



Universität Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung



**Modellgestützte
Bewertung von
Flexibilitätsoptionen und
Versorgungsstrukturen
eines Bilanzraums mit
hohen
Eigenversorgungsgraden
mit Energie**



**IER – Brodecki
Lukasz**

Quellen: #youbumaye; wistatic; energywatch.nl

IER

Gliederung

- **Motivation und Zielsetzung**
- Herausforderungen bei der Modellierung
- Methodisches Vorgehen und Lösungsansätze
- Szenarien und modellgestützte Ergebnisse
- Zusammenfassung und nächste Schritte

Einleitung

Hintergrund und Motivation

- Politisch induzierte Zunahme der Erzeugung aus erneuerbaren Energien bei Rückgang konventioneller Erzeugung

- Wandel von zentraler zur dezentraler Struktur innerhalb des Energiesektors

- Einbindung hoher Anteile Erneuerbarer, erfordert Integration von

Flexibilisierungsoptionen ins Energiesystem

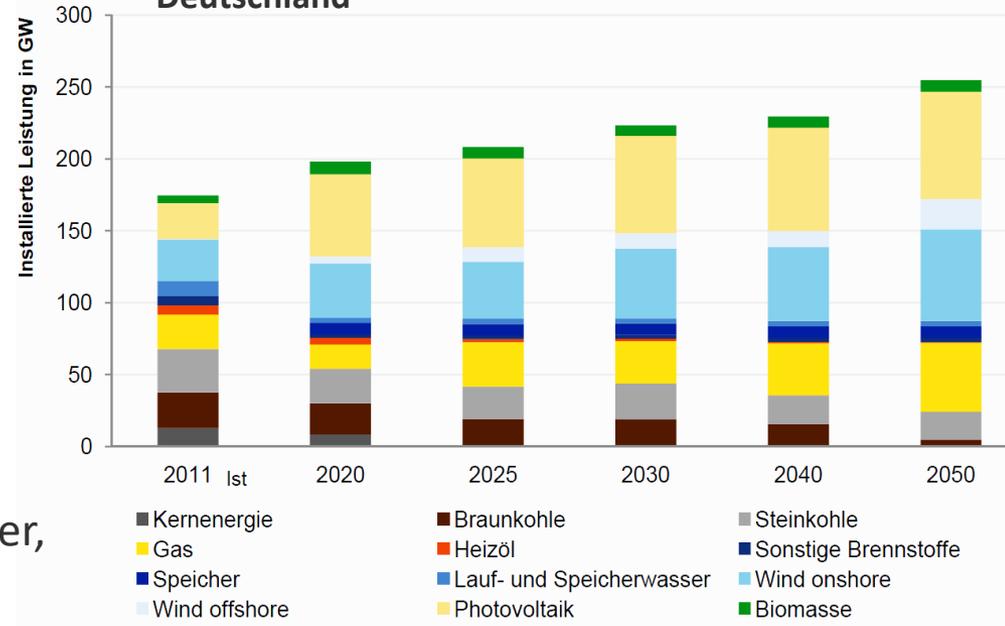
- Europäische Kommission nennt fünf Energieprioritäten für die Zeit bis 2020²

- Verbraucherschutz und Verbraucherautonomie stärken

- Zunehmende Zahl an Prosumern im Energiesystem

- Autarkie als extreme Form der dezentralen Energiebereitstellung

Entwicklung der Kraftwerksstruktur in Deutschland¹



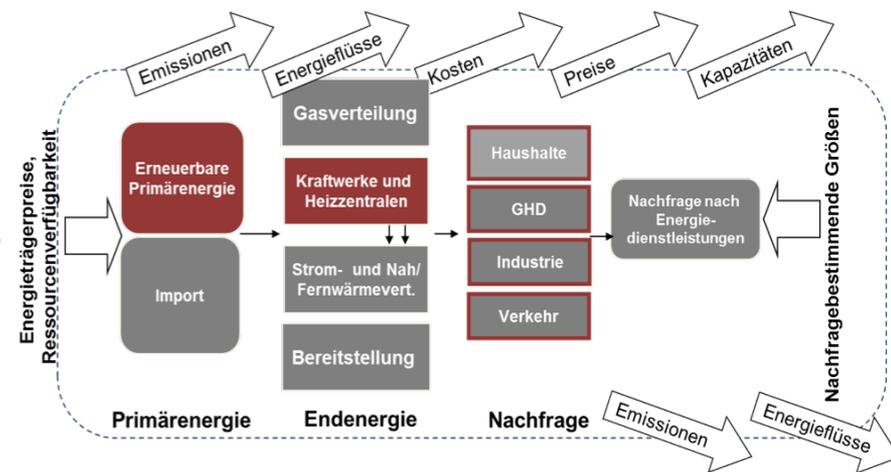
Quellen: 1 Prognos/EWI/GWS 2014, Referenz und Trendzenario
2 www.ec.europa.eu

Umsetzung

- Basis bildet das lineare Energiesystemmodell TIMES Local mit Fokus auf Prozesse, die für Städte/Quartiere relevant sind

Modellerweiterung

- Methodische Weiterentwicklung von TIMES Local in Bezug auf die Versorgungslösungen und Erarbeitung von modelltechnischen Rahmenbedingungen zur Modellierung von Prosumern und Energie-Autarkie



Forschungsschwerpunkt

Integrale Analyse und Bewertung des Eigenversorgungsgrades mit Energie unter Berücksichtigung verschiedener Bestandteile der Energieversorgung (Strom, Wärme, Mobilität) städtischer Energiesysteme

