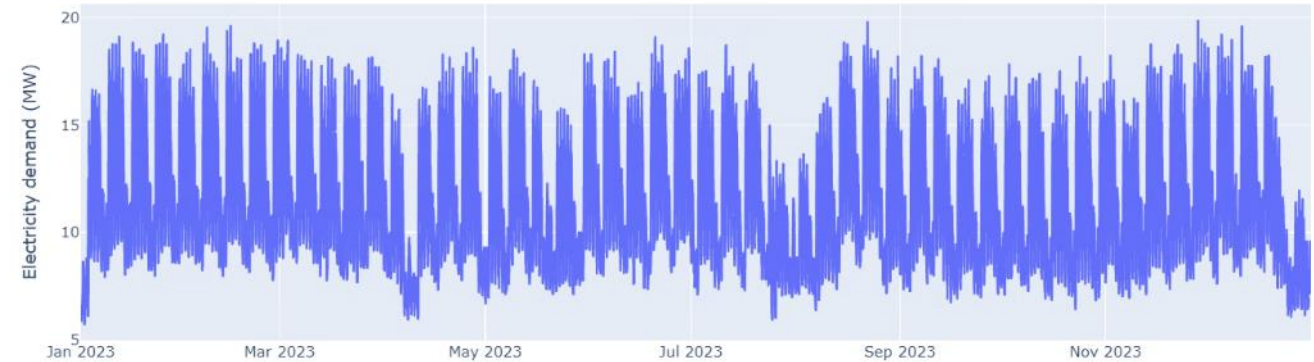
kWh/a pro Gebäude



Bemerkung: basierend auf Gebäude-Archetypen und Energiebezugsfläche.

Strombedarf Gebäude

- **Allg. Strombedarf (ohne Heizung)** wird aus Zählerdaten (2023) abzüglich Heizbedarf hergeleitet, nach Gebäudetyp normalisiert, pro Heizzone aggregiert und für die Zukunft als konstant angenommen.
- **EV-Ladebedarf:** Die Ladeprofile für Elektrofahrzeuge (EV) stammen aus einer Studie, welche die tägliche Leistung nach Wochentagen/Wochenenden, Zuhause/Büro und Monaten detailliert analysierte.
- **Kühlbedarf:** Ein normalisiertes Kühlbedarfsprofil wird unter Verwendung der Daten von 'Renewable Ninja' (2023) geschätzt.



02

2.2 Modellierung der zukünftigen Energieversorgung

Modellierungsansatz



Der Gasverbrauch der Industrie wird bei der Analyse nicht berücksichtigt.

Modellaufbau

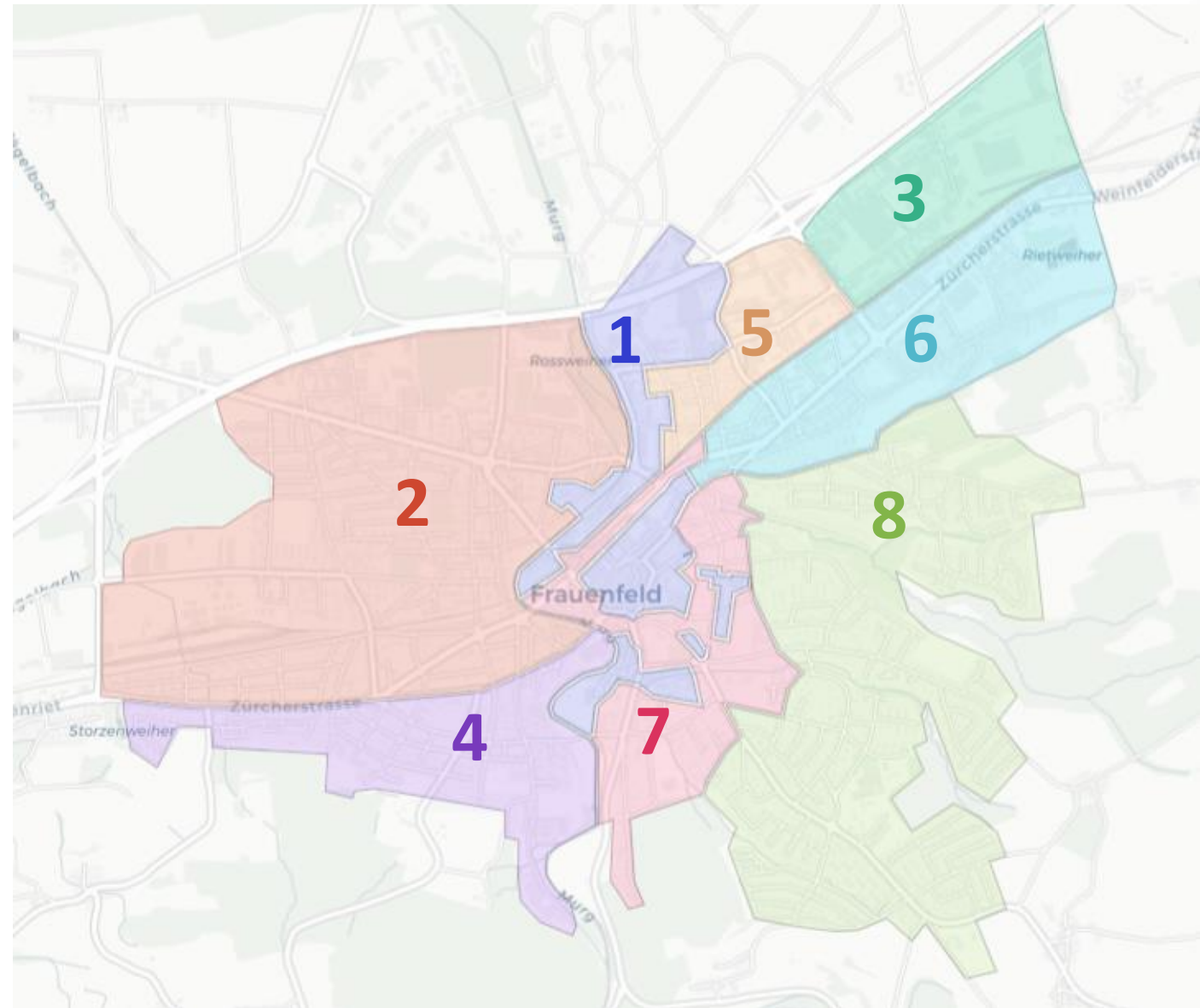
Geografische Auflösung: 8 Heizzonen

Zeitliche Auflösung: Stündliche Profile

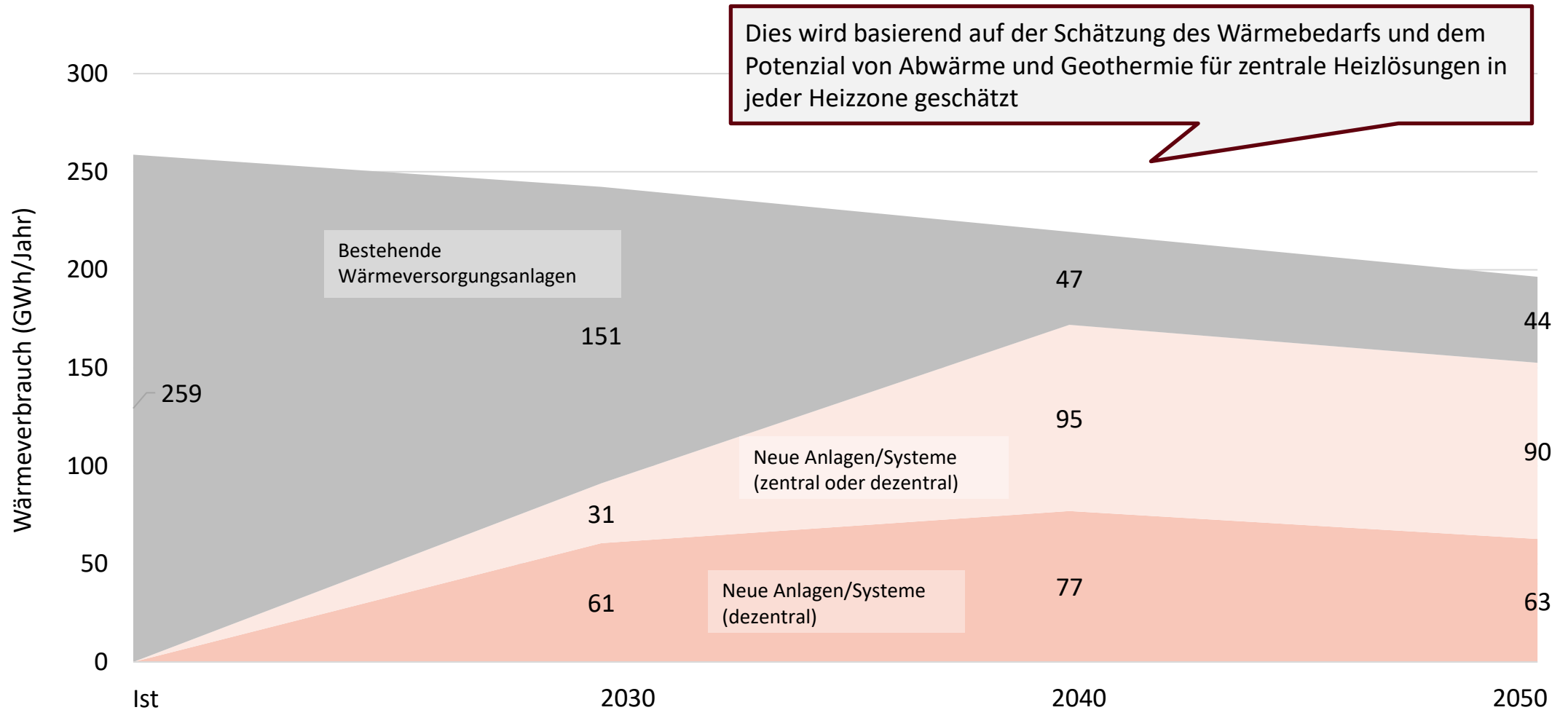
Zeitliche Aufteilung: 4 Phasen, je 10 Jahren
(Ist, 2030, 2040, 2050)

