

RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Wo alles begann: Zeitenwende 2022

Februar 2022

Russland greift die Ukraine an.

September 2022

Es kommt zum Druckabfall durch Sprengungen an Nord Stream:

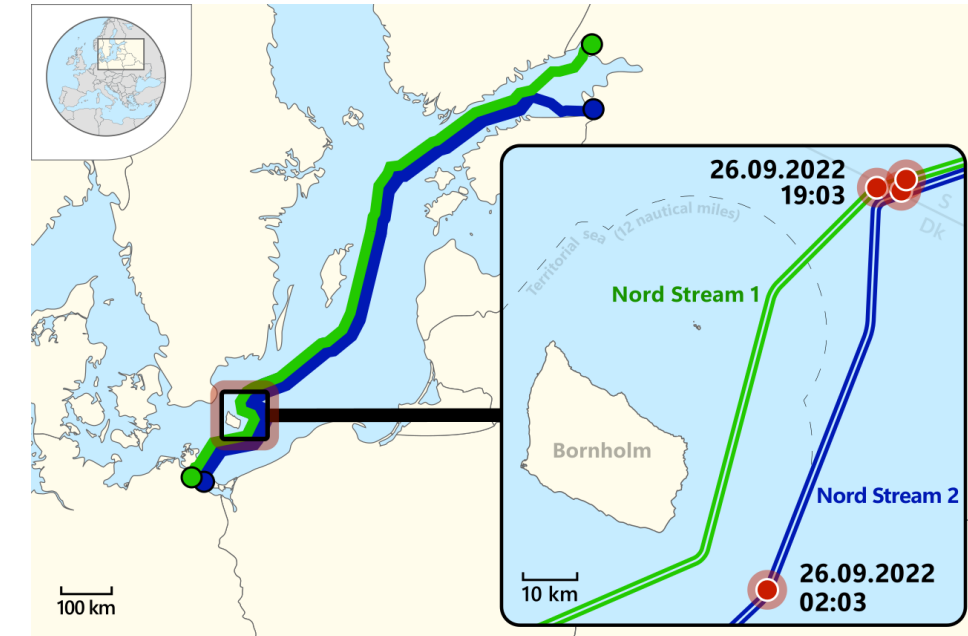
- Importabhängigkeit Deutschlands: knapp 64 % des Energiebedarfs durch Importe gedeckt, 50 % des Erdgases kamen aus Russland

Oktober 2022

RESUR startet als eine der 4 Helmholtz Zeitenwende Initiativen:

- Wird es im Winter zu Gasengpässen kommen?
- Was passiert, wenn die Bevölkerung massiv Elektroheizungen kauft?

Kein Einzelmodell konnte das beantworten: Strom, Gas, Wärme, Märkte und Verhalten der Bevölkerung hängen zusammen



© FactsWithoutBias1 / CC BY-SA 4.0 (via Wikimedia Commons)

RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Die Idee: schnelle, systemische Antworten

Ziel:

RESUR ist eine Analyse- und Beratungsplattform. Sie koppelt die Energiesystem-, Wirtschafts- und Gesellschaftsmodelle des Helmholtz-Programms ESD und liefert schnelle Handlungsempfehlungen bei disruptiven Ereignissen.

Forschungslücke:

Energiesystemmodelle zeigen vor allem langfristige Transformationspfade. Auf akute Fragen der nächsten Monate und Jahre sind sie nicht ausgelegt.