Gliederung

- Motivation und Zielsetzung
- **Herausforderungen bei der Modellierung**
- Methodisches Vorgehen und Lösungsansätze
- Szenarien und modellgestützte Ergebnisse
- Zusammenfassung und nächste Schritte

Herausforderungen bei der Modellierung

Definition von Energieautarkie

- Schließung von **Definitionslücken** der Energie-Autarkie und Festlegung detaillierter Aspekte bezüglich Bilanzierungsmethoden von Energieflüssen

Zeitliche Auflösung der Energiesystemmodellierung

- Erhöhung der **zeitlichen Auflösung** zur Abbildung von Energie-Autarkie und zur Darstellung von Spitzen und Tälern in der Erzeugung und im Verbrauch

Abbildung von Versorgungsaufgaben eines städtischen Energiesystems

- Implementierung **sektorspezifischer Merkmale** eines Versorgungssystems
- Abbildung aller leitungsgebundener Kapazitäten sowie **Flexibilitätsoptionen**
- Berücksichtigung von sektoralen **Wechselwirkungen** sowie betriebswirtschaftlichen Aspekten und **regulatorischen** Rahmenbedingungen

Optimierung und integrale Bewertung

- Betrachtung aller Bereiche (Strom, Wärme, Mobilität) für eine **integrale Bewertung** des Energiesystems hinsichtlich hoher Eigenversorgungsgrade mit Energie

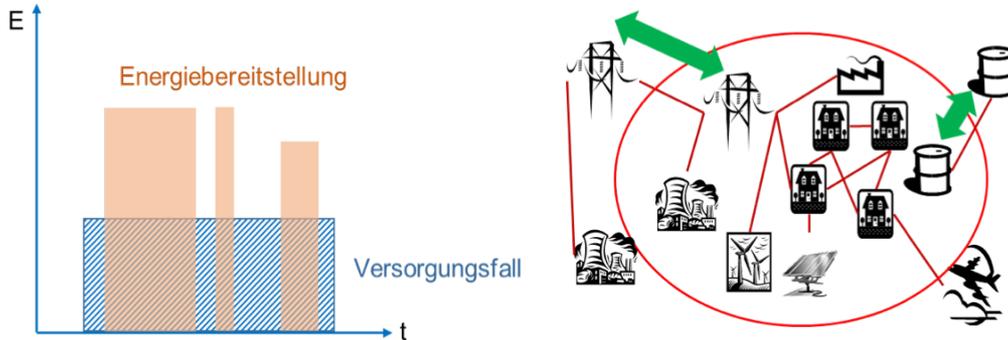
Gliederung

- Motivation und Zielsetzung
- Herausforderungen bei der Modellierung
- **Methodisches Vorgehen und Lösungsansätze**
- Szenarien und modellgestützte Ergebnisse
- Zusammenfassung und nächste Schritte