Optimierungsziel:

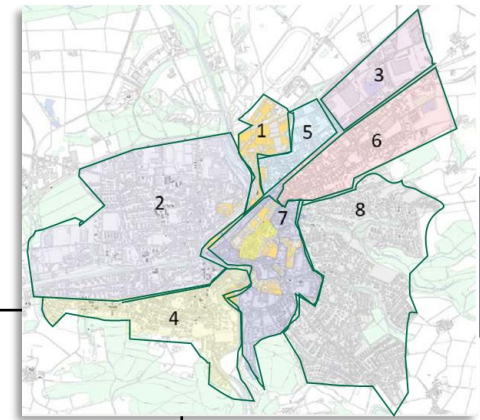
- **Minimale Gesamtsystemkosten** inkl. aller Technologien & aller Energiequellen
- Die Optimierung erfolgt für die **8 Heizzonen**



Wärmebedarfsentwicklung



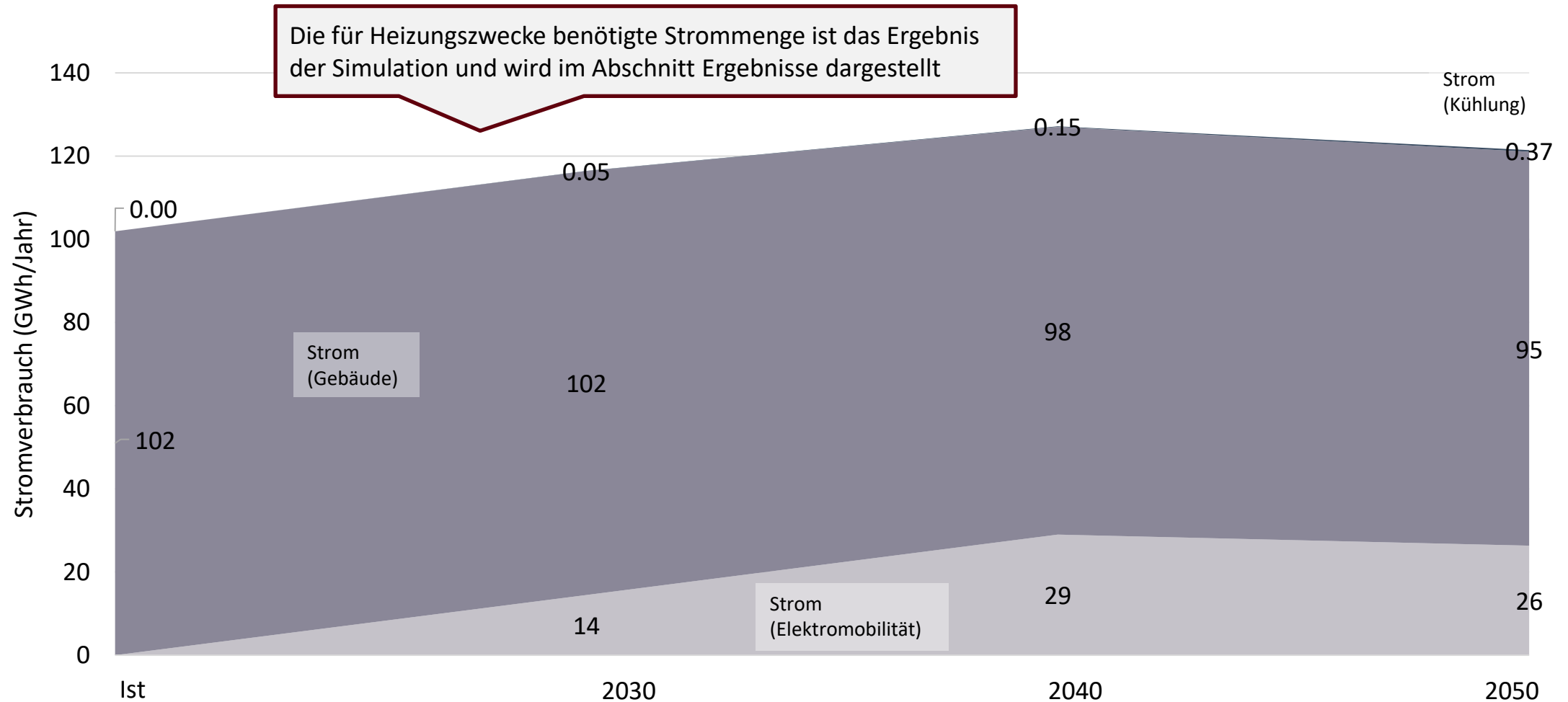
Zentrale Versorgungsoptionen - Wärme



	+ Inbetriebnahme vor 2030 möglich Netzerweiterung (Erweiterung zentrale Lösung)	+ Inbetriebnahme erst ab 2030 möglich Netzerweiterung (Erweiterung zentrale Lösung)	Neue zentrale Lösung
Zone 1	Erweiterung Energieverbund Abwasser ARA (auf 14,5 GWh bzw. 28 GWh bei Speicherung) Potentielle Erweiterung mit Abwärme des Gebäudes Murgbogen (und Speicherung mit Erdsonden, 600 MWh) Erweiterung Anergienetzwerk mit zentralen WP als Quelle für EV Altstadt		
Zone 2	Erweiterung Wärmeverbund durch Bioenergie Frauenfeld AG (20 GWh Phase 1) 2 GWh Abwärme Datacenter	Erweiterung Wärmeverbund durch Bioenergie Frauenfeld AG (ab Phase 2, 38 GWh)	
Zone 3			Grundwasser-WP als Quelle für neue Wärmeverbund Abwärme Industrie, Wärmenutzung ab Trinkwasseraufbereitung: möglich, aber aufgrund Informationsmangel Daten nicht berücksichtigt
Zone 4		Erweiterung des Wärmeverbundes von Zone 2	Grundwasser-WP oder Erwärme.-WP als Quelle für neue Wärmeverbund
Zone 5		Erweiterung Fernwärmering ARA im Zusammenhang mit Perimeter Murgbogen (Zone 1)	
Zone 6			
Zone 7	Erweiterung Fernwärmering ARA mit Fernwärme Altstadt und Netzerweiterungen (i.e. link Anergy zone 1 to zone 7)	Erweiterung des Anergieverbundes von Zone 1	
Zone 8			

- Dezentrale Lösungen (z.B. LW-WP, Pellet-Kessel, Erdwärme-WP mit Erdsonden) werden in allen Phasen berücksichtigt
- Innerhalb einer Zone wählt der Algorithmus eine Technologie für den Teil des Bedarfs, der „offen“ ist, nach einem sich gegenseitig ausschliessenden Verhalten: zentrales ODER dezentrales System (z.B. wenn dezentral: Geothermie ODER Luftwärmepumpe ODER Pellets)

Strombedarfsentwicklung (ohne Heizung & WW)

