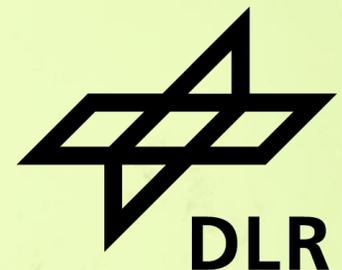


RESILIENZBEWERTUNG ZUKÜNFTIGER INTEGRIERTER ENERGIESYSTEME MIT EINEM OPTIMIERENDEN INFRASTRUKTURPLANUNGSMODELL

13. Internationale Energiewirtschaftstagung

Wien, 15.-17. Februar 2023

Hans Christian Gils, Madhura Yeligeti, Shima Sasanpour



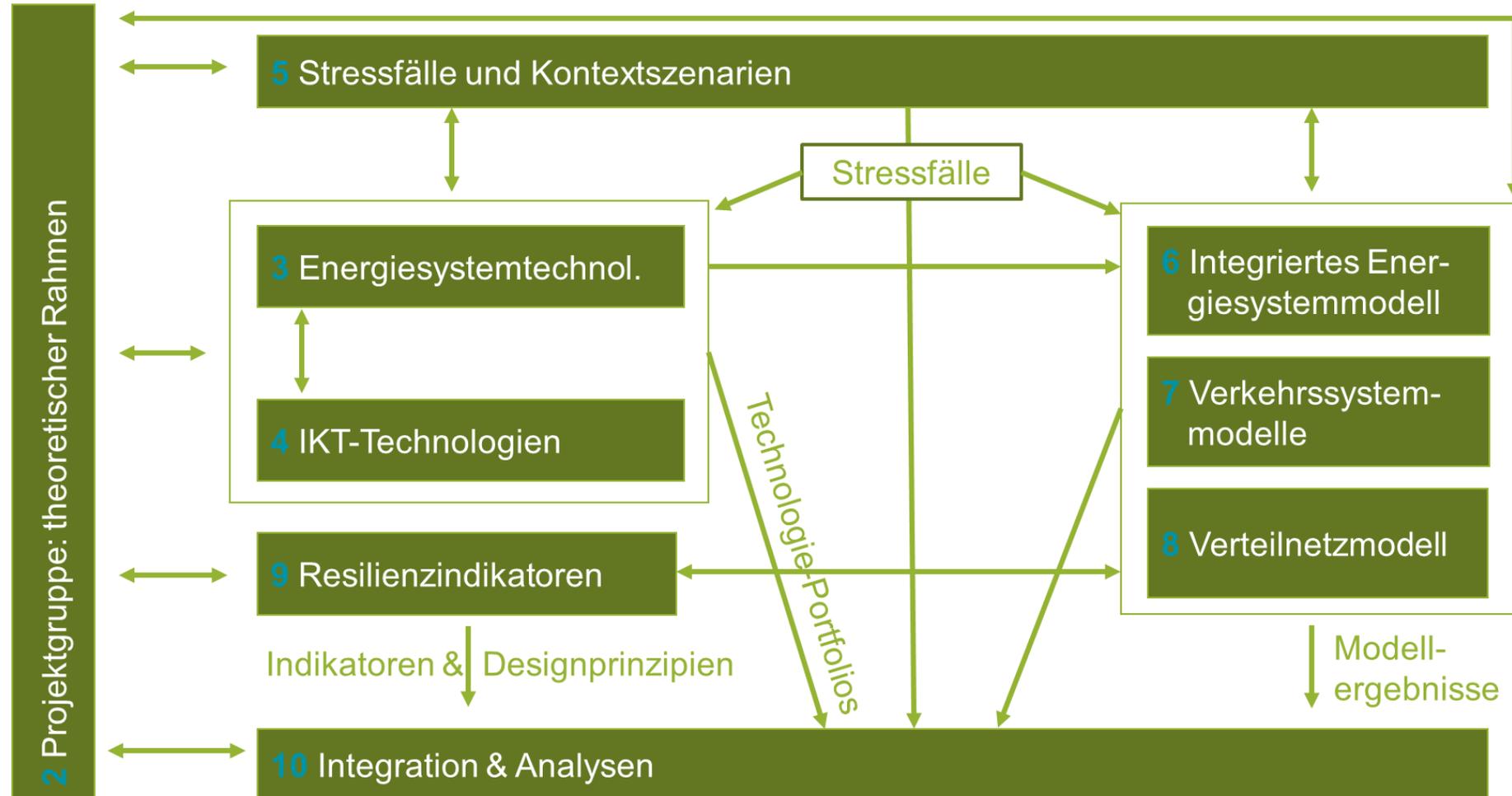
HINTERGRUND

Das Projekt ReMoDigital: Resilienz-Monitoring für die Digitalisierung der Energiewende

Gefördert durch:

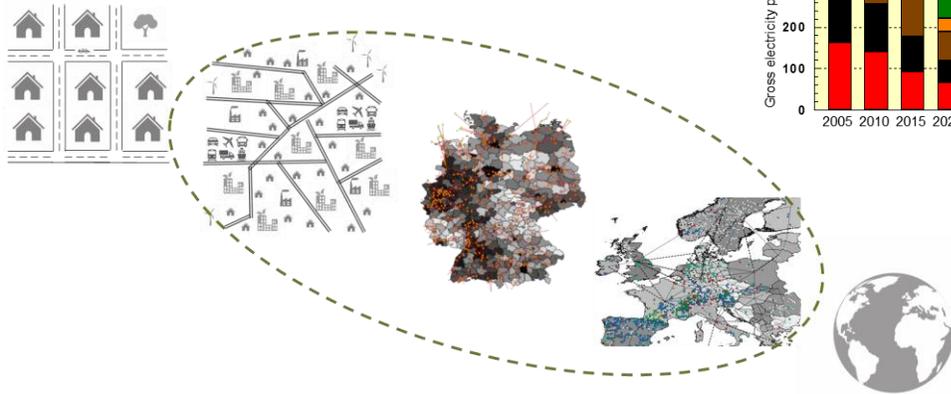


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

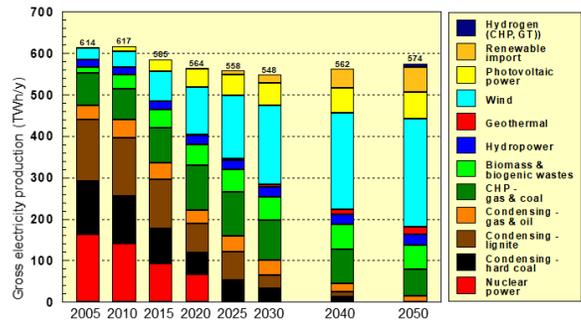


Zielsetzungen und Rahmen

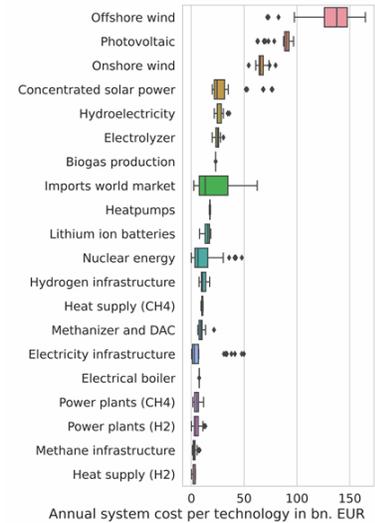
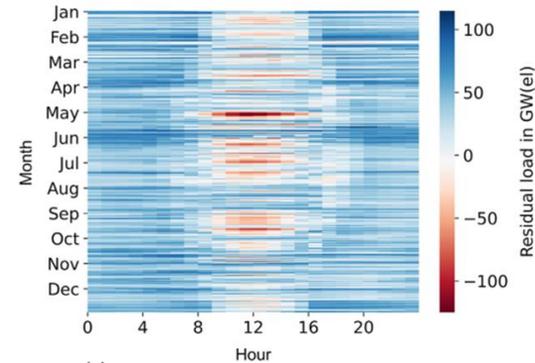
- Weiterentwicklung und Anwendung des Infrastrukturmodellierungsframeworks REMix
- Szenarienbasierte Analyse der Resilienz zukünftiger Energiesysteme
- Quantifizierung und Einbindung von Stressfällen
- Fokussierte Betrachtung der Wirkung von Sektorenkopplung und Digitalisierung