Definition

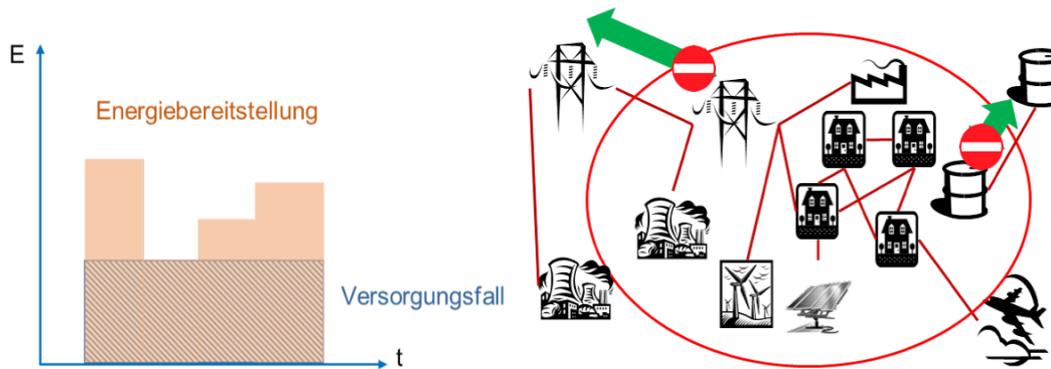
Autarkie Systemgrenzen

Bilanzielle Energie – Autarkie



$$\int_0^t \dot{E}_{Bereitstellung} dt \geq \int_0^t \dot{E}_{Nachfrage} dt$$

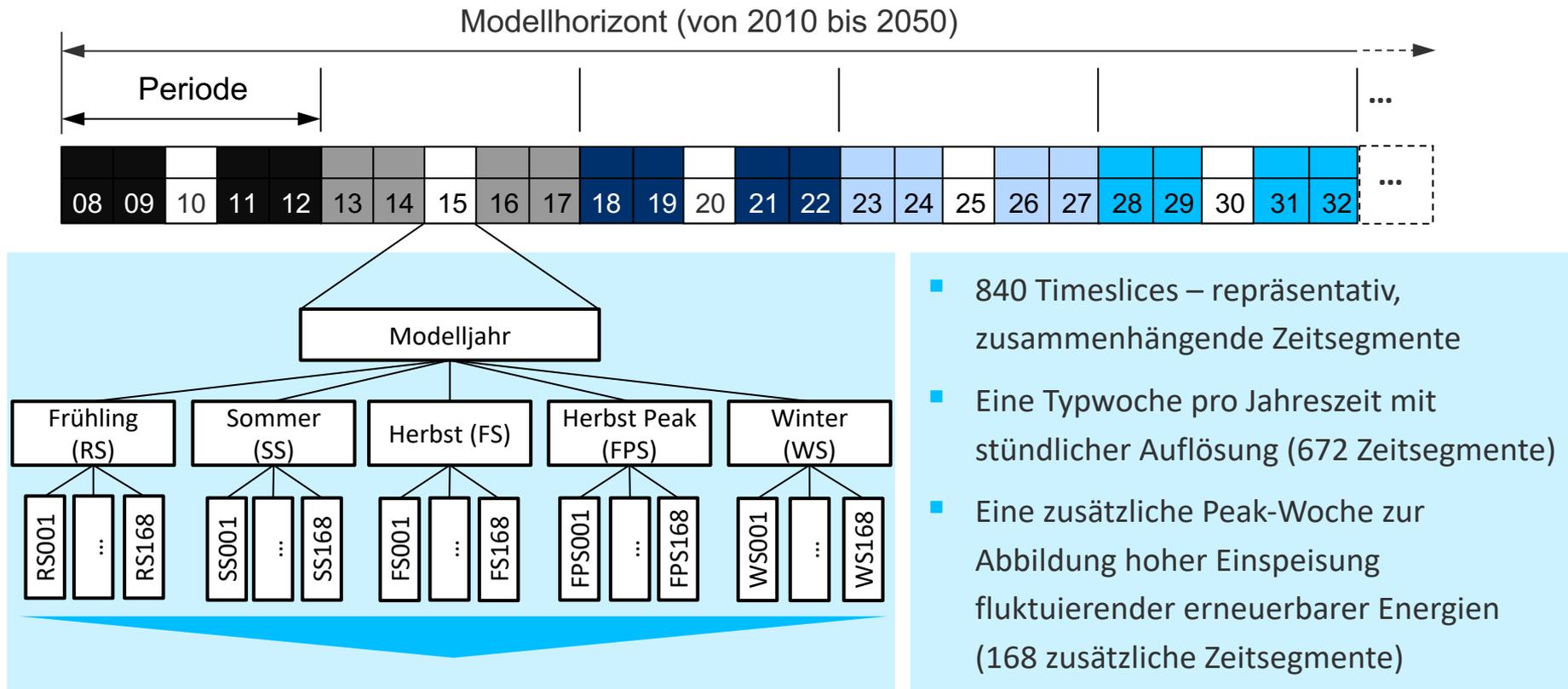
Lastgerechte Energie – Autarkie



$$\dot{E}_{Bereitstellung}(t) \geq \dot{E}_{Nachfrage}(t) \quad \forall t$$

Quelle: J. Deutsche et al.: „Energie-Autarkie und Energie-Autonomie in Theorie und Praxis“, Fachzeitschrift für Energiewirtschaft, 09/2015, S. 151 - 162

Erhöhung der zeitlichen Auflösung



■ Auswahl der Typwochen

- Ganglinien und Lastgänge basierend auf Stundensimulationen für 1 Jahr
- Auswahl für Typwochen unter Berücksichtigung von Maxima, Minima, maximalen positiven Gradienten, maximalen negativen Gradienten und Standardabweichung (keine Mittelung)

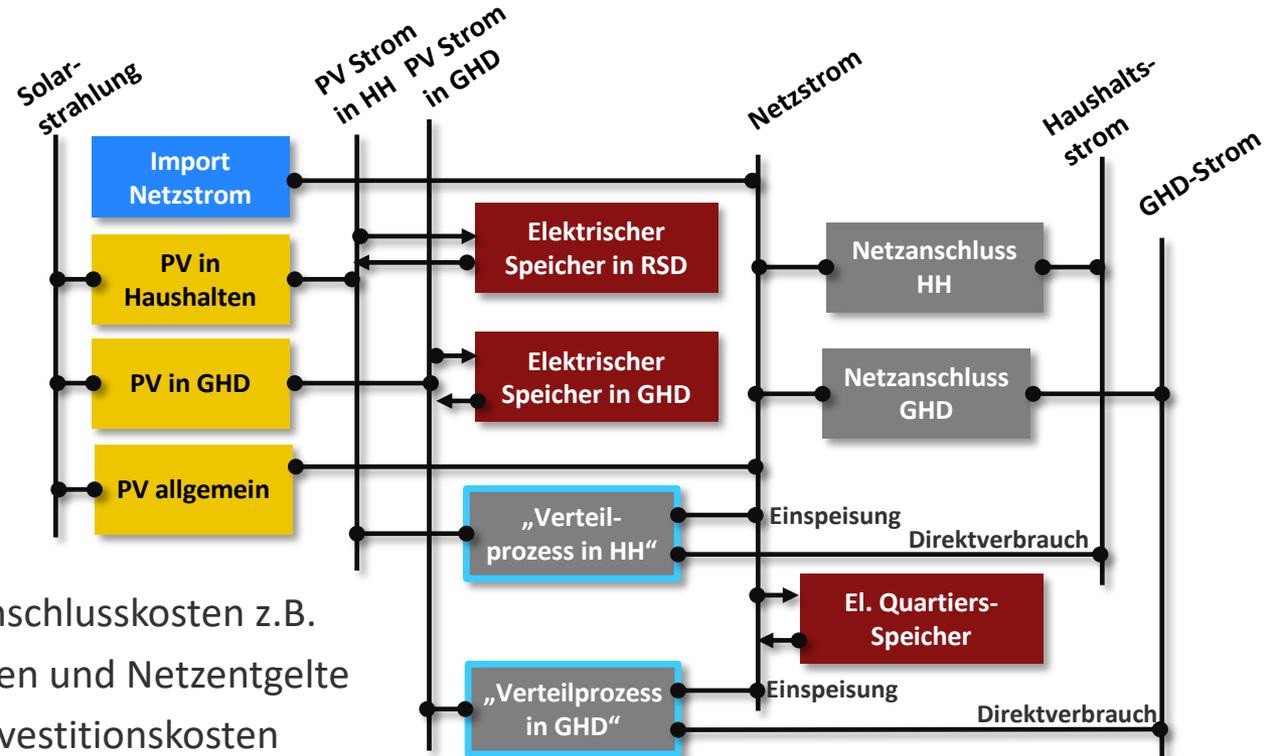
Modellerweiterungen – Methodik zur Modellierung von Photovoltaik