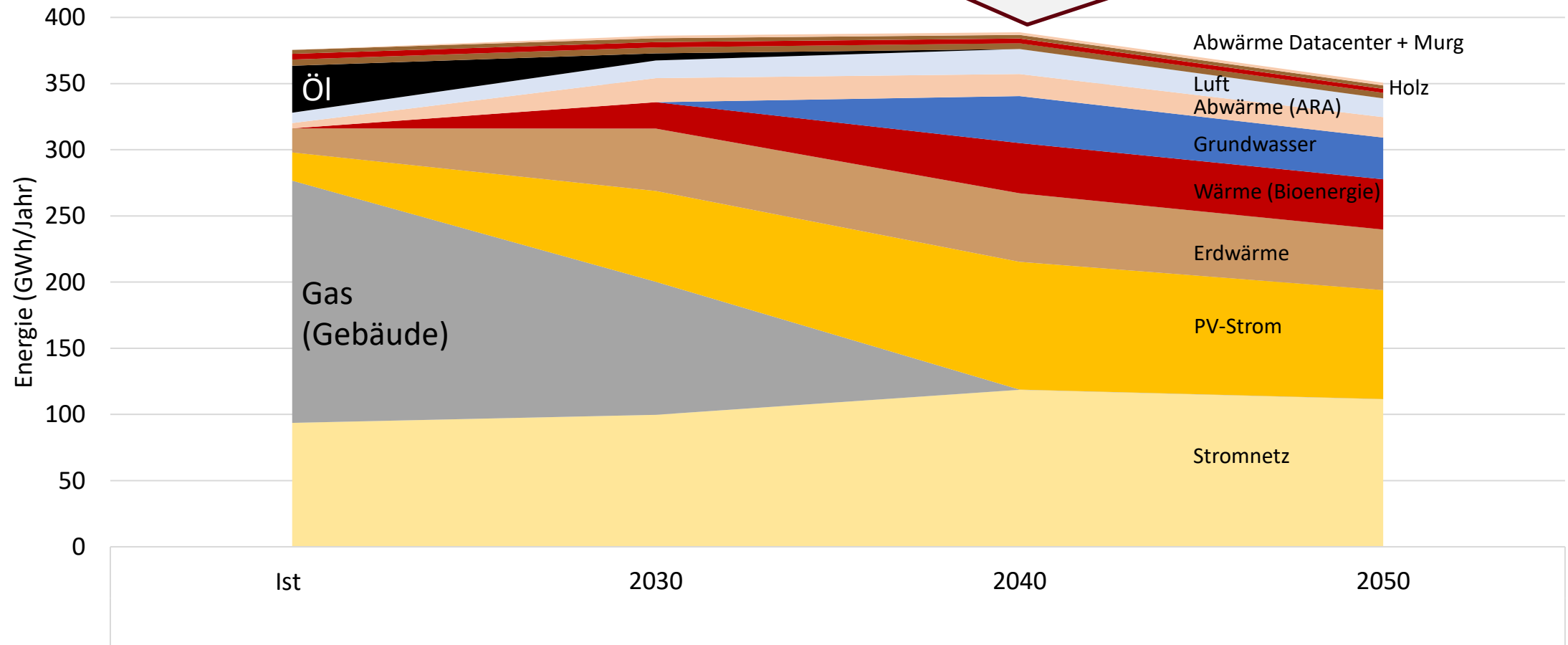


03

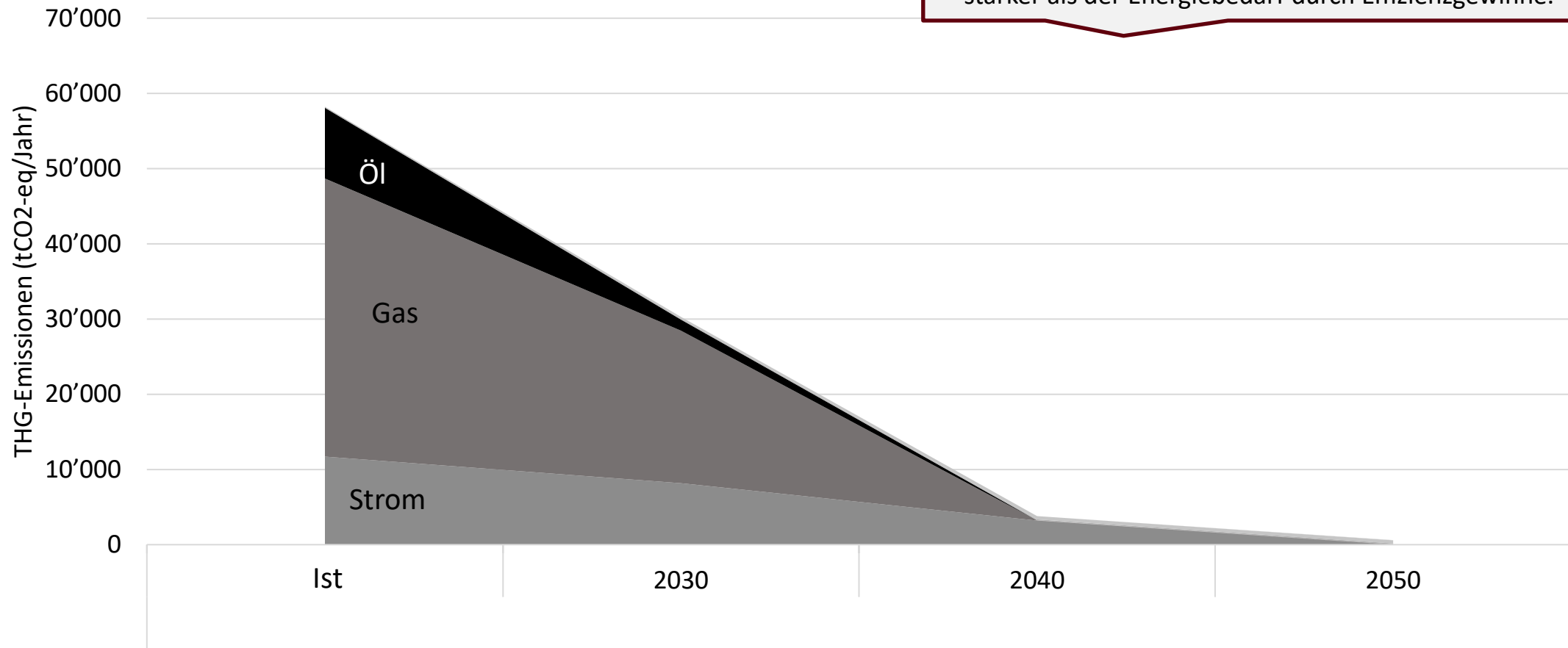
3.1 Ergebnisse Schlüsselkennzahlen

Transformation Energiemix

- Durch Ersatz der Gas- und Ölkessel ist die Versorgung im Jahr 2050 vielfältiger und beruht auf vielen verschiedenen Quellen.
- Der Erdgasverbrauch der Industrie (ca. 190 GWh/a) ist im Diagramm nicht berücksichtigt.

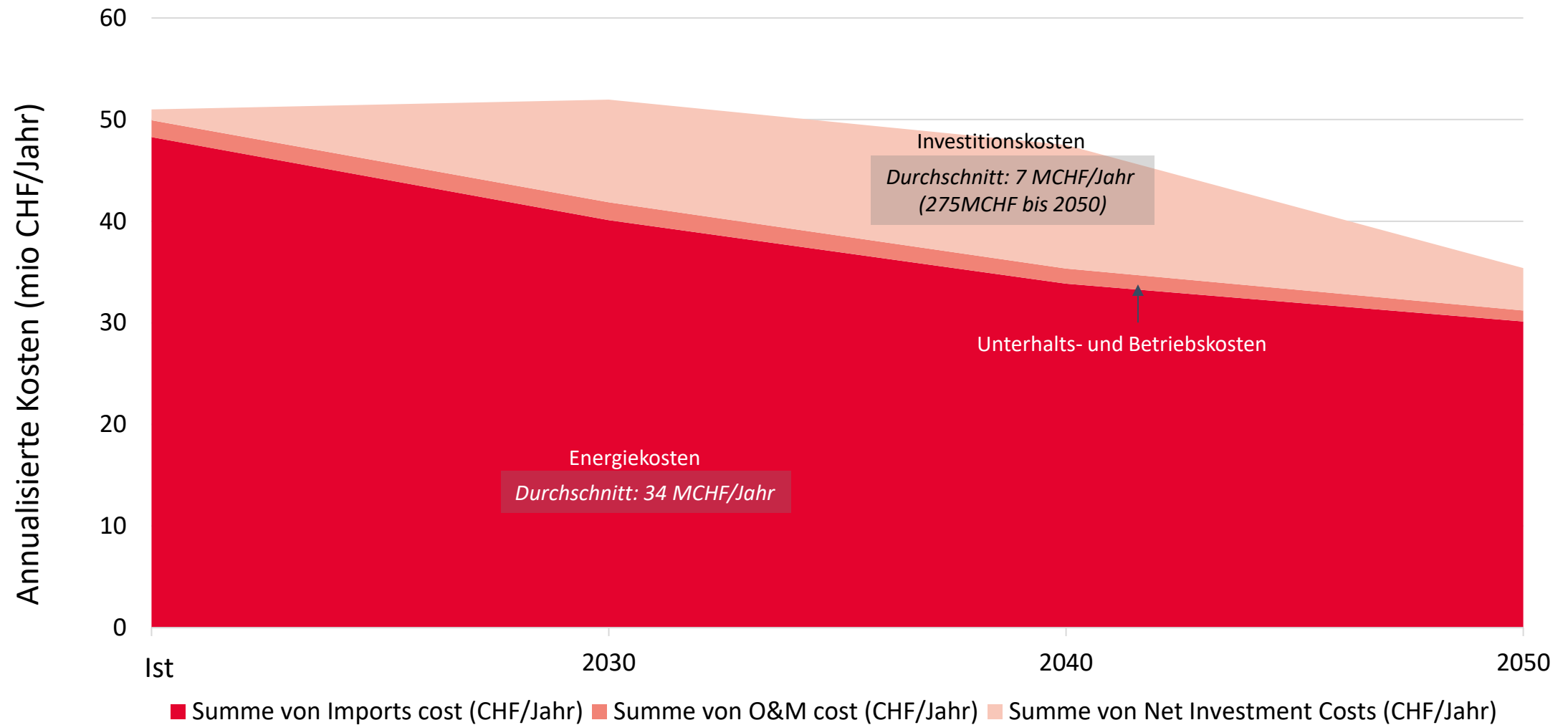


CO₂-Emissionen (Scope 1 + 2)

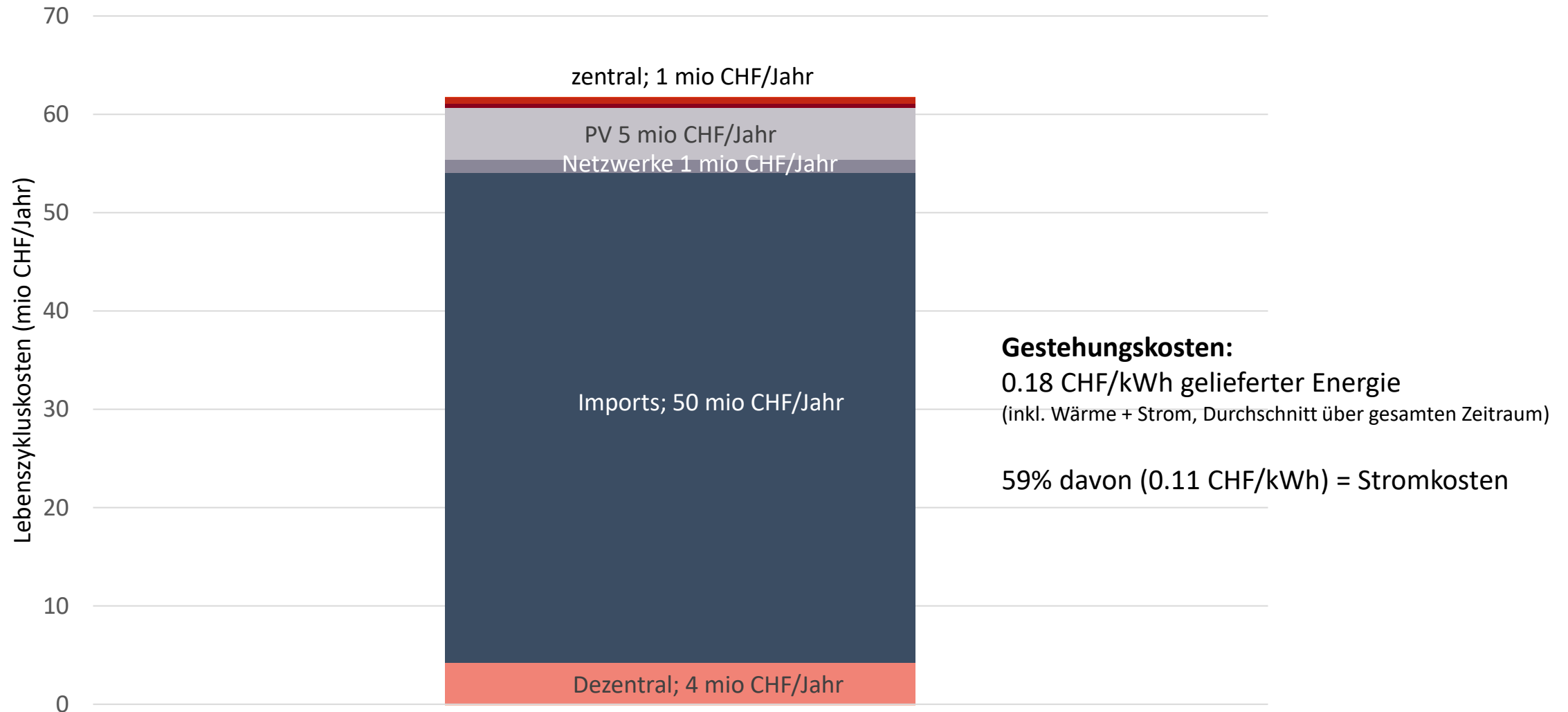


• Dank des Übergangs zu CO₂-armen Energiequellen und Strom sinken die CO₂-Emissionen des Systems deutlich stärker als der Energiebedarf durch Effizienzgewinne.