Transformation



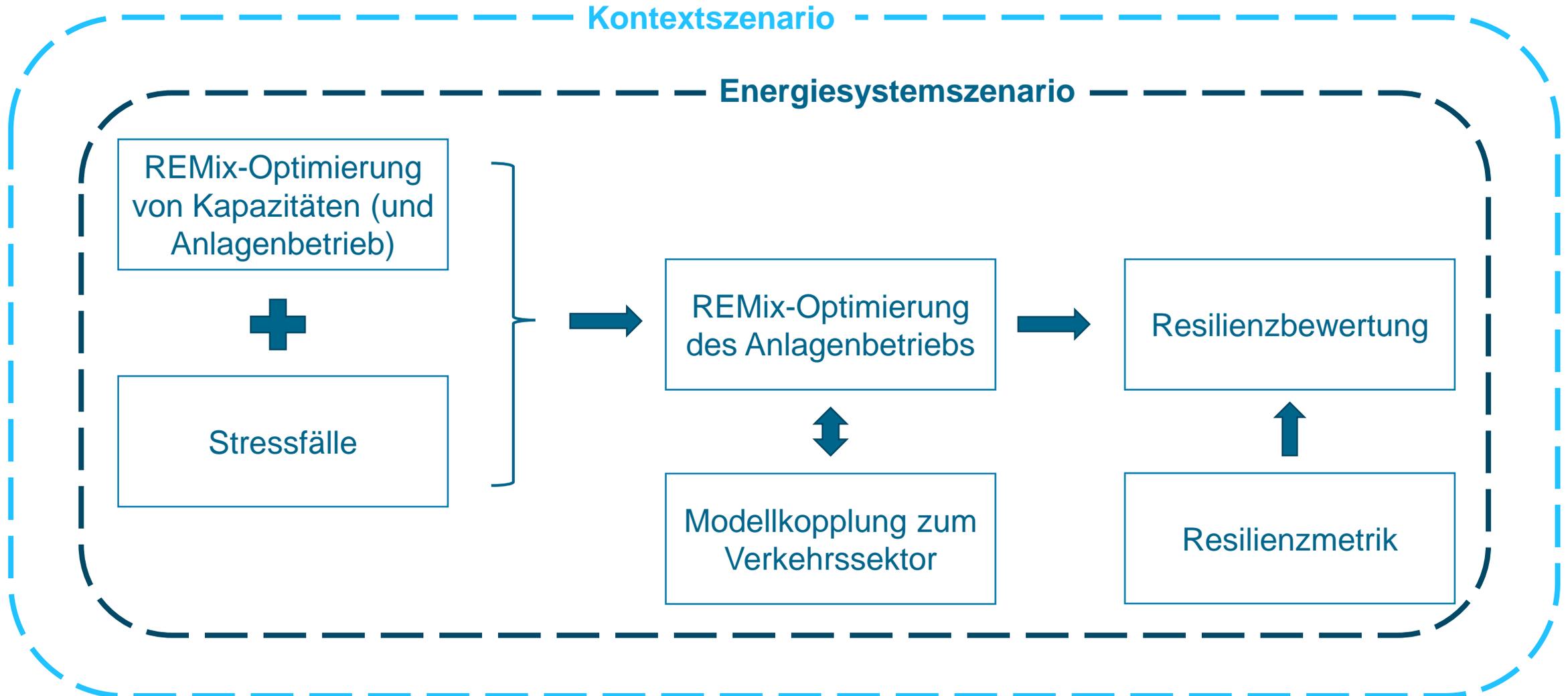
Volatilität



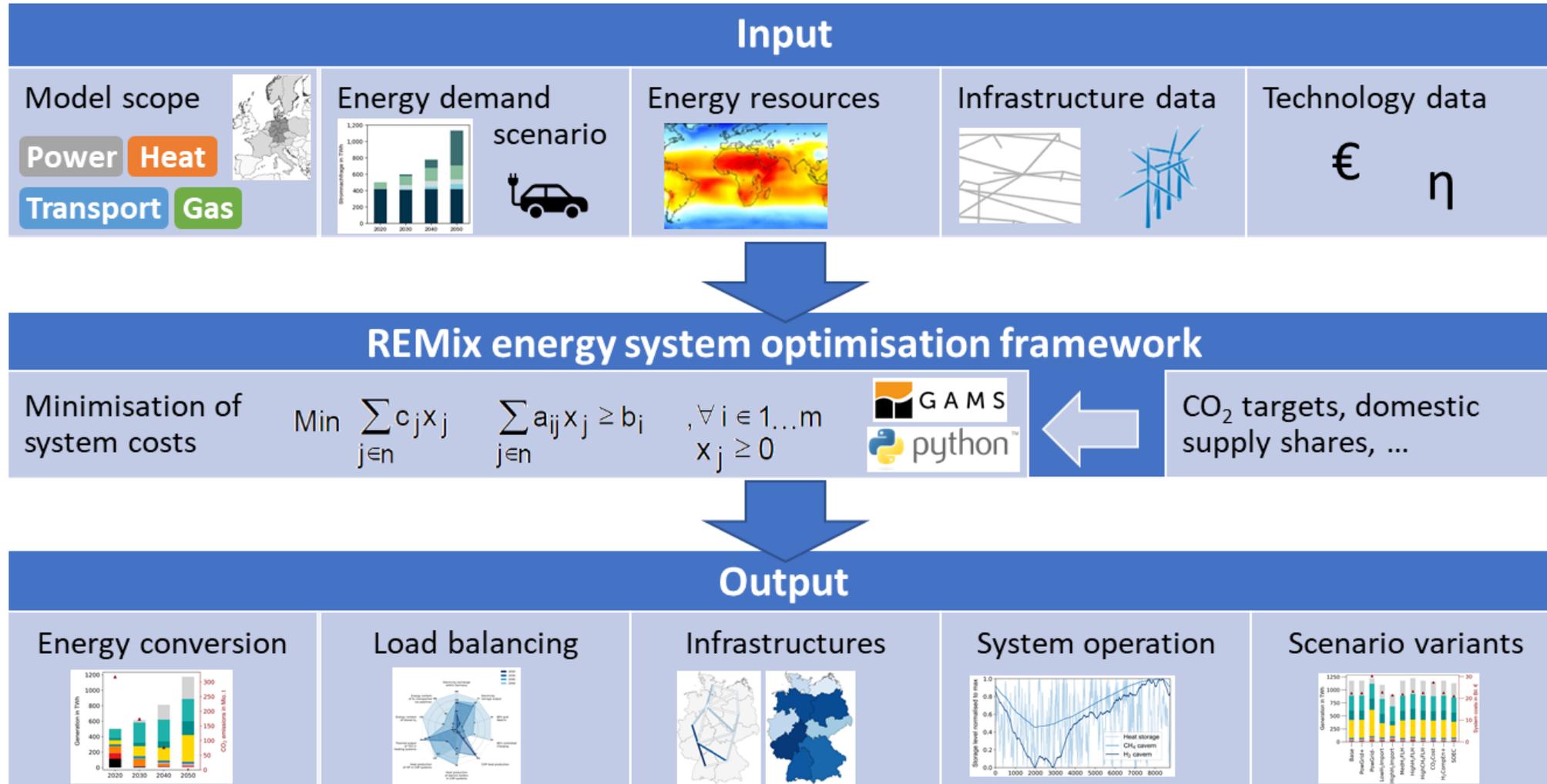
Unsicherheit

METHODIK DER RESILIENZANALYSE

Herangehensweise: umfangreiche Datengrundlage, mehrstufige Modellierung und Modellkopplung



Optimierende Infrastrukturplanungsmodelle haben Resilienz Aspekte bisher nicht im Fokus



