

## 1 Projektvorhaben

Ergebnisvergleich unterschiedlicher Modellansätze zum Markthochlauf neuer Stromanwendungen und deren Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit

- Fokus auf **Elektromobilität (EMob)** u. **Wärmepumpen (WP)** in Wohngebäuden
- Anwendung **verschieden detaillierter Modelle** mit **spezifischem Analysefokus** (Verkehrs-, Wärme-, Stromsektor) und **harmonisierten Eingangsdaten**

Wie wirken sich neue Stromanwendungen auf die Versorgungssicherheit aus?

- Modellkopplung:** Spezifische Modelle zur Nachfrageentwicklung werden mit **Elektrizitätsmarktmodellen** zu einem **Energie-Modell-System (EMS)** gekoppelt
- Aus den nachfrageseitigen Modellen werden **zukünftig erwartete Lastgänge** für die Stromanwendungen EMob sowie WP abgeleitet und als Input für die Elektrizitätsmarktmodelle verwendet
- Analyse der zukünftigen Erzeugungssicherheit** in kritischen Versorgungssituationen (Analyse der Angemessenheit der Erzeugung für die Bewältigung von Perioden mit hoher Residuallast)

## 2 Übersicht zum dreistufigen Modellvergleich und zur Modellkopplung

### Direkter Modellvergleich

Vergleich der Modellergebnisse innerhalb der selben Modellgruppe ohne Austausch von Informationen zwischen den Modellgruppen

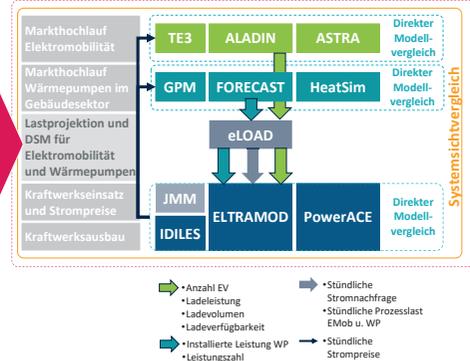
### Methodik

### Systemsichtvergleich

Vergleich der Ergebnisse innerhalb der selben Modellgruppe nach einmaligem Austausch von Informationen zwischen den Modellgruppen

### Iterationsschrittvergleich

Vergleich der Modellergebnisse innerhalb der selben Modellgruppe nach unterschiedlicher Anzahl an Iterationsschritten



Innerhalb von MODEX-EnSAVES kooperieren **6 Projektpartner** mit **11 Modellen**

Bereich	Ansatz	Modell	Partner	Modellgruppe	Ergebnisse
Verkehr Entwicklungspfade Fahrzeugtechnologien	System Dynamics Simulation	TE3	KIT	Modellgruppe 1	Entwicklung des Nachfragesektors Verkehr, insbesondere hinsichtlich des Anteils verschiedener (neuer) Antriebstechnologien
Verkehr Entwicklungspfade Fahrzeugtechnologien	Agentenbasierte Simulation	ALADIN	ISI		
Verkehr Entwicklungspfade Fahrzeugtechnologien	System Dynamics Simulation	ASTRA	M-FIVE	Modellgruppe 2	Entwicklung der wärmetechnischen Ausstattung und Energiebedarfs im Gebäudesektor
Industrie, GHD, Haushalte, Verkehr Energienachfrage jährlich	Bottom-up Kohortensimulation	FORECAST	ISI		
Gebäude Energienachfrage (Heizen)	Bottom-up Einzelgebäudesimulation	GPM	ESA*	Modellgruppe 2	eLOAD stl. Lastprofile für (inkl. EMob, WP), vorteilhafte Lastverlagerungen
Wohngebäude Energienachfrage (Heizen)	Bottom-up Kohortensimulation	HeatSim	UDE		
Industrie, GHD, Haushalte, Verkehr Stromlastprofile	Simulation, partielle Optimierung	eLOAD	ISI	Modellgruppe 3	Entwicklung energetrischer spezifischer Stromerzeugungskapazitäten und deren Einsatz
Stromerzeugung Kraftwerksausbau/-einsatz	Lineare Optimierung	ELTRAMOD	TUD		
Stromerzeugung Kraftwerksausbau/-einsatz	Agentenbasierte Simulation	PowerACE	KIT		
Stromerzeugung dynamische Einsatzplanung	Lineare Optimierung	JMM	UDE	Modellgruppe 3	Einsatz steuerbarer Anlagen auf Nachfrageseite (EMob, WP)
Stromerzeugung Kraftwerksausbau	Lineare Optimierung (Benders' Dekomposition)	IDILES	UDE		

## 3 Direkter Modellvergleich

### MG1 – Verkehrsmodelle

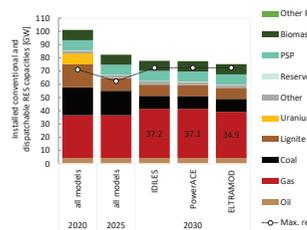
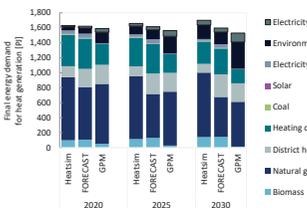
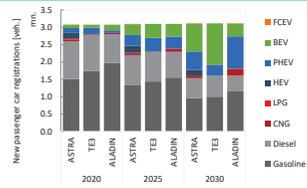
- Alternative Antriebe ersetzen Dieselfahrzeuge (Hälfte der Neuzulassungen in 2030)
- Große Anteile von Elektrofahrzeugen in den Verkäufen (30-50% in 2030) führen zu Rückgang der Gesamtenergienachfrage (20-25%)
- Ursachen für Ergebnisunterschiede:**
  - Modellierung des Nutzerverhaltens unterschiedlich, großer Einfluss auf Kaufentscheidung