Annualisierte Lebenszykluskosten



Lebenszykluskosten (annualisiert)



Zusammenfassung

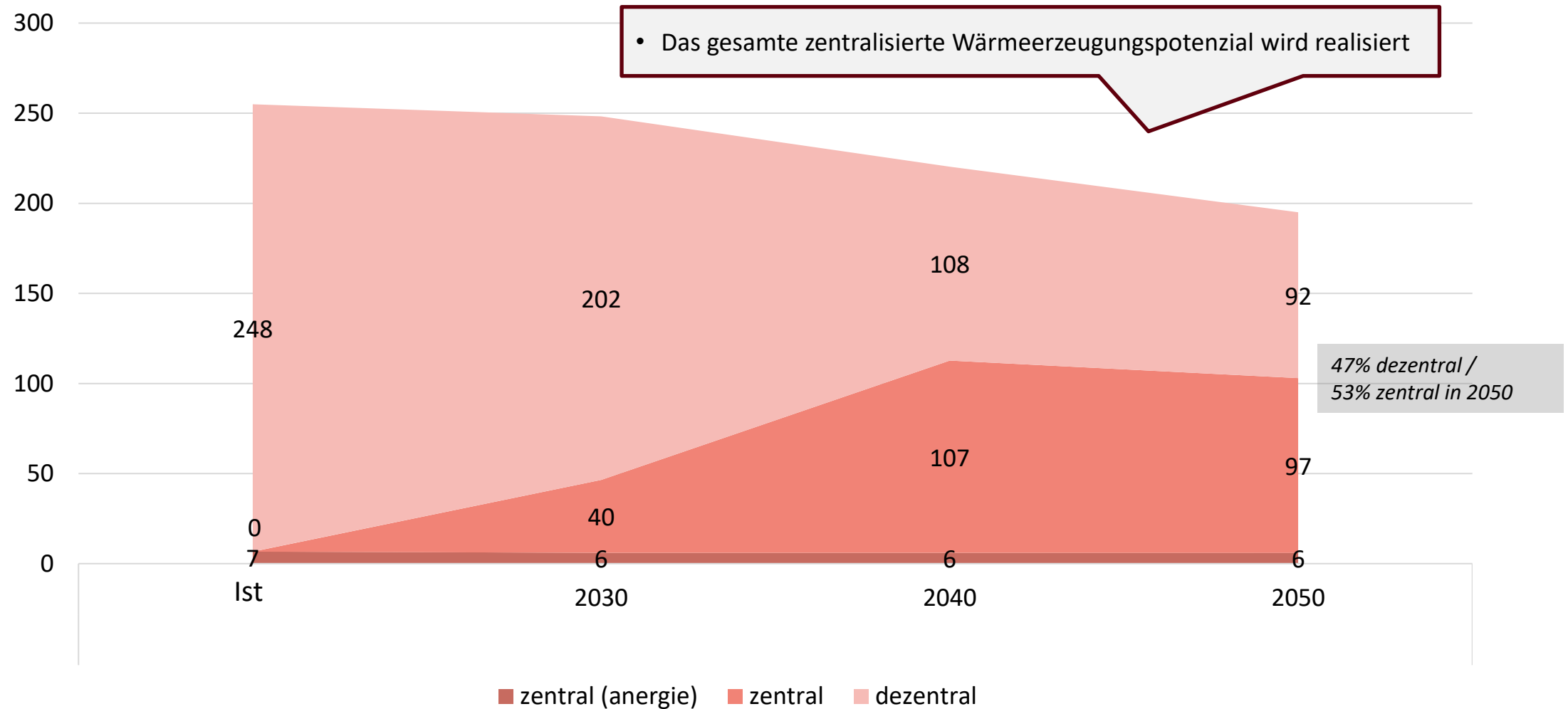
Energieversorgung IST → 2050

- Vollständiger Ausstieg aus Öl und Gas nach 2040
- Netto-Null-CO₂-Emissionen in 2050
- Mix aus Primärenergieträgern: Grundwasser, Pellets, Erdwärme, Abwärme, Holz, Luft, ...
- Die Hauptkosten sind Energiekosten (34 MCHF/a), insbesondere für Strom
- Bis 2050 sind erhebliche Investitionen notwendig (7 MCHF/a), um das Energiesystem umzubauen