- Abbildung von separaten PV Technologien für private Haushalte, GHD, Industrie sowie Freifläche mit eigenständigen Potenzialen

- Berücksichtigung **sektoraler Strompreisunterschiede**

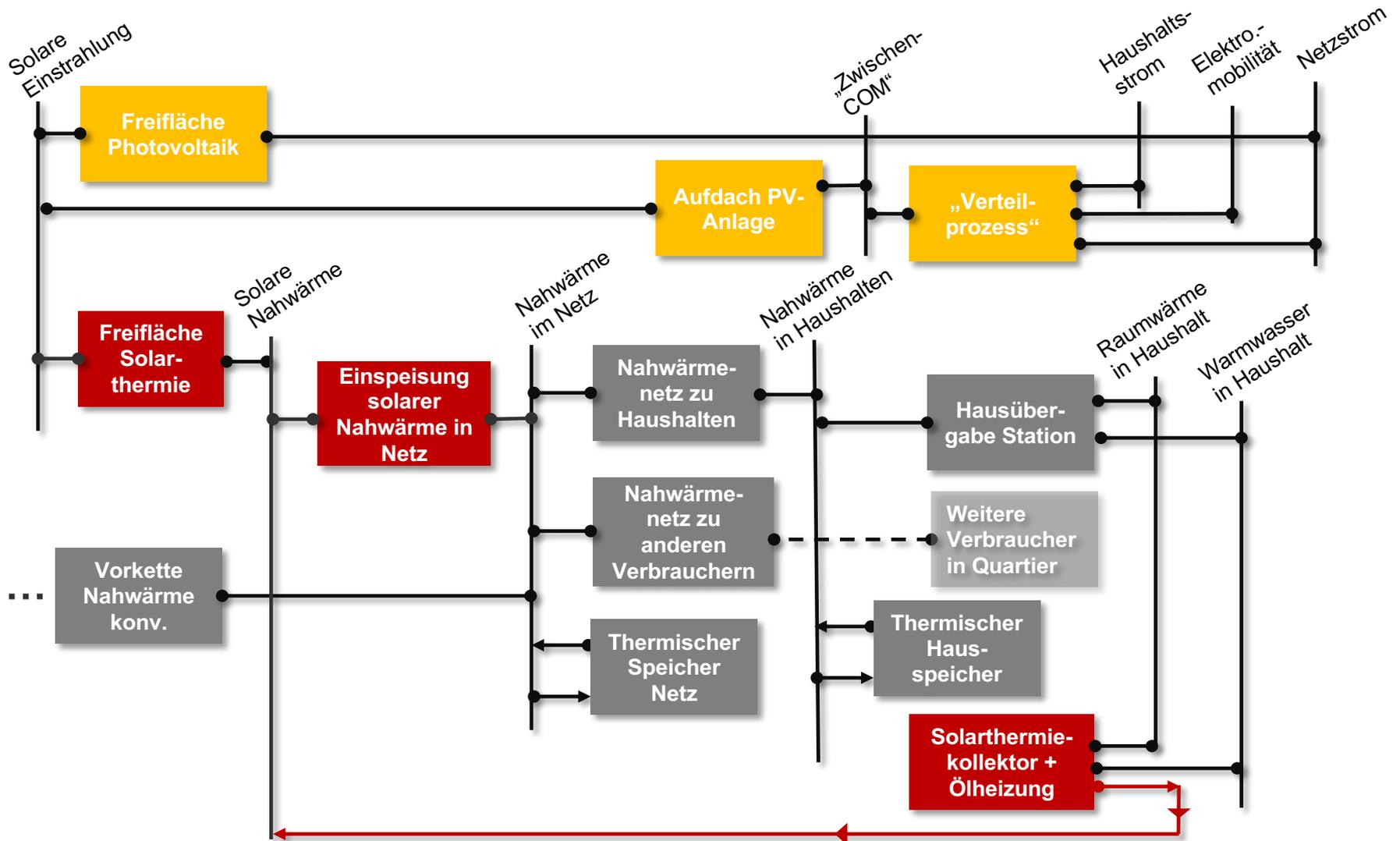
aufgrund von Verteil- und Anschlusskosten z.B. durch EEG-Umlagebefreiungen und Netzentgelte bzw. unterschiedlich hohe Investitionskosten

- Detaillierte Abbildung von **Prosumerverhalten** durch Unterscheidung von **Direktverbrauch** (keine Netznutzung) und **Einspeisung** (inkl. Netznutzung) → Berücksichtigung von **Transportverlusten**
- Implementierung von Batteriespeichern auf unterschiedlichen Ebenen
 - Quartierspeicher zur **Netzstabilisierung** oder Haushaltsspeicher zur Erhöhung der **Eigenstromnutzung**