### MG2 – Gebäudepark-/Wärmemarktmodelle

- Ursachen für Ergebnisunterschiede:**
  - Aggregationsniveau der Eingangsdaten (Gebäude- u. Heizungsbestand, Anzahl der Agenten GPM)
  - Modellierungslogik der Investitionsentscheidungen (Agenten mit multiplen Präferenzen vs. uniformer Investor mit kostenbasierten Präferenzen)
  - Logik für die Substitution von Technologien (technische vs. ökon. Nutzungsdauer; Sanierungsynergien)
  - Detailgrad Diffusionsrestriktionen (z.B. Potenziale, Verfügbarkeit)

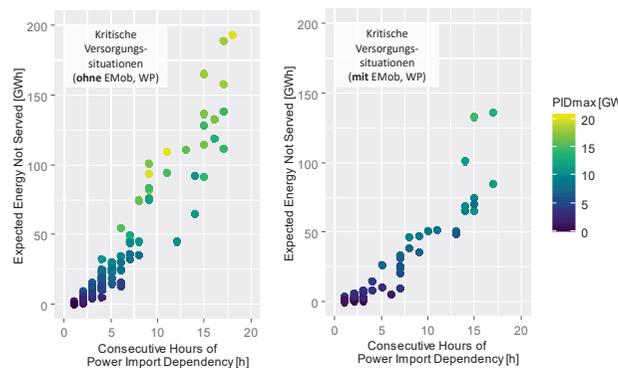
### MG3 – Strommarktmodelle

- Spätestens ab 2030 Investitionen in zusätzliche **GuD-KW**
- Durch die Berücksichtigung von **Regelleistung** investieren IDILES-JMM und PowerACE mehr als ELTRAMOD
- Kleinere Unterschiede in der Erzeugungsstruktur, im Speichereinsatz und in den Strompreisen
- Ursachen für Ergebnisunterschiede (u.a.):**
  - Mathematischer Ansatz (lineare Optimierung vs. agenten-basierte Simulation)
  - Myopische / perfekte Voraussicht (1 Jahr) vs. rollierende Planung



## Systemsichtvergleich

### Versorgungssicherheitsindikatoren DE 2030



- Häufiger auftretende **kritische Versorgungssituationen ohne** Lastglättung der Stromanwendungen **EMob und WP** (Abb. links)
- Residuallastglättung erfolgt durch optimale Lastverschiebung von Elektromobilität (Ladestrategien) und Wärmepumpen mittels Wärmespeichern
- EMob und WP vermindern kritische Versorgungssituationen** (Abb. rechts)
  - Reduktion von kritischen Versorgungssituationen mit Importabhängigkeit (Stunden mit PID\* ↓ und PIDmax ↓)
  - Reduktion nicht-gewährleisteter, aber benötigter Erzeugungsmengen (EENS\* ↓)
- Weiteres Potenzial zur Reduktion kritischer Versorgungssituationen durch Einsatz von Pumpspeichern und anderen Flexibilitätsoptionen

\*PID ... Power Import Dependency, \*EENS ... Expected Energy Not Served

## Iterationsschrittvergleich

### Ergebniskonvergenz der Mehrfachiterationen

- Nach **3 Iterationsschleifen** erscheinen Ergebnisse robust
- Geringe stl. Strompreisänderung von IT2 vs. IT3 (**MAE 0.37 EUR/MWh, RMSE 1.53 EUR/MWh**)
- Gründe für schnelle Ergebniskonvergenz**
  - Weitergabe **weniger Austauschparameter**
  - Verwendung von einem **durchschnittlichen Endkunden-Strompreis pro Jahr** in MG1 und MG2, dadurch wenige Änderungen
  - Großhandelsstrompreis (MG3)** hat einen **geringen Hebel** (ca. 23% vom Endkundenstrompreis), daher zeigen sich EMob- und WP-Diffusion **wenig strompreissensitiv** in den Iterationsschritten
- Zukünftig Preisanreize (z.B. stl. Volatilität der Strompreise) an Endkunden weitergegeben, um Investitionsanreize für Flexibilitätsoptionen zu schaffen

## Ergebnisse

## 4 Lessons Learned

- Hoher Zeit- und Abstimmungsaufwand** für Harmonisierung der Eingangsdaten
- Reduzierung von Modellkomplexität** zur Identifikation relevanter Modellunterschiede
- Hohe Transparenz** in der Modellierung sollte Standard sein (Open Source Modellierungscode und Eingangsdaten)
- Zentrale Datenverwaltung und -konfiguration** von entscheidender Bedeutung (Data Warehouse für Upload und Download von Eingangs-/Ergebnisdaten insbes. bei Modellkopplungen)
- Ziel von Modellvergleichen ist Herausstellung von **Stärken** und Eigenschaften der einzelnen Modelle
- Identifikation von **Verbesserungsmöglichkeiten** eigener Modelle



## Schlussfolgerung