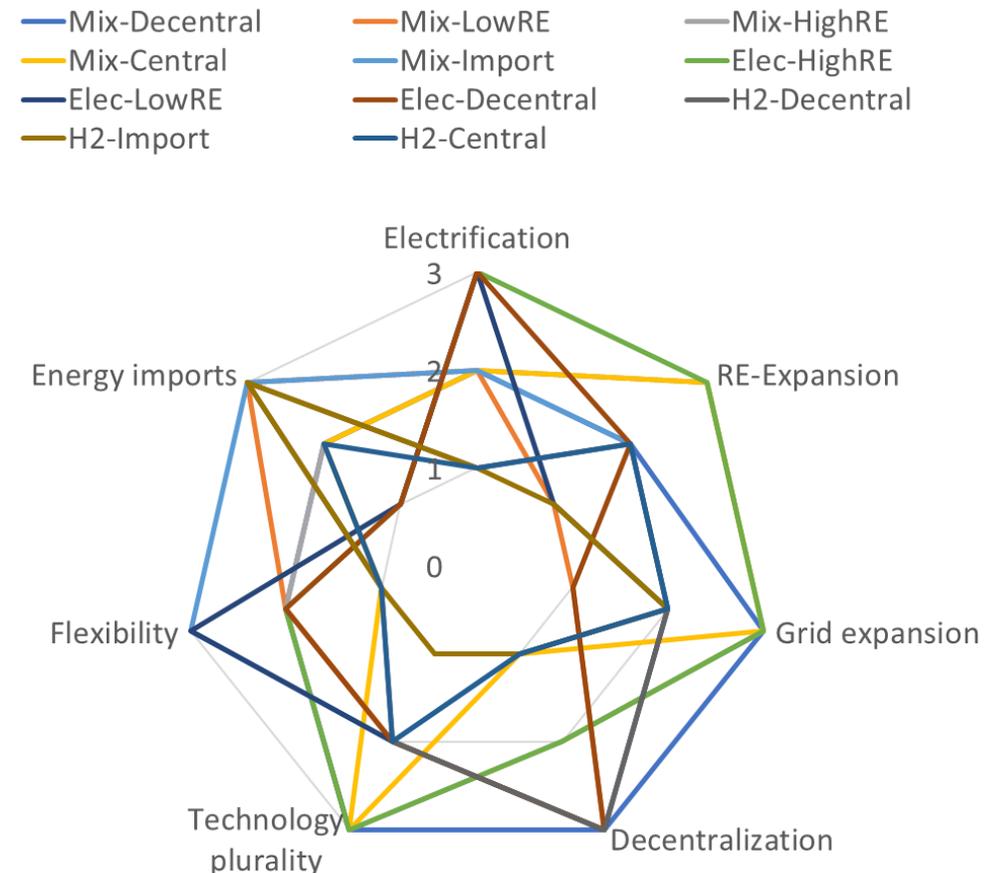
The background of the slide is a photograph of a solar tower power plant. Numerous large, rectangular mirrors (heliostats) are mounted on tall, dark metal poles. The mirrors are arranged in rows and reflect the sky. The ground is covered in green grass with some yellow wildflowers. The sky is a clear, bright blue with a few wispy white clouds.

PARAMETRIERUNG VON SZENARIEN UND STRESSFÄLLEN

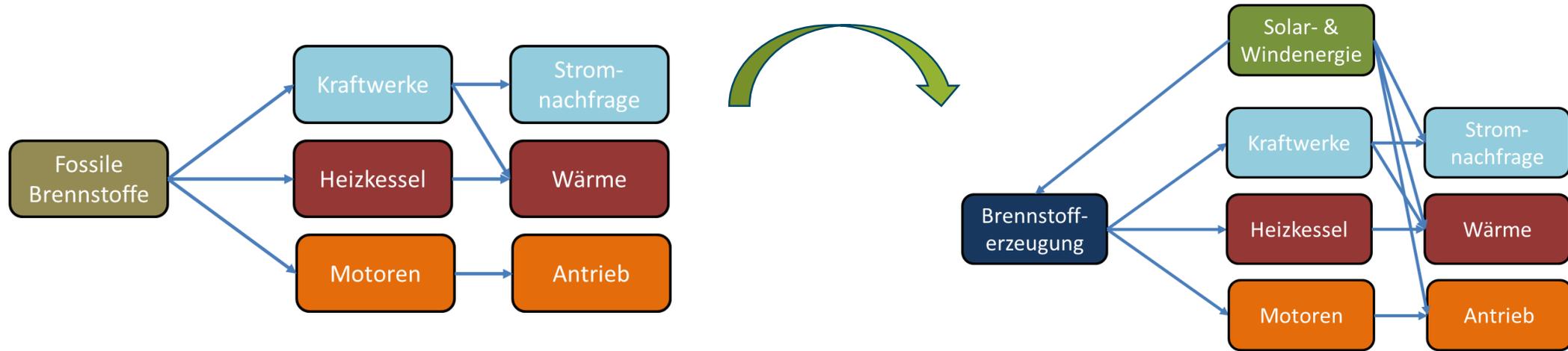
Sozio-ökonomische Entwicklung beeinflusst das Energiesystem der Zukunft wie auch dessen Resilienz

- Ableitung konsistenter Zukunftswelten mit Cross-Impact-Bilanzanalyse (CIB)
- Berücksichtigung zahlreicher Szenariendescriptoren mit Modellrelevanz
 - Europäische Entwicklung
 - Technologieentwicklung im Verkehr
 - Grad der Dezentralisierung in der Energiewandlung
 - Internationalisierung der Energieversorgung
 - Ausbau der Wandlungsanlagen für erneuerbare Energien
 - Entwicklung der Netzinfrastruktur
 - Technologische Pluralität im Bereich Strom
 - Automatisierungsgrad in der Energiewende
 - Akzeptanz neuer Technologien und Infrastrukturen
 - Digitale Leitbilder und Lebensformen

Auswahl von 11 Szenarien



Sektorenkopplung mit Vor- und Nachteilen für Resilienz



+ Erhöhte Redundanz durch mehrere Umwandlungstechnologien

Endogene Betrachtung

+ Dezentralisierung kann Risiko räumlicher Ausbreitung von Störungen mindern

Endogene Betrachtung

- Höhere Abhängigkeit von der Strominfrastruktur (Erzeugung, Netz)