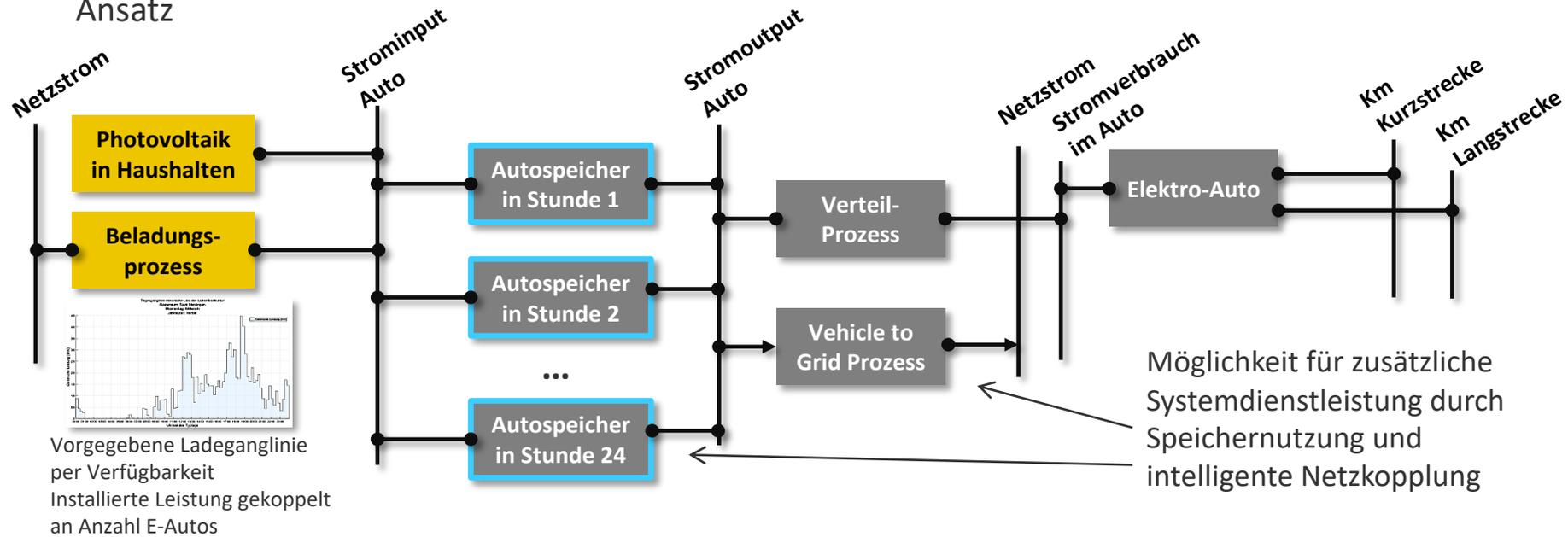
Modellerweiterungen – Methodik zur Modellierung von Solarthermie

Ausbau solarunterstützter Nahwärme - LowEx Netze



Modellerweiterungen – Methodik zur Modellierung des Verkehrs

- **Entkopplung** von Ladevorgang, Speicherprozess und Nutzung des E-Fahrzeugs
 - Verfügbarkeit der E-Autos sowie Ladeprofile anhand Nutzerverhalten exogen vorgegeben
- Kopplung von Verbrauchern in GHD und Wohngebäuden und Erzeugern durch **Vehicle-to-grid** Ansatz



Beladungsprozesse	Speicherprozesse	„Netz“ – Verteilung	Technologie = Entladungsprozess	Mobilitätsnachfrage
-------------------	------------------	---------------------	---------------------------------	---------------------

Flexibilitätsoptionen in TIMES Local

Energiespeicher

Stromspeicher

Zentrale Batteriespeicher

Dezentrale Batteriespeicher

Elektromobilität

Wärmespeicher

Zentrale Warmwasserspeicher für
Nahwärme

Dezentrale Warmwasserspeicher
in Gebäuden

Energieumwandlung

Power-to-Heat

Wärmepumpe für Nahwärme

Heizstab für Nahwärme

Heizstab in Wohngebäuden

Nachtspeicherheizung

Shedding

Abregelung von Erneuerbaren

Export

Einspeisung in
Mittelspannungsebene

Gliederung

- Motivation und Zielsetzung
- Herausforderungen bei der Modellierung
- Methodisches Vorgehen und Lösungsansätze
- **Szenarien und modellgestützte Ergebnisse**
- Zusammenfassung und nächste Schritte