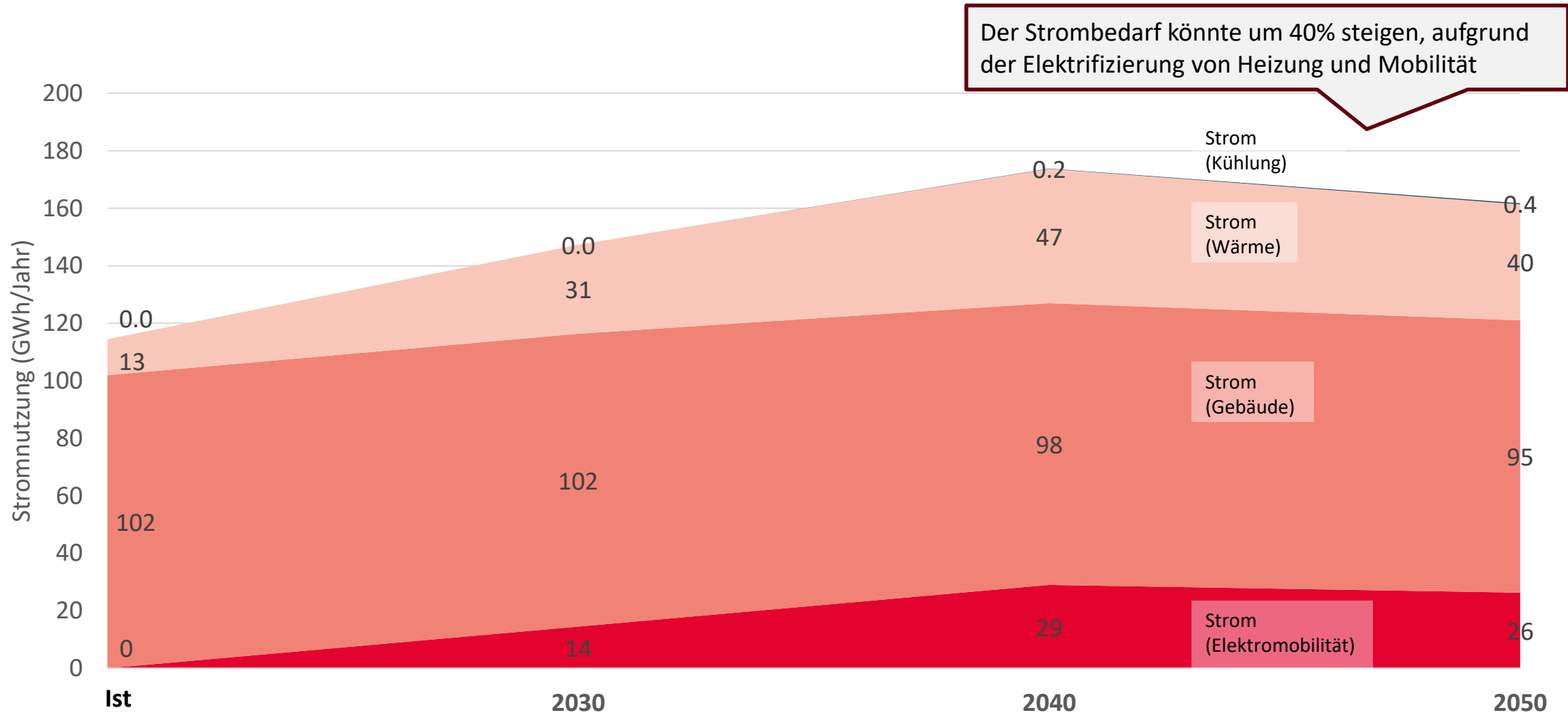
03

3.2 Ergebnisse pro Sektor

Wärmeversorgung Zentral vs. Dezentral



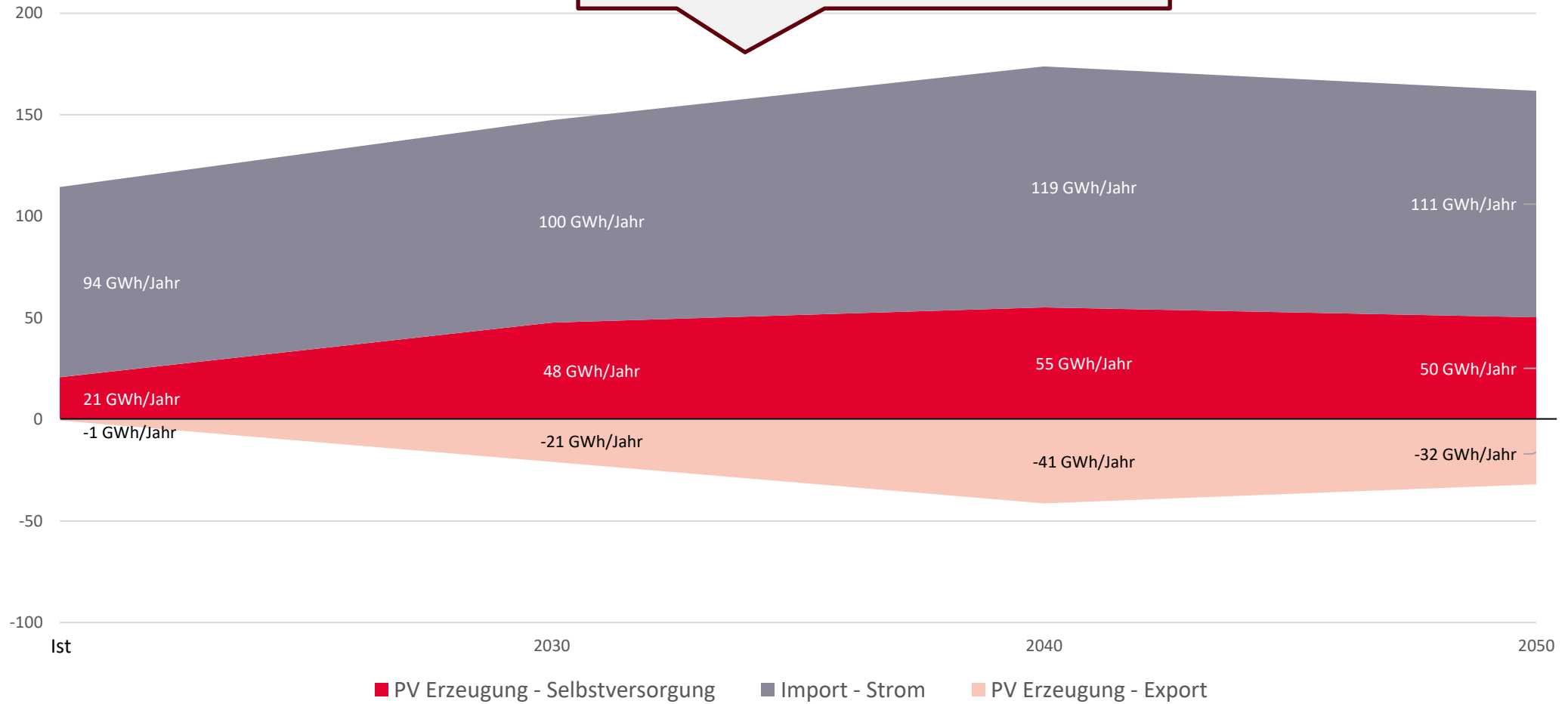
Stromnutzung (inkl. Heizung und WW)



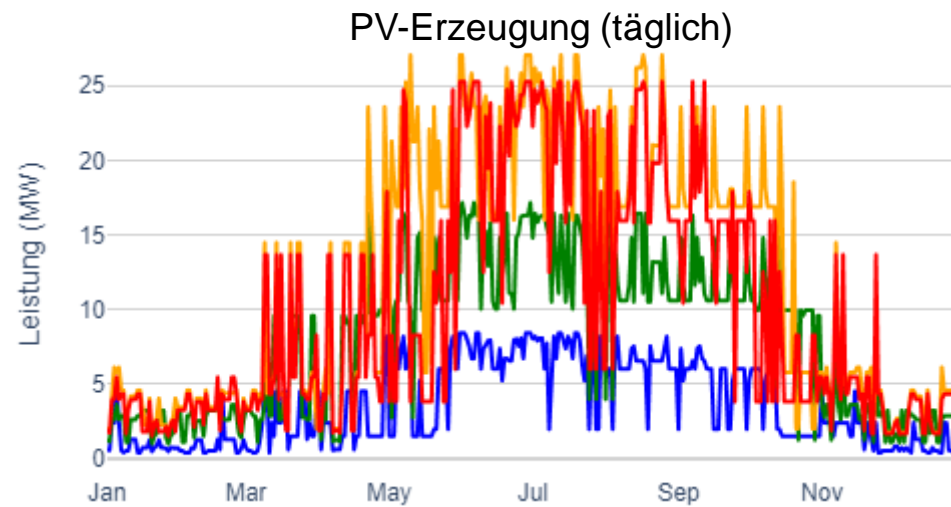
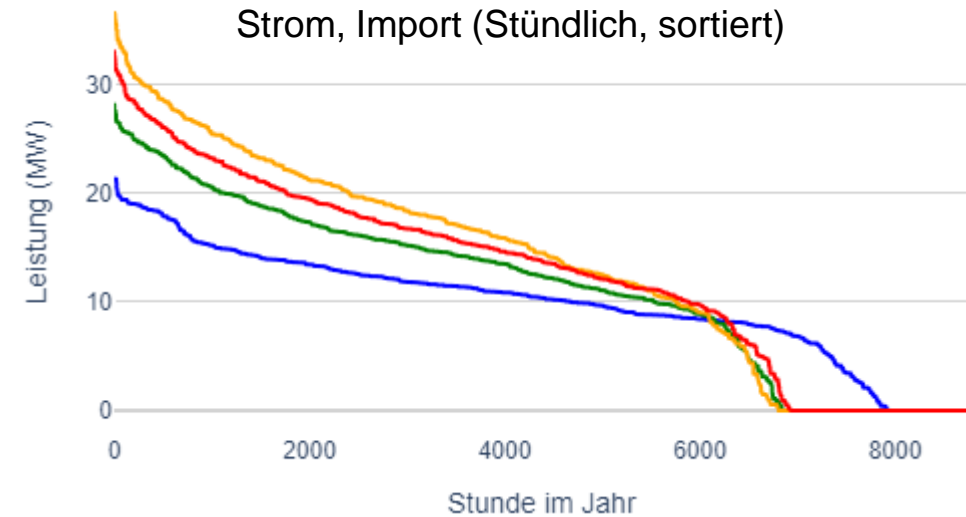
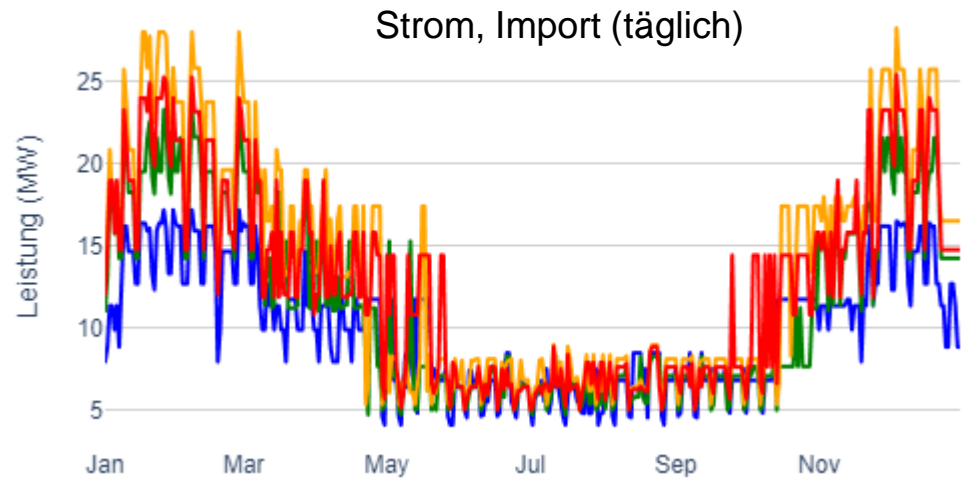
Stromversorgung

Eine maximale Abregelung von 30 % der Leistungskapazität wird angewendet, führt jedoch zu einem Verlust von 4-13% der PV-Stromerzeugung.

Aggregiert 2050	
Eigenverbrauch	61%
Selbstversorgung	31%



Stromimport- und PV-Erzeugungsp Profile



Das Ungleichgewicht zwischen Energiebedarf und -angebot nimmt mit der Elektrifizierung der Wärmeversorgung und dem Ausbau der PV-Erzeugung deutlich zu.

PV-Abregelung

	2020	2030	2040	2050
PV-Abregelung (% erzeugte PV-Energie abgeregelt)				
Zone 1	0%	7%	11%	4%
Zone 2	0%	4%	5%	4%
Zone 3	0%	6%	8%	4%
Zone 4	0%	8%	7%	4%
Zone 5	0%	13%	11%	5%
Zone 6	0%	5%	5%	5%
Zone 7	0%	6%	4%	4%
Zone 8	0%	6%	9%	6%

- Eine maximale Abregelung von 30 % der Leistungskapazität wird angewendet, führt jedoch zu einem Verlust von mehr als 4-13% der PV-Stromerzeugung.
- Geringe Abregelung im Jahr 2050 aufgrund geringerer PV-Installationen.
- Die Zonen (z.B. 1, 3 und 5) haben eine hohe aktuelle PV-Installation und auch eine hohe PV-Abregelung.