Teilweise exogen, teilweise endogen

- Potenzielle Ausbreitung von Störungen vom Strom- auf Wärme-/Verkehrssektor

Teilweise exogen, teilweise endogen

Digitalisierung mit Vor- und Nachteilen für Resilienz



+ Verbesserte Steuerungsmöglichkeiten von Stromnetzinfrastrukturen im Normalbetrieb und in Stressfällen

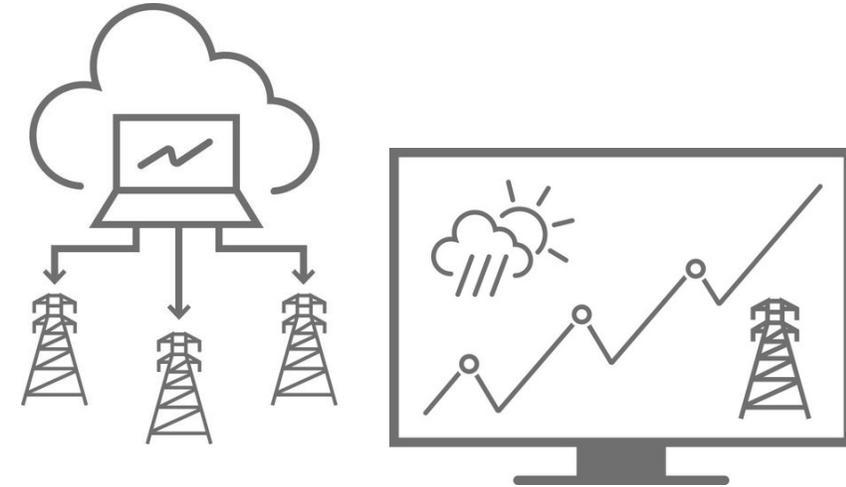
Exogene Betrachtung (Stressfallwirkung)

+ Zugang zu dezentraler Flexibilität

Exogene Betrachtung (Szenarien)

+ Vorausschauende Anlagenwartung

Nicht betrachtet



- Erhöhte Anfälligkeit für Cyberangriffe

Exogene Betrachtung (Stressfälle)

- Potentieller Störungsmultiplikator

Exogene Betrachtung (Stressfälle)

Systemverletzlichkeit kann anhand von Designkriterien oder auf Grundlage von Stressfallanalyse betrachtet werden



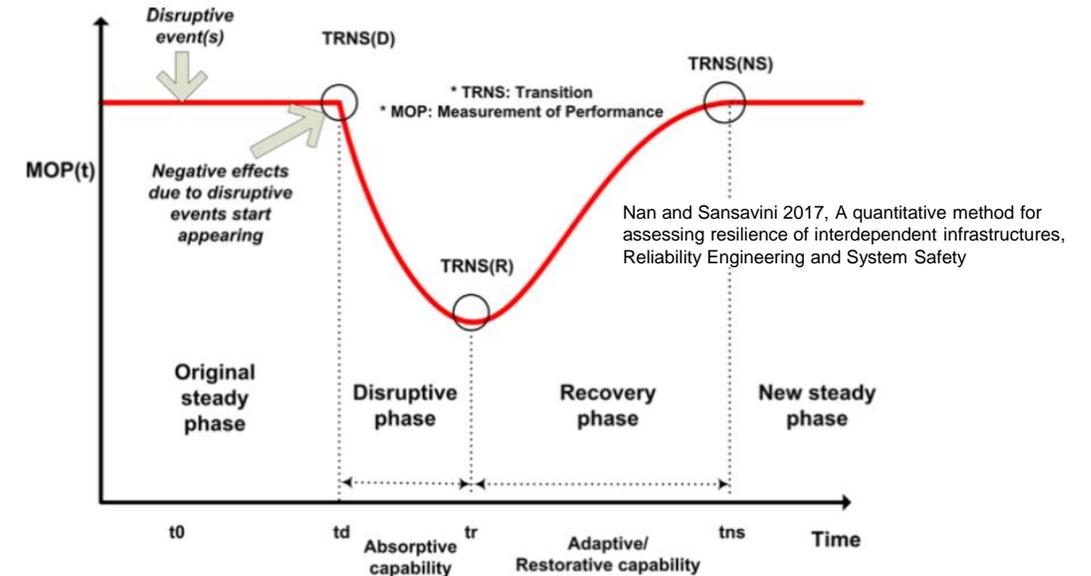
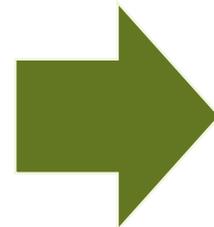
Strukturelle (Inzidenz-unabhängige) Verletzlichkeit

Identifizierung der Schwachstellen von Systemen

Inzidenzbasierte Verletzlichkeitsanalyse

Betrachtung von Stressfällen, hier:

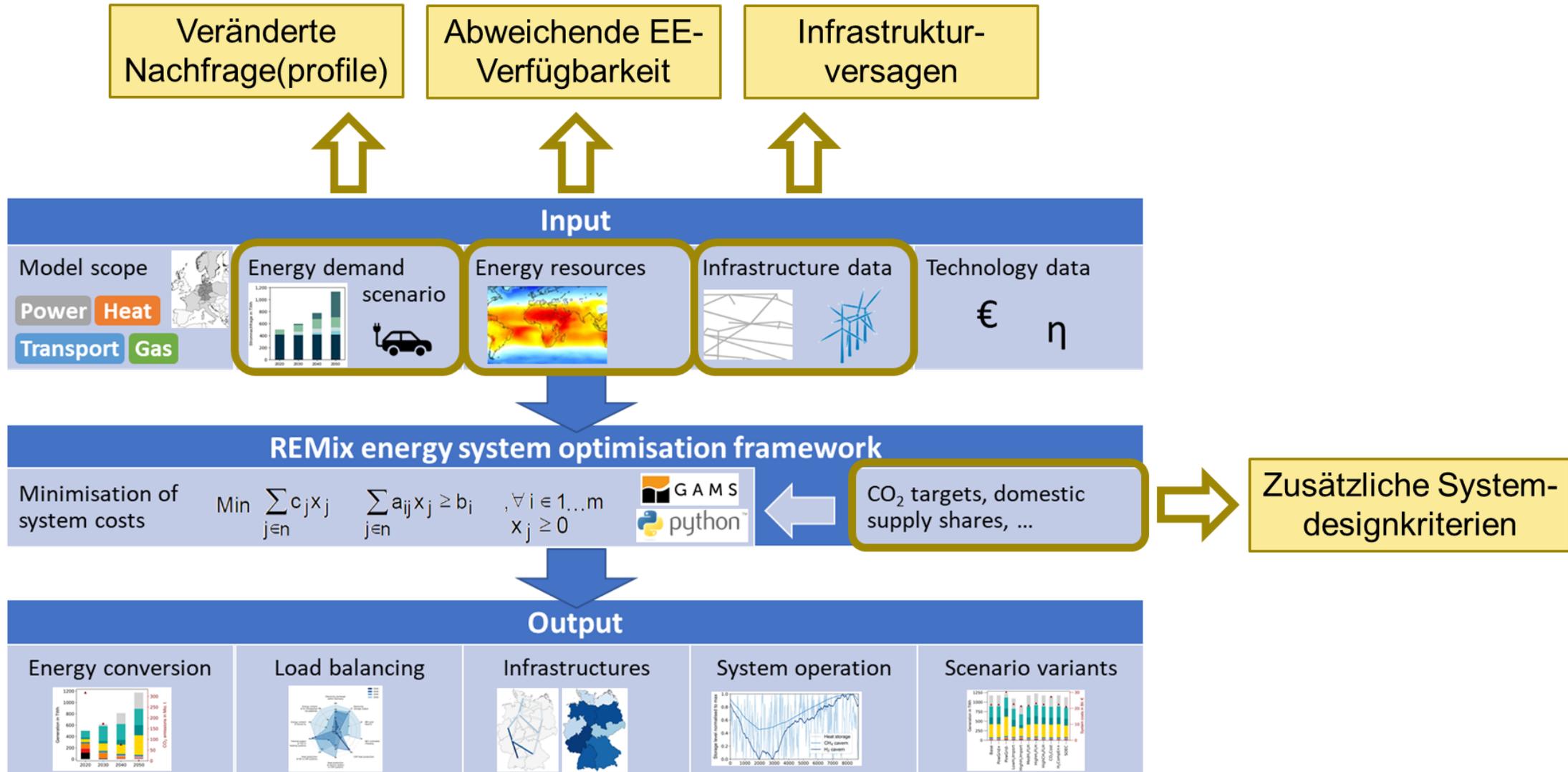
- Extreme Kälte und Sturm
- Extreme Hitze und Überflutung
- Staatlich gelenkter Hackerangriff (top-down, bottom-up)
- Privat gelenkter Hackerangriff



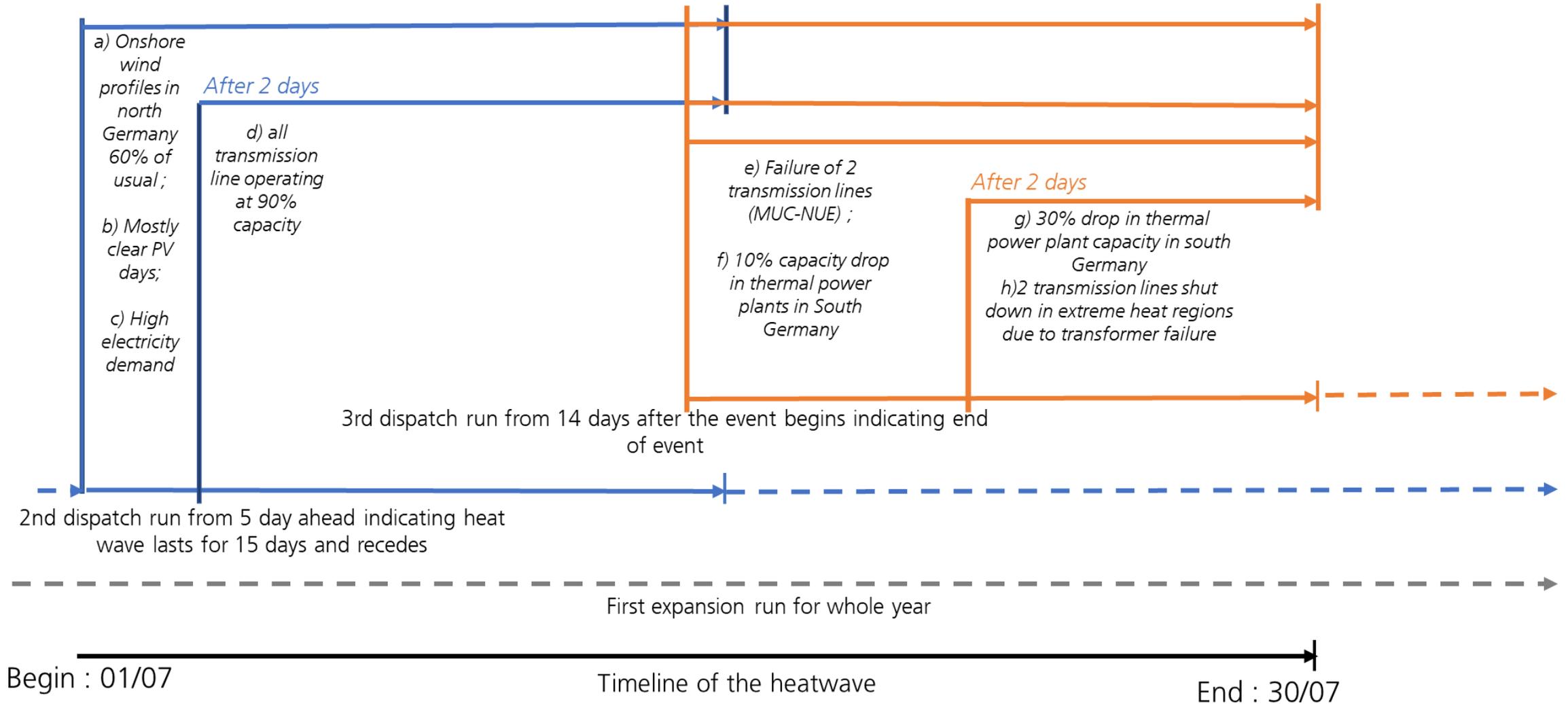
Welche Beeinträchtigung des Systems ergibt sich?