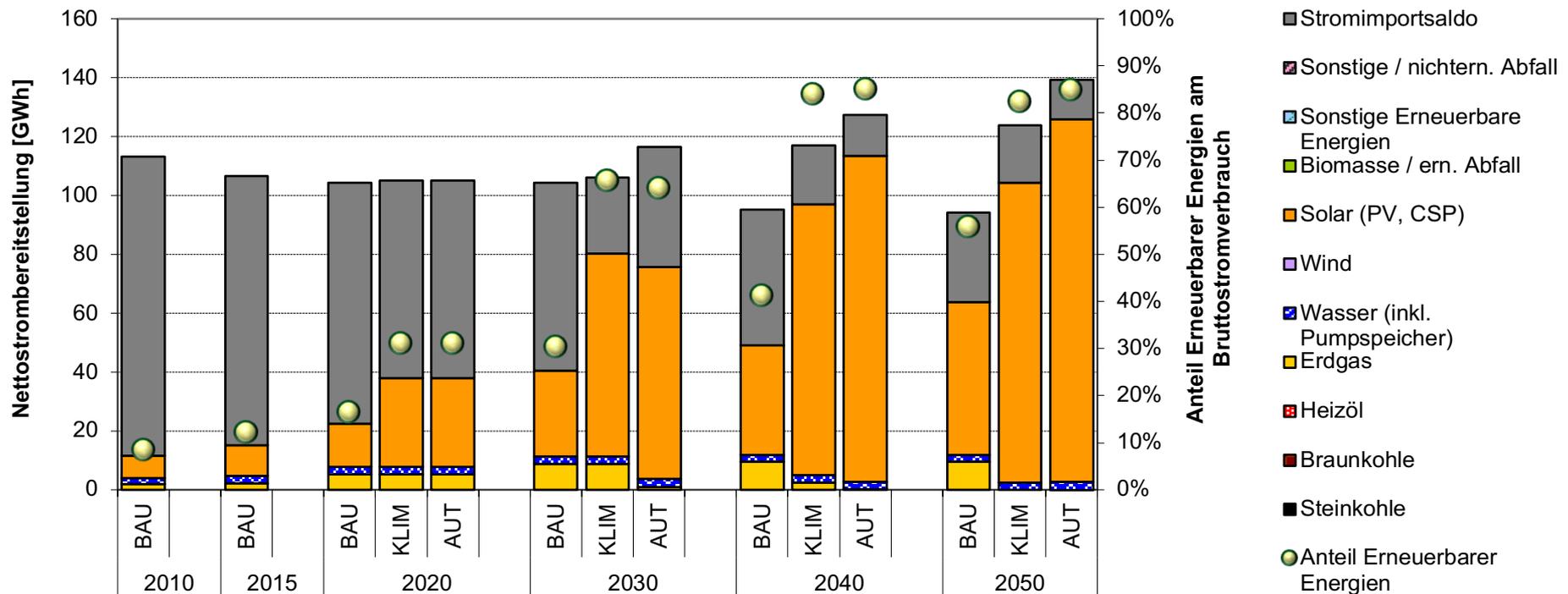
Szenariendefinition

Szenario	Beschreibung
Referenz (BAU)	Moderates Bevölkerungswachstum sowie moderates Beschäftigungswachstum basierend auf statistischen Landesdaten, Vorgabe von maximalen Ausbauzielen erneuerbarer Energien, Wirtschaftswachstum 1,3 %/a, keine Vorgabe von CO₂ – Zielen , keine Nutzung von Windpotenzialen
Klimaschutz (KLIM)	Analog zu BAU mit zusätzlichem CO ₂ Ziel: 80 % CO ₂ Einsparung im Vgl. zu 1990 bis 2050, was einem durchschnittlichem Ausstoß von 1,6 t CO₂ / ppa in 2050 entspricht, Stützjahr in 2030 (4,0 t CO ₂ / ppa), keine Nutzung von Windpotenzialen. Darüber hinaus Definition eines CO₂ Budgets von 2010 bis 2050 in Höhe von 3.900 kt CO₂
Autarkie (AUT)	CO ₂ Ziel analog zu KLIM (1,6 t CO ₂ / ppa in 2050 und Definition eines CO₂ Budgets von 2010 bis 2050 in Höhe von 3.900 kt CO₂). Zusätzlich Erreichung eines Primärenergie-Autarkiegrades von mindestens 80 % in 2050 über alle Sektoren (Haushalte, GHD, Industrie, Transport und öffentliche) kumuliert, mit Stützjahr 2030 (40 %).

➔ Untersuchung von Alternativen zur Erreichung hoher Eigenversorgungsgrade auf städtischer Ebene und Einfluss von Energie-Autarkiebestreben auf das lokale Energiesystem