Zusammenfassung

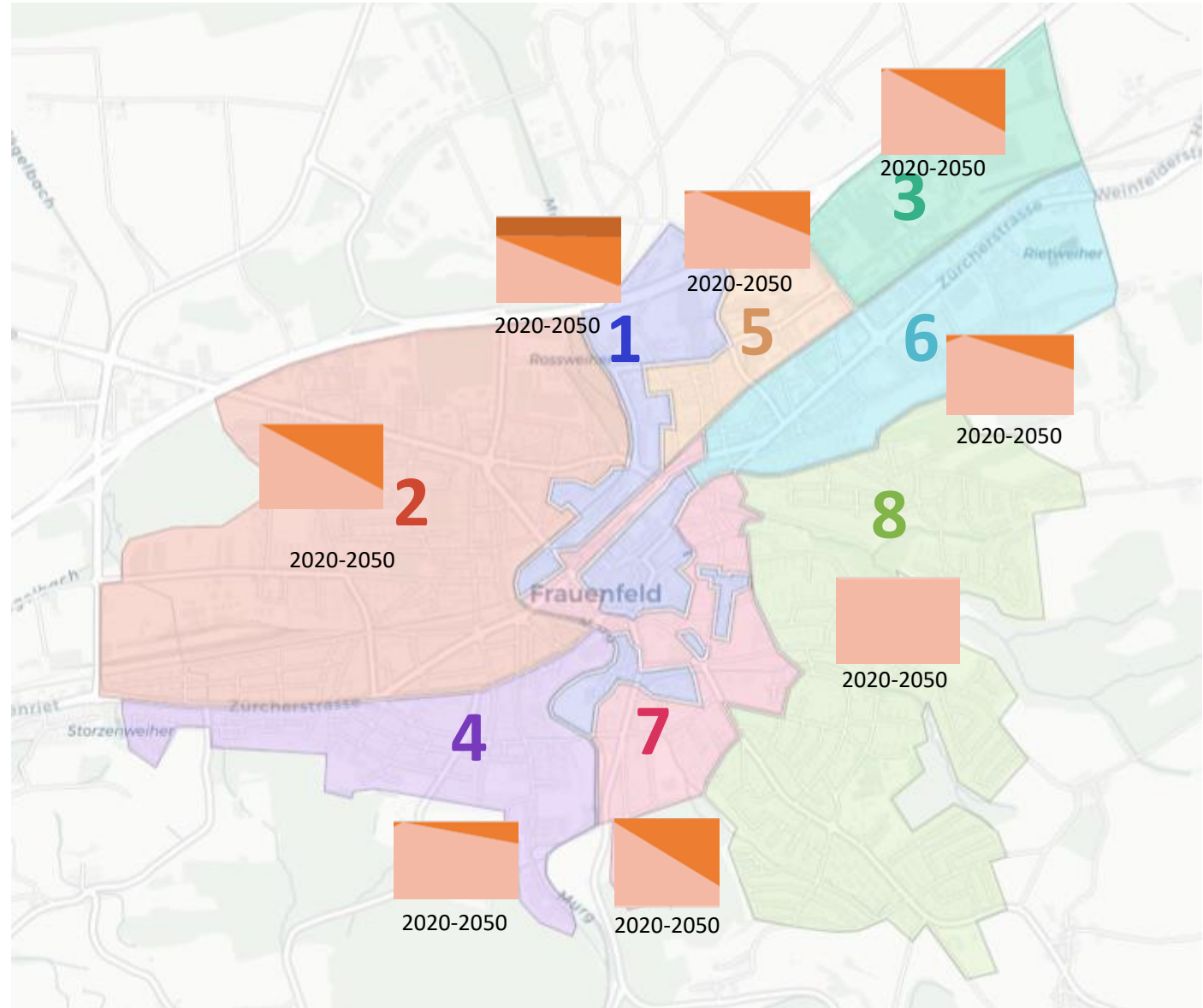
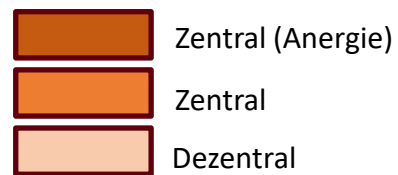
Wärmeversorgung und Stromversorgung IST → 2050

- Wechsel zu einer zunehmend zentralisierten Wärmeversorgung (54% zentralisiert, 46% dezentral in 2050)
- Das gesamte zentralisierte Wärmeerzeugungspotenzial wird realisiert
- Höherer Strombedarf, insbesondere durch Wärme (25%) and Elektromobilität (16%) in 2050
- Starkes Wachstum der PV-Produktion (+260 - 300%)
- Selbstversorgung durch PV in 2050: 30%

03

3.3 Ergebnisse pro Zone

Übersicht Wärmeversorgung pro Zone

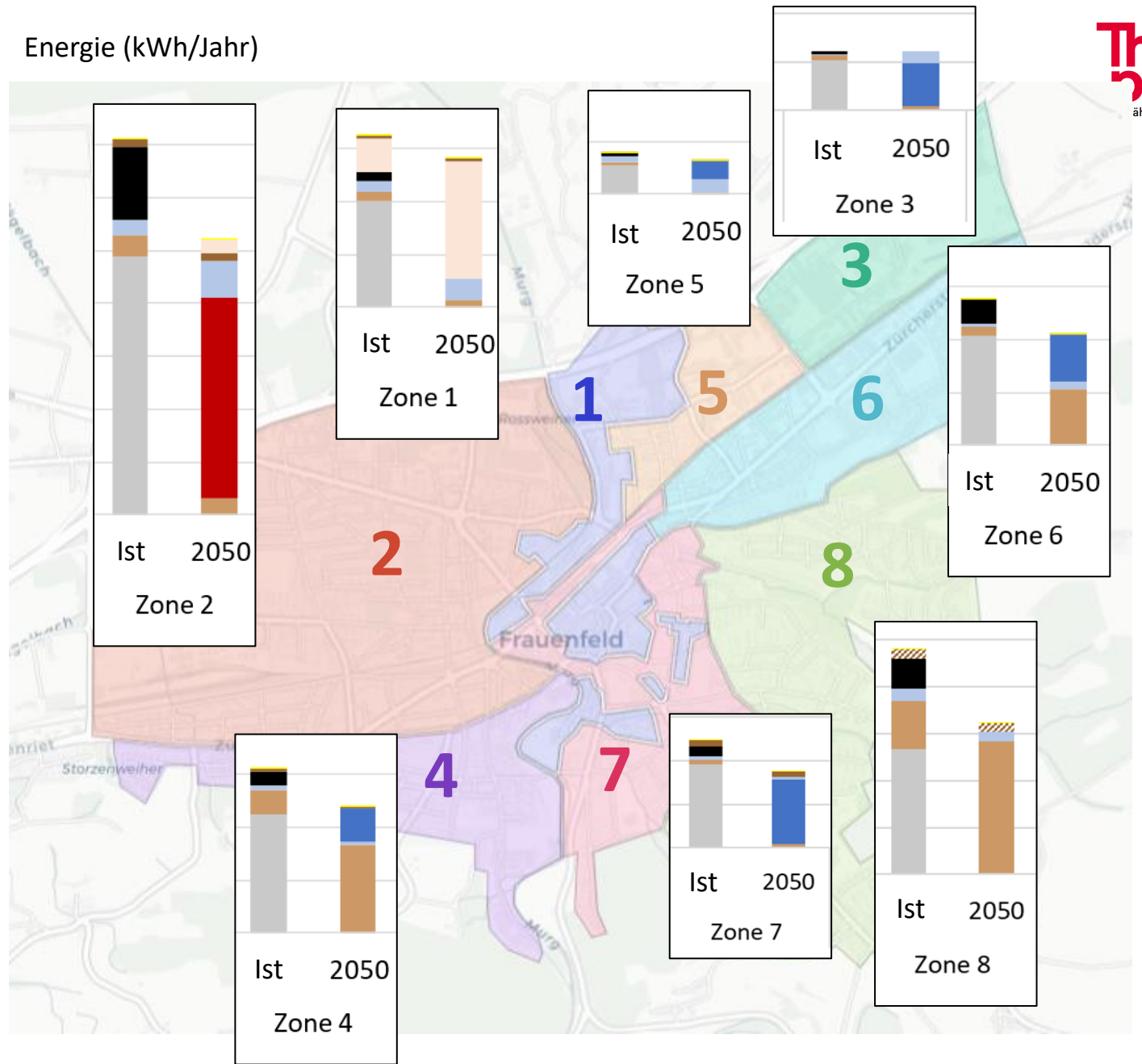


Übersicht Wärmeversorgung pro Zone



Die Simulation berücksichtigt den Typ und die Lebensdauer der bestehenden Heizsysteme jedes Gebäudes sowie das Potenzial für Fernwärme unter Nutzung von Abwärme und geothermischen Bedingungen in jeder Heizzone

Energie (kWh/Jahr)



03

3.4 Sensitivitätsanalyse

3 Szenarien*

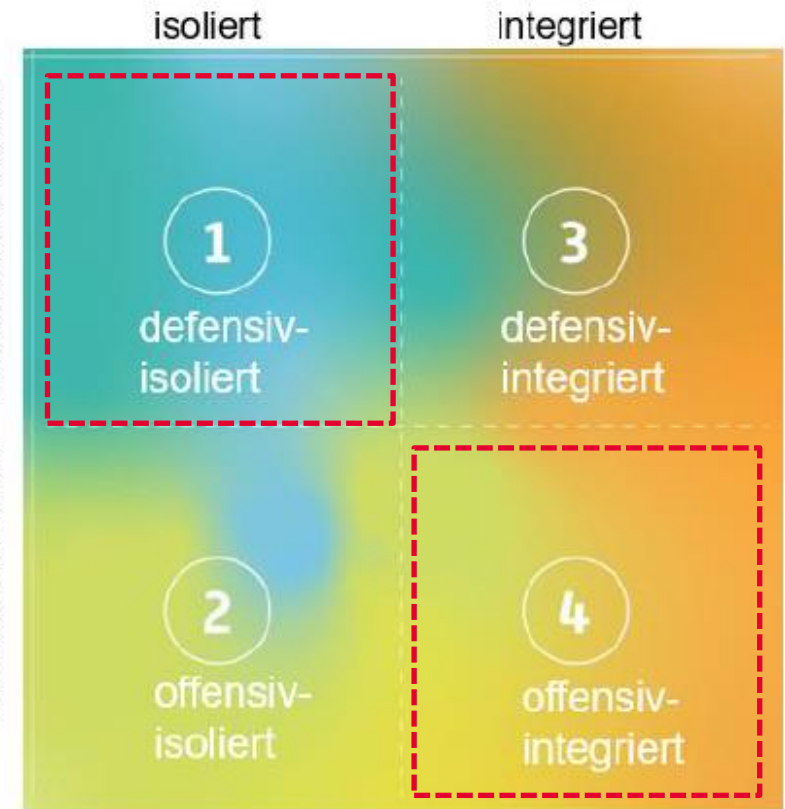
1. VSE Szenario *Offensiv-Integriert (Basis-Szenario)*
2. VSE Szenario *Offensiv-Integriert + Batterien*
3. VSE Szenario *Defensiv-Isoliert*