- Wo und wann tritt der Stressfall auf?
- Welchen Infrastrukturen fallen aus?
- Wie lange dauert der Ausfall an?
- Gibt es eine Ausbreitung durch das System?

Änderungen der Modellinputs für die Resilienzanalyse



Stressfallmodellierung am Beispiel der Hitzewelle



The background of the slide is a photograph of a large field of solar panels. The panels are arranged in rows and are tilted at an angle. They are supported by dark metal poles. The ground is covered in green grass and yellow wildflowers. The sky is a deep blue with some light clouds. The overall scene is bright and clear.

EXEMPLARISCHE ERGEBNISSE FÜR TESTINSTANZEN

Stressfall: Privater Cyberangriff

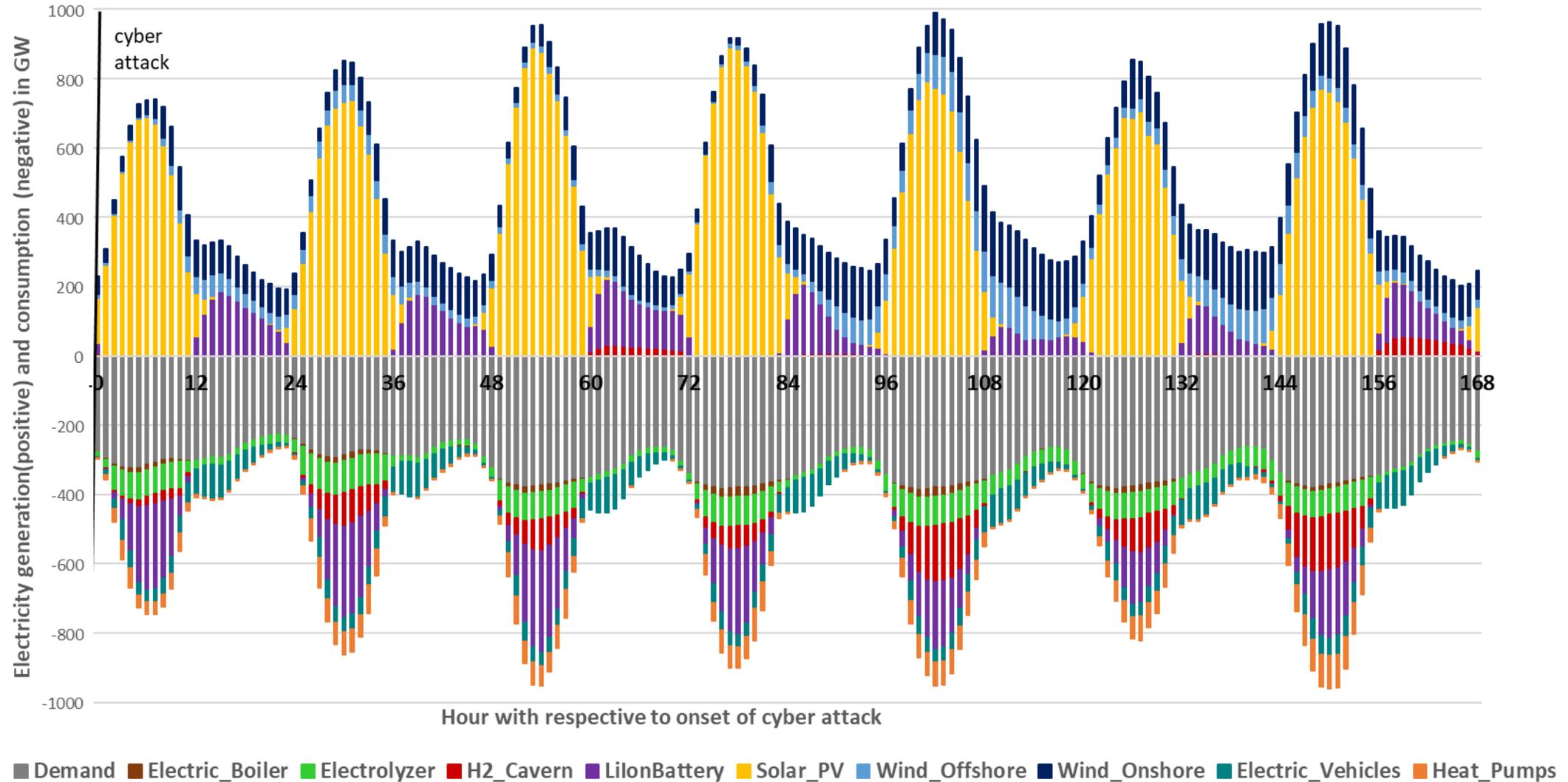
- **Wann?** Woche mit der höchsten PV-Erzeugung
- **Wo?** Im gesamten System
- **Welche Komponenten sind betroffen?** PV-Dachanlagen, Batteriefahrzeuge, Lastmanagement
- **Wie lange dauert der Angriff?** fünf Tage, Beginn: 6:00 Uhr morgens.