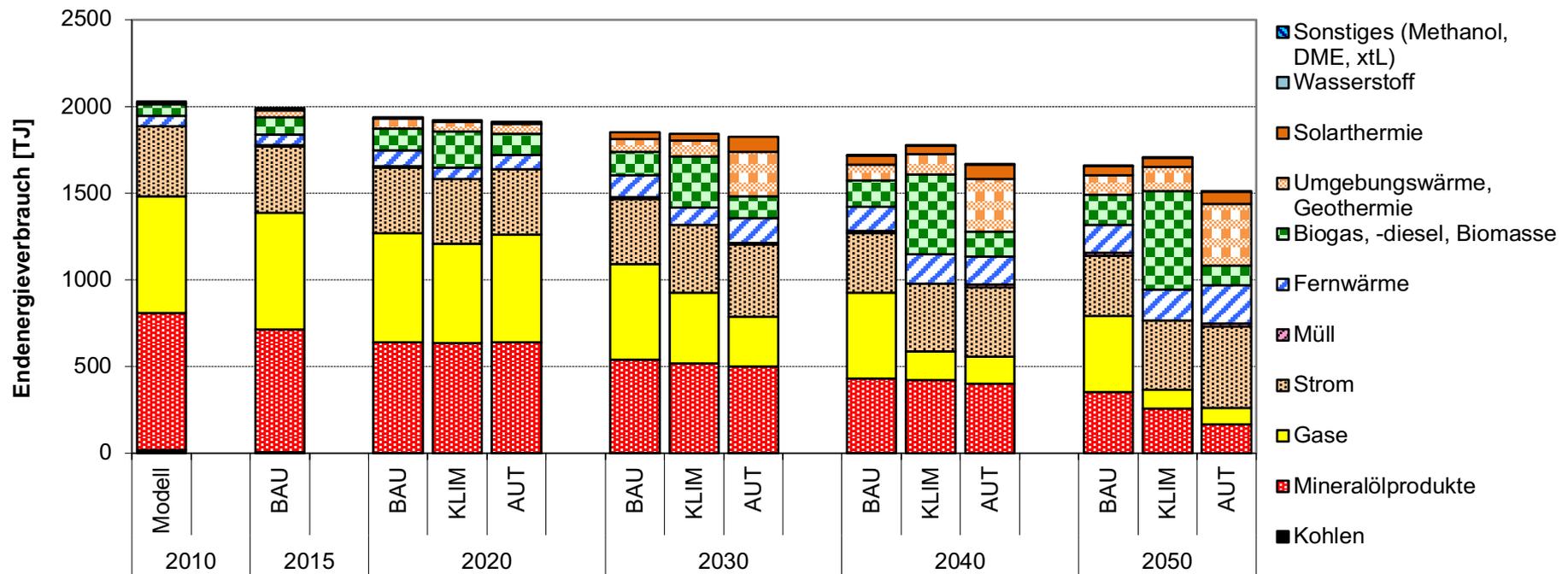
Strombereitstellung nach Energieträgern

- Hoher Ausbau an PV, keine Nutzung von BHKWs in AUT, da **Gasimport negativen Einfluss** auf Autarkie hat
- **Autarkiebestreben steigert Strombedarf.** Außerdem wird der Stromeigenverbrauch von Prosumern gefördert und dies führt zu einem geringeren Importsaldo



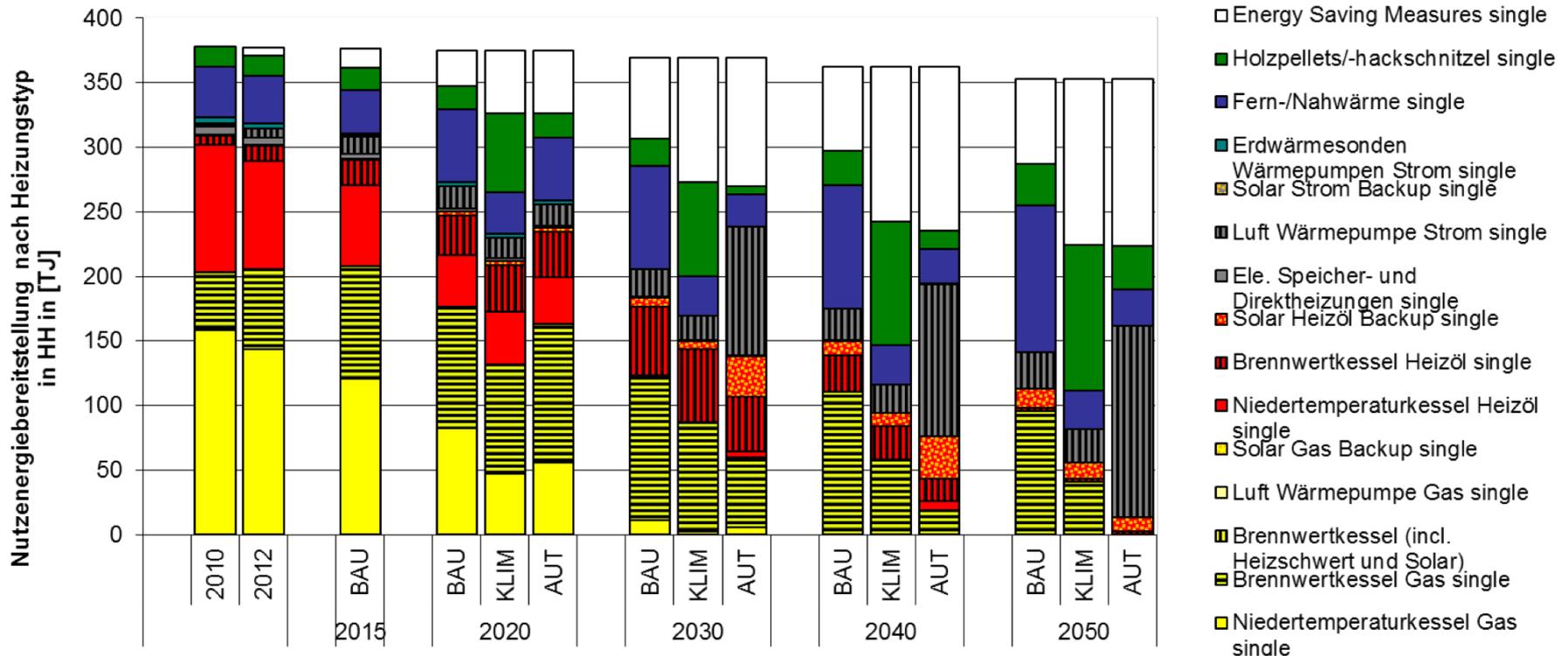
Endenergieverbrauch Gesamt

- Anstieg des Strombedarfs auf verstärkte **Elektrifizierung** im Verkehrssektor sowie im Gebäudebereich (Heizung und Kühlung) zurückzuführen; Fernwärme wird ebenfalls zu ca. 40 % auf Basis von **Power-to-Heat** erzeugt in KLIM und AUT
- Effizienzsteigerungen und Sanierungen führen zu einem **abnehmenden Endenergieverbrauch**
- Autarkiegrad liegt in BAU bei 29 %, KLIM bei 43 % und AUT bei 80 %