Parameter	Offensiv-Integriert (Szenarien 1 & 2)	Defensiv-Isoliert (Szenario 3)
Heizwärmebedarf	Niedrig	Hoch
Strombedarf	Niedrig	Hoch
Strombedarf für E-Mobility	Niedrig	Hoch
Kühlbedarf	Niedrig	Hoch
Biomassepotenzial	Hoch	Niedrig
Stromkosten (CH)	Niedrig	Hoch
Strom-CO ₂ -Emissionen (CH)	Niedrig	Hoch

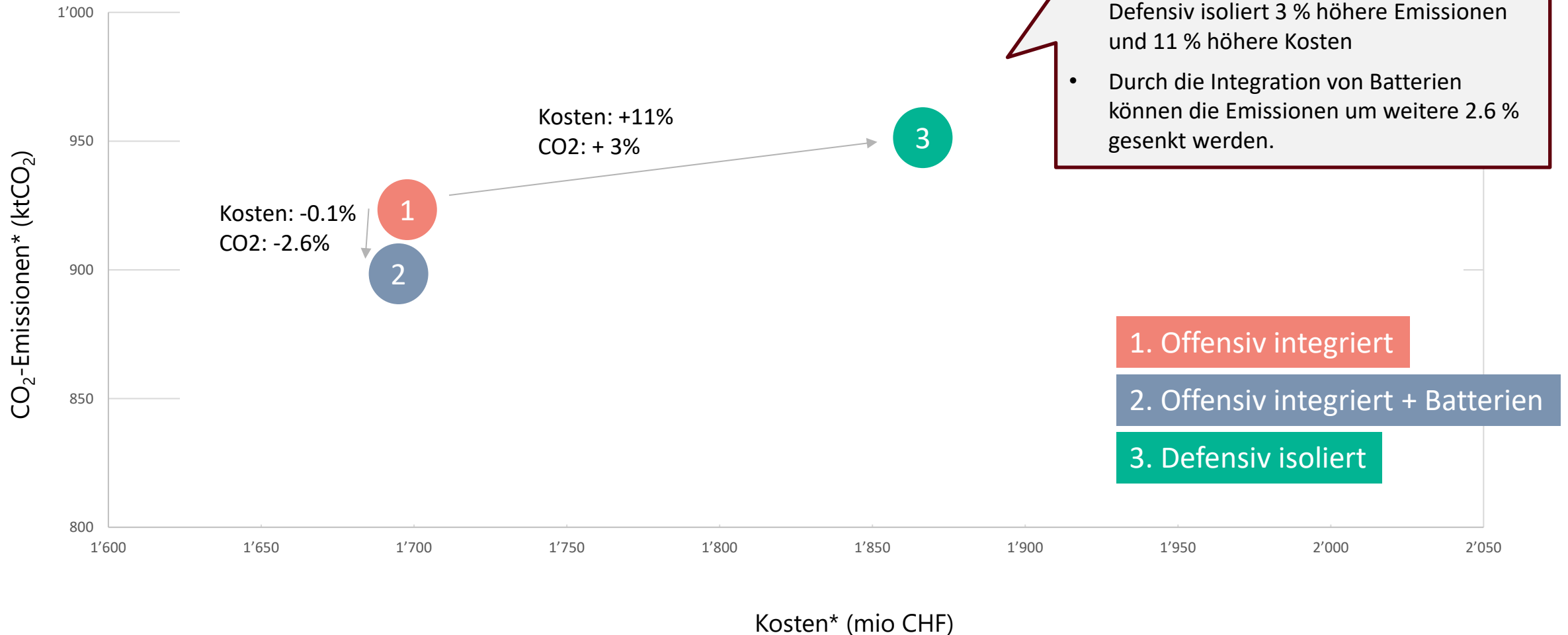
Akzeptanz neue Energie-Infrastruktur

Hohe Akzeptanz, offensiver Ausbau
Tiefe Akzeptanz, defensiver Ausbau

Schweiz im energiepolitischen Verhältnis zu Europa



Szenarienvergleich – Kosten & CO2



- Im Vergleich zu Offensiv integriert hat Defensiv isoliert 3 % höhere Emissionen und 11 % höhere Kosten
- Durch die Integration von Batterien können die Emissionen um weitere 2.6 % gesenkt werden.

Wärmeversorgung

Vergleich Szenarien

	Storm (Import)	Gas	Erdwärme	Bioenergie	Luft	Grundwasser	Abwärme ARA	Öl	Pellets	Fernwärme vorhanden	Holzschnitzel	Abwärme Datacenter	Abwärme Murg
Offensiv integriert													
Ist	87	183	18			4	8	35	5	4	3		
2030	100	100	47	20		18	13	5	5	4	3	2	1
2040	119	0	52	38	35	17	19	0	4	3	3	2	1
2050	111	0	46	38	31	15	14	0	4	3	3	2	1
Offensiv integriert mit Batterie													
Ist	87	183	18			4	8	35	5	4	3		
2030	79	100	47	20		19	13	5	5	4	3	2	0
2040	94	0	52	38	35	17	19	0	4	3	3	2	0
2050	88	0	46	38	31	17	14	0	4	3	3	2	0
Defensiv isoliert													
Ist	87	183	18			4	8	35	5	4	3		
2030	97	101	48	20		18	14	6	5	4	3	2	1
2040	121	0	53	38	36	17	19	0	7	4	3	2	1
2050	118	0	48	38	33	16	13	0	9	3	3	2	1

Stromversorgung

Vergleich Szenarien

- Strombedarf inklusive Strom für Gebäude, Elektromobilität, Kühlung und Heizung
- Die Implementierung von Batterien den wirtschaftlichen Nutzen von Photovoltaikanlagen erheblich

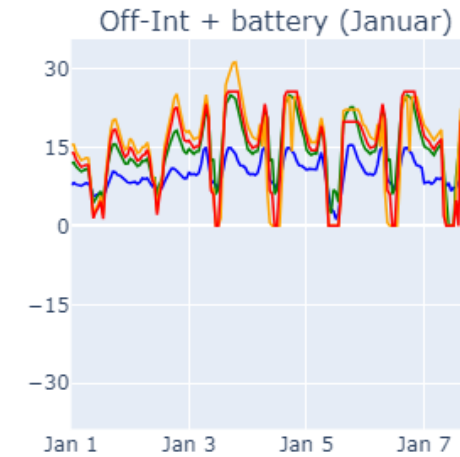
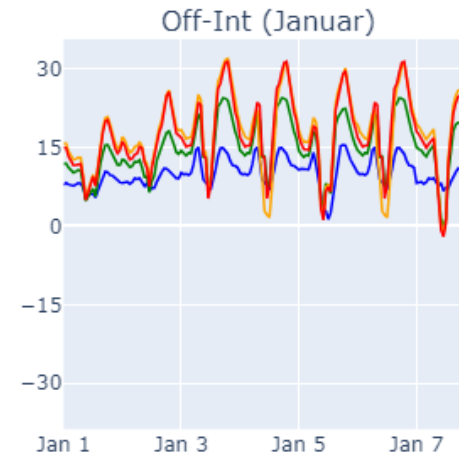
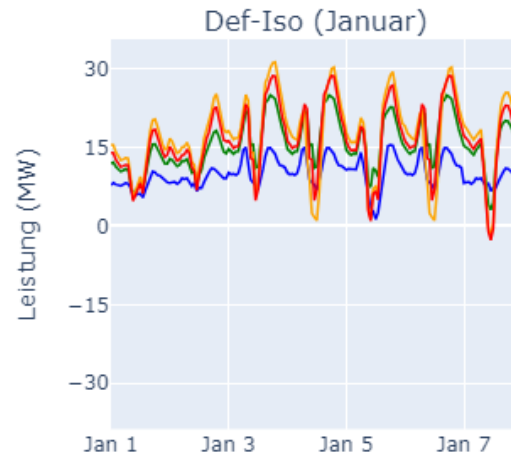
Jahr	PV-Erzeugung (GWh/Jahr)	Stromexport (GWh/Jahr)	Stromimport (GWh/Jahr)	Batteriekapazität (MWh)
Offensiv integriert				
Ist	31	-3	87	
2030	69	-21	100	
2040	96	-41	119	
2050	82	-32	111	
Offensiv integriert mit Batterie				
Ist	32	-4	87	
2030	94	-25	79	80
2040	137	-57	94	80
2050	121	-47	88	80
Defensiv isoliert				
Ist	31	-3	87	
2030	77	-29	97	
2040	93	-39	121	
2050	84	-32	118	

Stromversorgung

Beispielhafte Profile

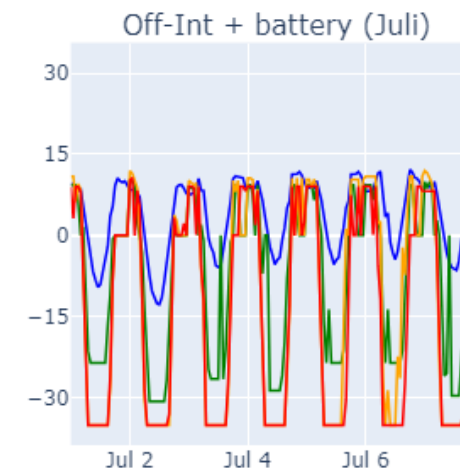
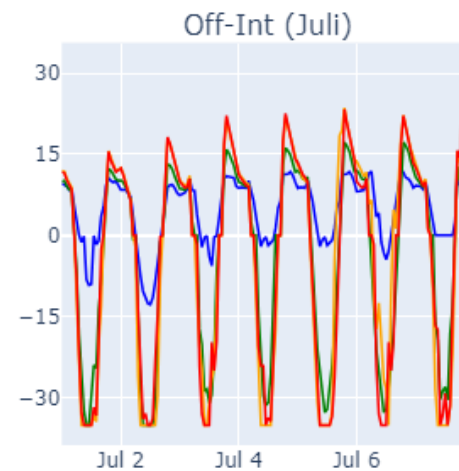
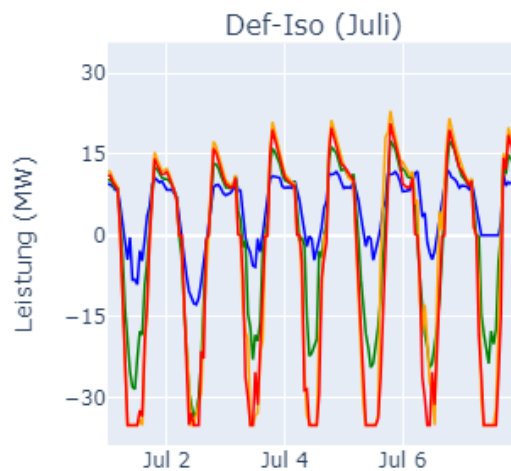
• Der Einsatz von Batterien kann den Import und Export von Strom ins Netz erheblich reduzieren