Testsystem

- Stilisierter Testfall mit 11 Modellregionen, kein real existierendes System
- Breites technologisches Spektrum einschließlich Sektorenkopplung, aber keine Gasnetze
- Sehr hoher EE-Anteil, der theoretisch 100% der Nachfrage decken kann
- Allerdings auch ausreichend Reservekraftwerkskapazität vorhanden

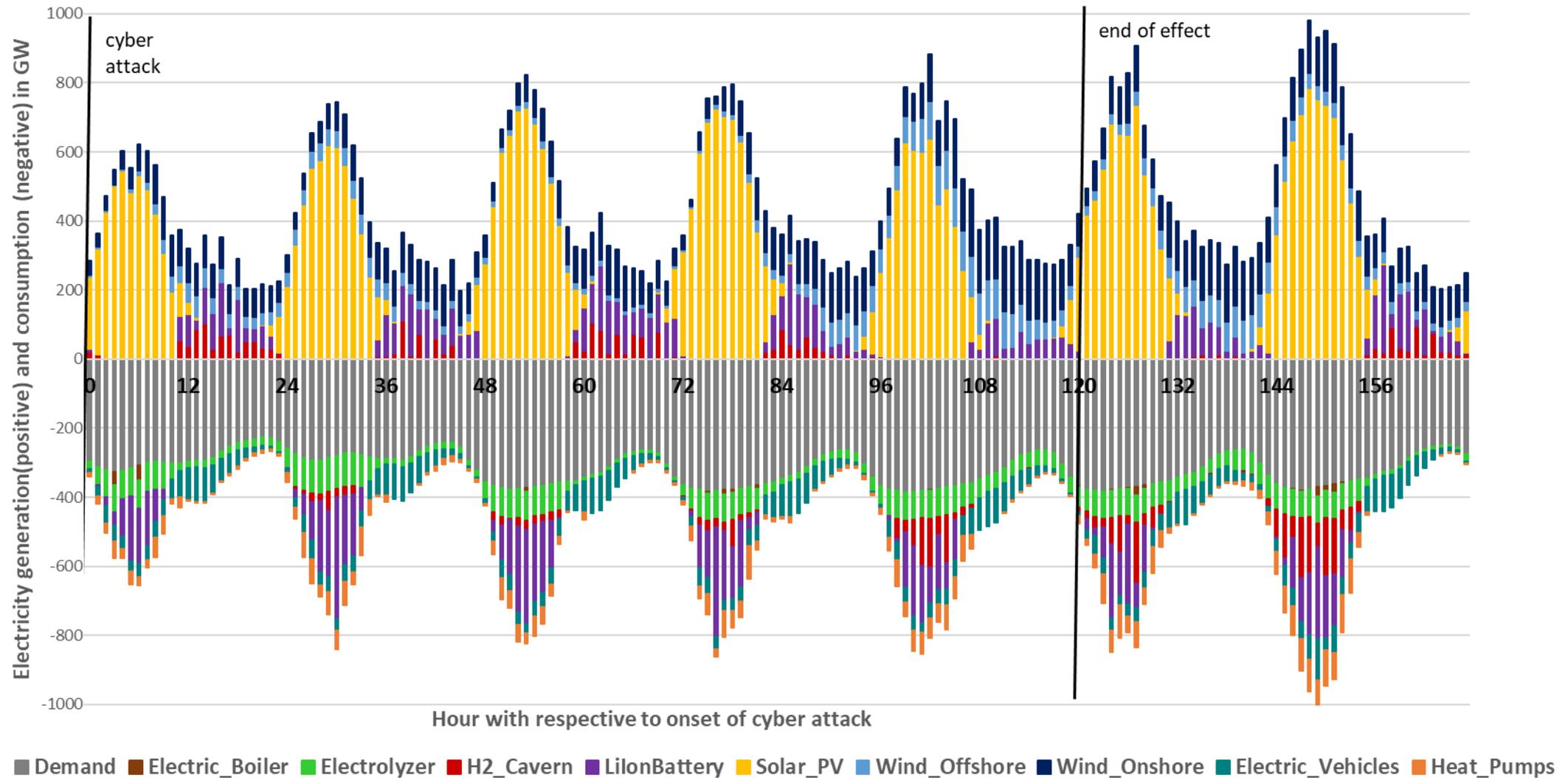
Regulärer Systembetrieb

Electricity balance in FlexMex system



Auswirkung des modellierten Hackerangriffs

Electricity balance in system under private cyber attack affecting 21% PV operation



Schlussfolgerungen und Ausblick



- Sektorenkopplung und Digitalisierung erfordern neue Methoden der Resilienzbewertung in der Energiesystemmodellierung
- Betrachtung unerwarteter Stressfälle erfordert Anpassung der Modelle
- Unsicherheit über zukünftiges Systemdesign wirkt sich auf Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz aus
- Herausfordernd bleibt die Betrachtung des Unbekannten

- REMix-Analyse des breiten Szenarioraums noch ausstehend
- Weitere Stressfälle sind noch zu implementieren