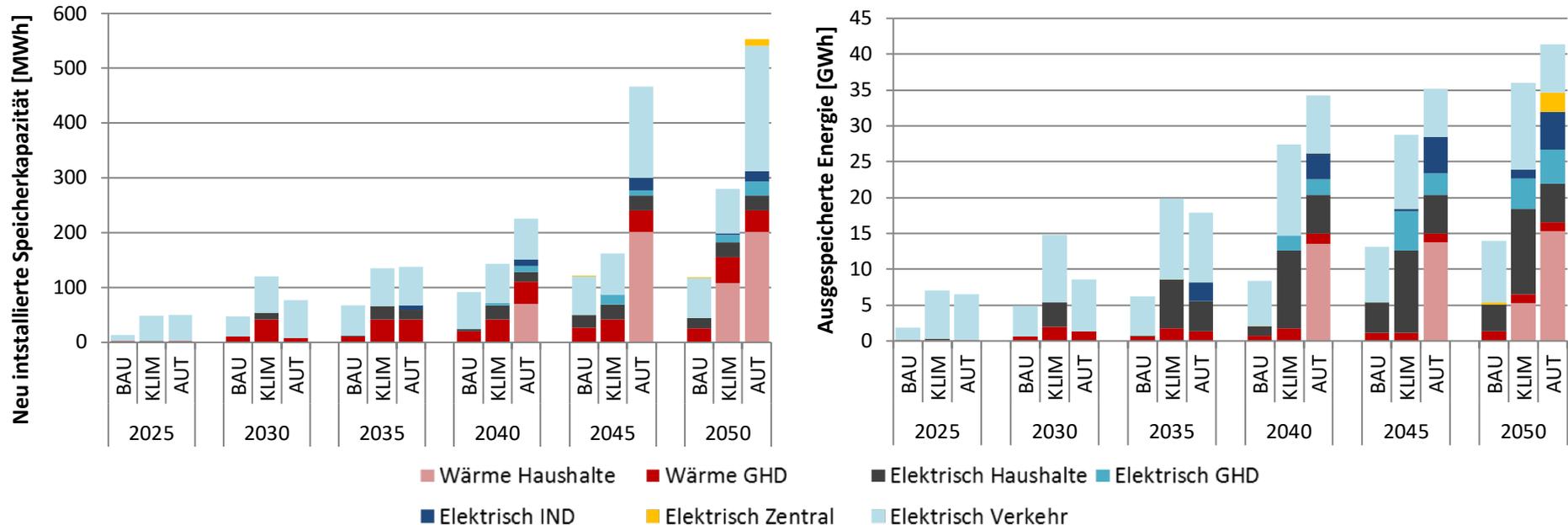
Wärmeerzeugung in Haushalten

- Geringere Nutzung importierter Biomasse zu Heizzwecken im Autarkieszenario im Vergleich zu KLIM
- Stattdessen Nutzung von Umweltwärme durch Wärmepumpeneinsatz mit vorgelagerter Sanierung des Gebäudebestandes



Speichereinsatz

- Mit Anstieg der Erzeugung aus Erneuerbaren steigen die **Investitionen** in Wärme- & Stromspeicher
- Speicherausbau im AUT Szenario in erster Linie auf dezentraler Ebene, **direkt beim Prosumer**
→ Minderung der Verteilverluste
- Geringerer Einsatz von Stromspeichern in AUT im vgl. zu KLIM auf Wärmeerzeugerstruktur zurückzuführen. **Power-to-Heat** als bevorzugte Option durch hohen Wärmepumpeneinsatz in AUT
- Einsatz von **Vehicle-to-Grid** gering im Vgl. zu konventionellen Speichern → hohe spezifische Kosten



Gliederung

- Motivation und Zielsetzung
- Herausforderungen bei der Modellierung
- Methodisches Vorgehen und Lösungsansätze
- Szenarien und modellgestützte Ergebnisse
- **Zusammenfassung und nächste Schritte**

Zusammenfassung

- Neben wirtschaftlichen Aspekten spielen bei der Umsetzung der Energiewende auch **nicht-ökonomische Treiber**, wie sozialpolitische und **persönliche Ziele** eine entscheidende Rolle
 - Eigenversorgung mit Energie stellt dabei ein subjektiv empfundenenes Ziel von Akteuren/Stakeholdern dar, birgt aber Potenzial für hohe **intrinsische Motivation**
 - Entwicklung methodischer Ansätze für modelltechnische Abbildung von Energie-Autarkie in städtischen Energiesystemen
 - Anpassung der notwendigen zeitlichen Modellstruktur und Implementierung relevanter Energieversorgungsaufgaben zur Erreichung von Energie-Autarkie auf lokaler Ebene
- ➔ Energie-Autarkie auf lokaler Ebene setzt eine verstärkte **Elektrifizierung** des Energiesystems voraus
 - ➔ Hoher Ausbau an EE, sowie verstärkte Nutzung von **Flexibilisierungsoptionen** zur bestmöglichen Sektorkopplung (Vehicle-to-Grid und Power-to-Heat)
 - ➔ Ausnutzung der **PV**-Potenziale stellt kostenoptimalen Pfad zur Erhöhung des Energie-Autarkiegrades dar. Zusätzlich kommt zur Steigerung der Eigenversorgung im Wärmebereich der Einsatz von Wärmepumpen in Verbindung mit Wärmespeichern zu tragen
 - ➔ Das Ziel der lokalen Energie-Autarkie widerspricht nicht den allgemeinen klimapolitischen Zielen und ist mit dem politisch induziertem Ausbau der Erneuerbaren Energien vereinbar, führt jedoch zu **deutlich verändertem Investitionsverhalten und Dispatch**
 - ➔ Energie-Autarkie kann als Mittel zur Umsetzung der „Energiewende von unten“ genutzt werden



Universität Stuttgart

Vielen Dank!

Brodecki Lukasz

E-Mail lb@ier.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685- 87858

Universität Stuttgart

Institut für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung (IER)

Heßbrühlstraße 49a
70565 Stuttgart