Winter



— IST
— 2030
— 2040
— 2050

Sommer



Zusammenfassung

- Unter Berücksichtigung der Option, Batterien zu installieren, wird mehr PV installiert (+42% in 2040)
- Die Integration von Batterien im Szenario 'Offensiv Integriert' reduziert die Stromimporte um 21% (2040)
- Das Szenario 'Defensiv Isoliert' hat sowohl höhere Kosten (11%) als auch Emissionen (3%) als 'Offensiv Integriert'

04

Analyse

Kernaussagen

- **Klimaziele Frauenfeld:**
 - Komplettausstieg aus Öl und Gas ab 2040
 - Netto-Null-CO₂-Emissionen bis 2050
- **Dekarbonisierung der Wärmeversorgung:**
 - Aktuell (2023): Über 4'000 Gebäude mit Öl-/Gasheizungen; Notwendiger Ersatz: ca. 250 Heizungen pro Jahr
 - Zentrale Wärmeversorgung (Fernwärme) deutlich kostengünstiger als dezentrale Lösungen; Fernwärme-Potenzial: von aktuell 4% auf über 50% bis 2050 möglich
 - Künftige Wärmequellen: Grundwasser, Erdwärme, Abwärme, Holz, Luft, etc.
- **Elektrifizierung und Photovoltaik (PV):**
 - PV-Potenzial bis zu 51% (2050) vom Strombedarf; Erforderliche PV-Kapazität: 5-facher Ausbau von heute
 - Batterien erhöhen PV-Ausbau (+37%) und reduzieren Stromimporte (-14%)
- **Wirtschaftlichkeit:**
 - Dekarbonisierung technisch machbar und wirtschaftlich tragfähig
 - Erhebliche Investitionen notwendig, langfristig jedoch kostenneutral

Empfehlungen



- **Gebäude:** Beschleunigung der Einführung von CO₂-armen Technologien (z. B. Fernwärme, Wärmepumpen, PV-Anlagen und Batterien) sowie der energetischen Sanierung von Gebäudehüllen.

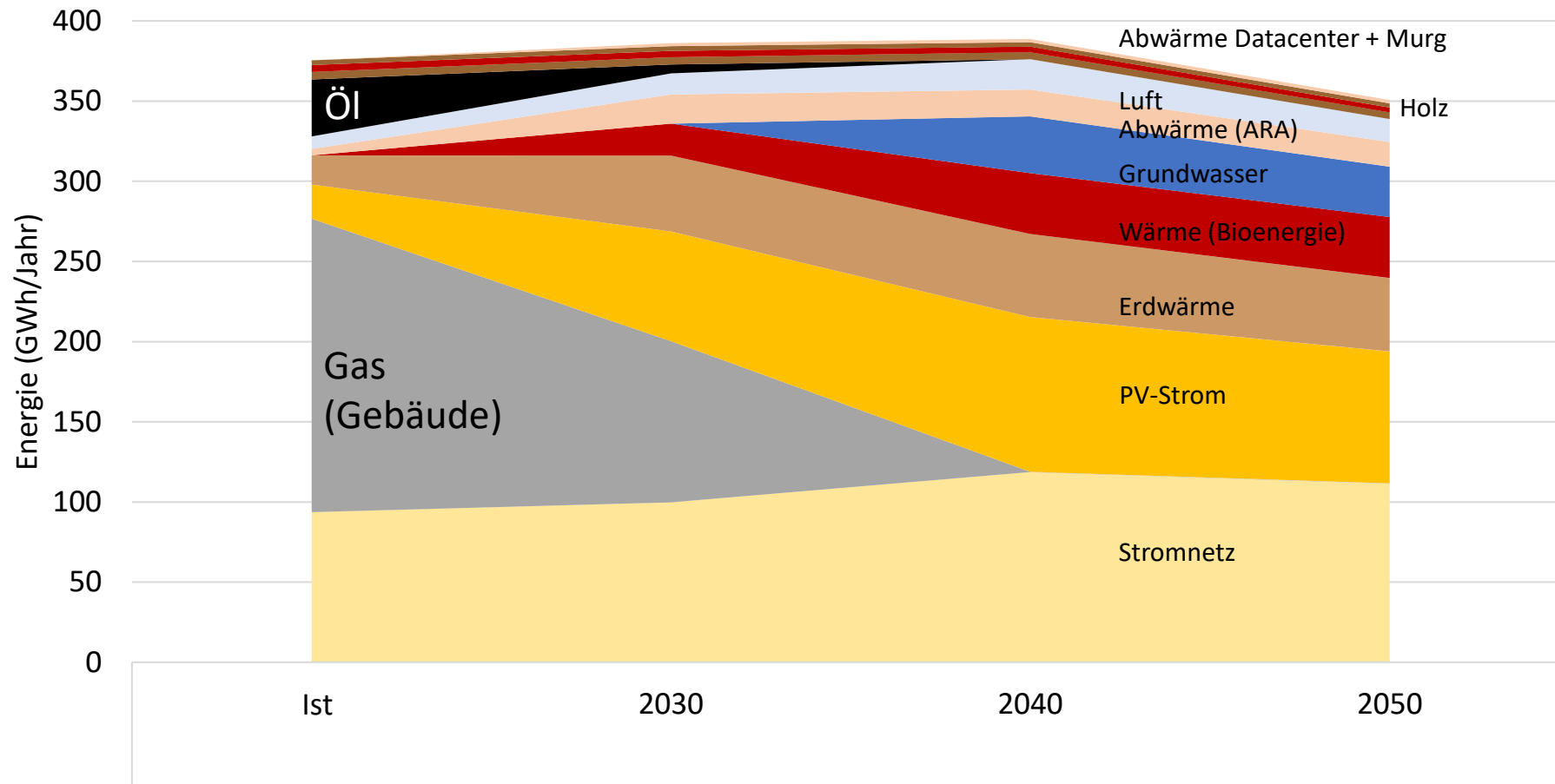


- **Energieinfrastruktur:** Entwicklung einer detaillierten Planung für Strom- und Wärmenetze, die auf die lokalen Quartiere/Heizzone abgestimmt sind.

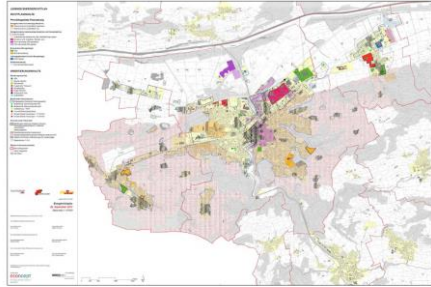


- **Ausgleich des Energiesystems:** Pilot und Einführung von Lösungen, die dem Energiesystem Flexibilität bieten, wie Batterien, Wärmespeicher und Lastmanagement auf der Verbraucherseite.

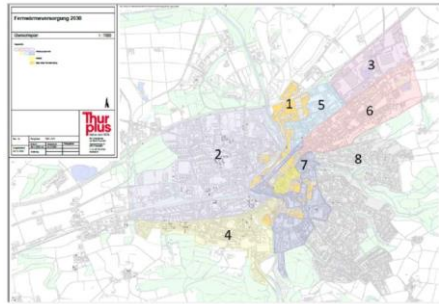
Perspektive. Konkrete Umsetzung



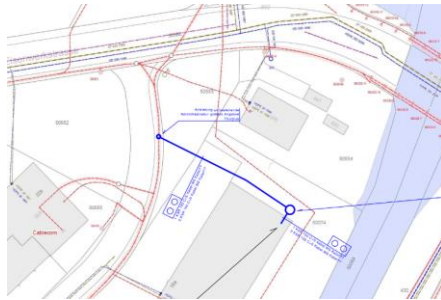
Perspektive. Konkrete Umsetzung



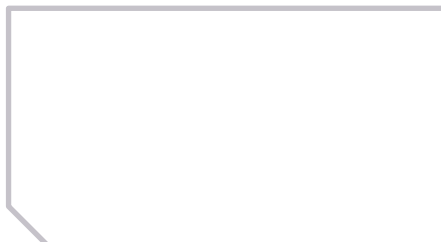
Überarbeitung
Energierichtplanung



Ausbau / Weiterentwicklung
Fernwärme



Netzplanung Elektrizität
(Adaptricity)



Szenariientwicklung ...

05

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Der im Projekt entwickelte Modellierungsrahmen ermöglicht es, sektorübergreifende Wechselwirkungen zu analysieren, indem Daten aus Bereichen wie Heizung und Strom auf einer Plattform zusammengeführt werden.
- Die möglichen Entwicklungspfade von Frauenfeld werden bewertet und mit den Energiezukunft-2050-Szenarien (VSE, 2022) verglichen. Die Ergebnisse unterstützen die langfristige Planung der Energieinfrastruktur.
- Der Rahmen bietet derzeit eine grobe Analyse pro Wärmezone, kann jedoch weiterentwickelt werden, um gezielte Planungsdaten für bestimmte Stadtgebiete wie Wärme- oder Stromnetze bereitzustellen.



**Thur
plus**
Näher seit 1878.

Herzlichen Dank für die Unterstützung an das Amt für Energie des Kantons Thurgau und das Amt für Hochbau und Stadtplanung der Stadt Frauenfeld.

Thurplus

Ein Unternehmen
der Stadt Frauenfeld

Gaswerkstrasse 13
8501 Frauenfeld