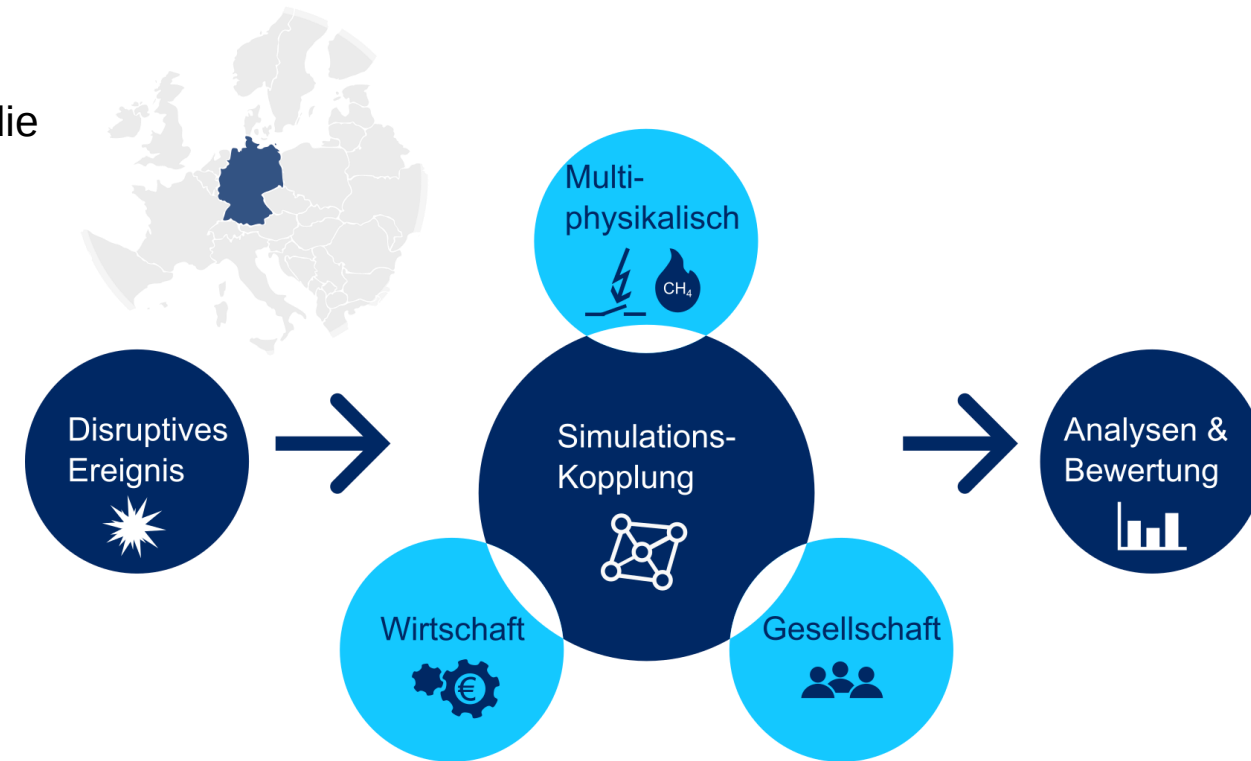
Re-Bundling:

Rechtlich entflochtene Sektoren (Strom, Gas, Wärme) und Ebenen (vom Übertragungsnetz bis zum Verbrauch) werden in der Simulation wieder zusammengeführt.

Beteiligt:

KIT und FZJ, DLR assoziiert.

Dazu ein Beratungsgremium aus der Energiewirtschaft mit 17 Partnern wie TransnetBW, Amprion, EnBW, Siemens und DVGW



RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

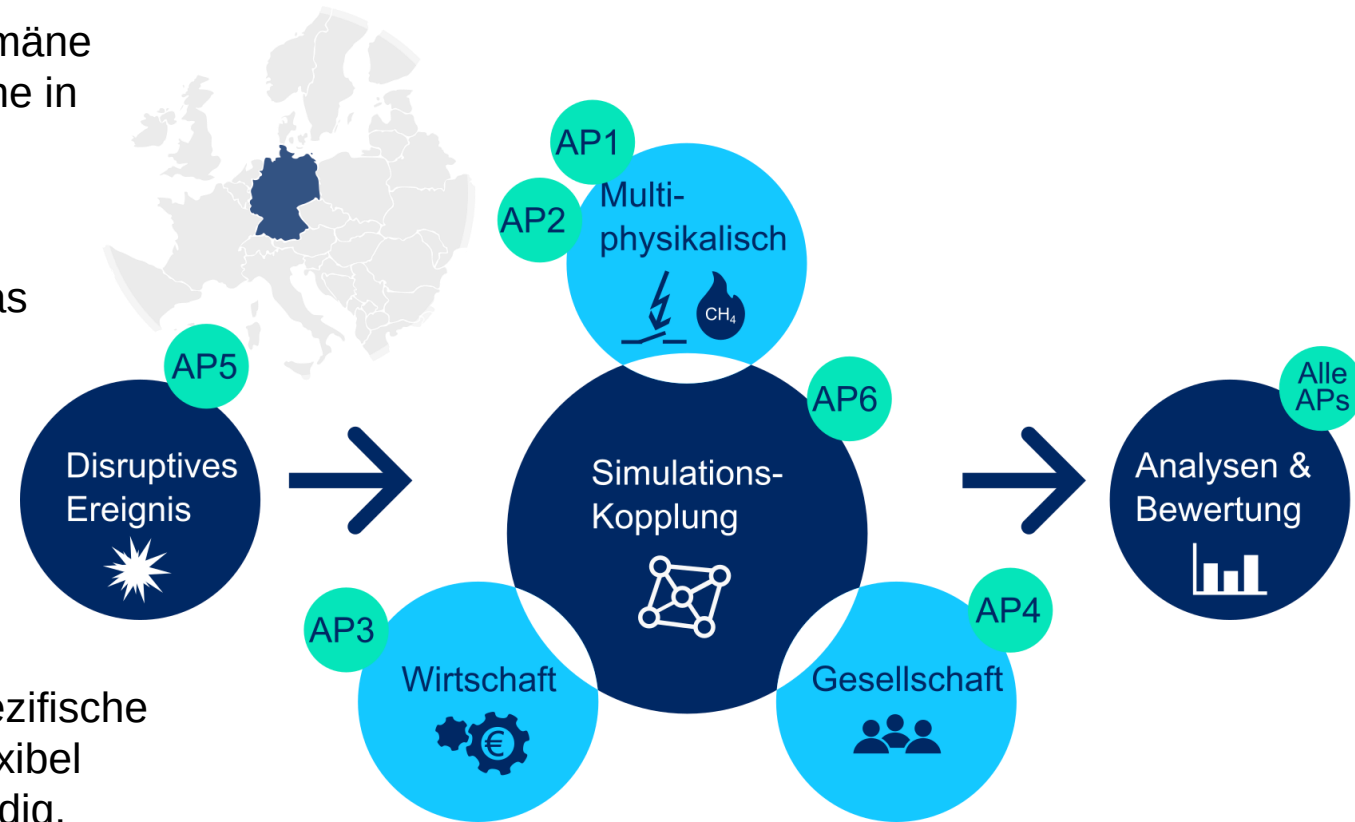
Ein Problem, viele Domänen

Disruptive Ereignisse lassen sich nicht aus einer Fachdomäne beantworten. RESUR bündelt deshalb sechs Fachbereiche in Arbeitspaketen:

- AP1: Übertragungsnetze Strom und Gas (inkl. 110 kV)
- AP2: Quartier-Co-Simulation für Wärme, Strom und Gas
- AP3: Märkte und Ökonomie
- AP4: Sozio-technische Analyse
- AP5: Disruptive Ereignisse und Robustheit
- AP6: Plattform zur Modellkopplung

Erkenntnis:

Es gibt nicht das eine große Modell, sondern szenariospezifische Modellkopplungen. Fachleute und Werkzeuge werden flexibel zusammengebracht, die Modelle bleiben dabei eigenständig.



RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Szenario-Übungen

Jährliche, projektweite Szenario-Analyse: ein Ereignis wird ausgewählt, quantifiziert und von allen Arbeitspaketen gemeinsam bearbeitet.

Idee:

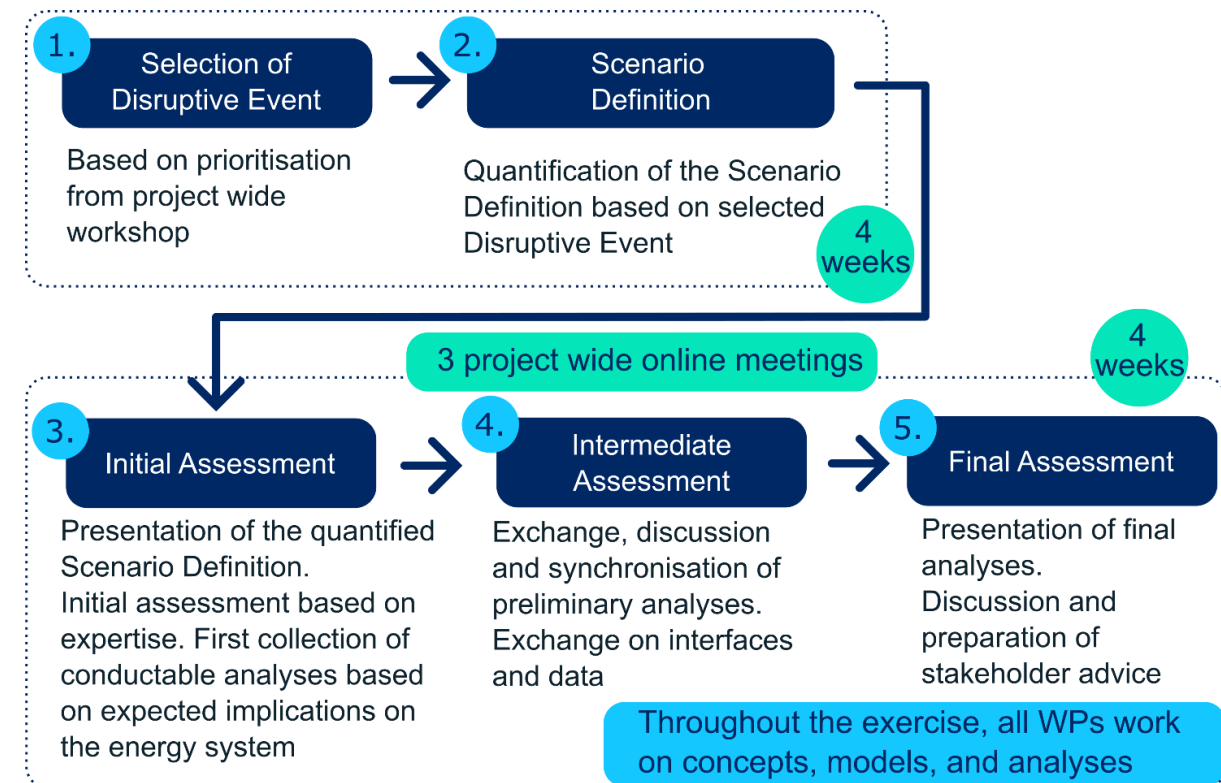
Eine „Katastrophenübung“ für das Energiesystem, um kurzfristige Analysen zu trainieren.

- Prozesse und Schnittstellen werden eingeübt.
- Es entsteht eine Blaupause für spätere Szenarien.

Bei der Auswahl der Szenario Übung wird das Beratungsgremium aus der Energiewirtschaft konsultiert.

Durchgeführte Szenario-Übungen:

2023: Hitzewelle. 2025: Cyberangriff auf das Energiesystem

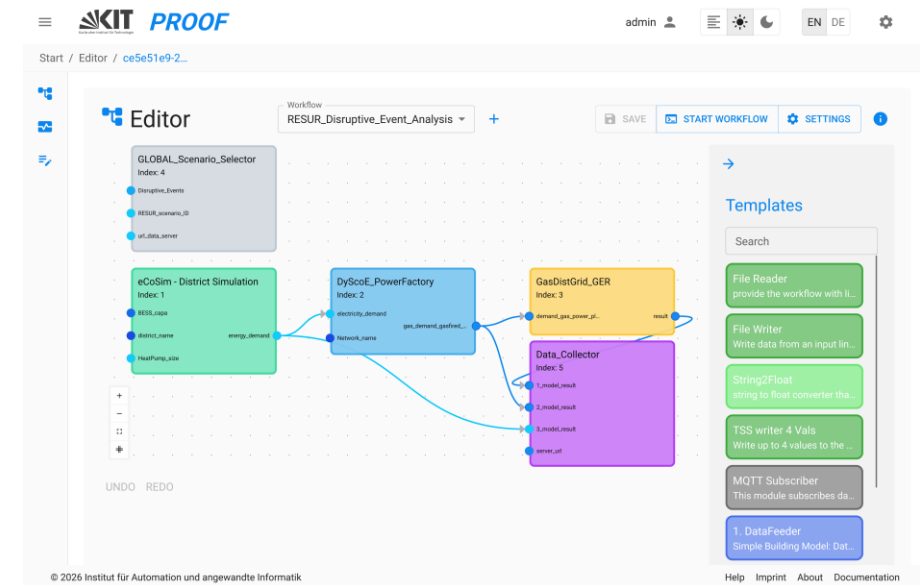


RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Modellkopplung: ein Workflow statt eines Einheitsmodells

- Jedes Modell bleibt beim jeweiligen Fachexperten. PROOF verbindet die Modelle pro Szenario zu einem Workflow. Entfernte Anbindung über RMI (Remote Method Invocation)
- **Granularity Gaps:** Die Netzdynamik läuft in 10-ms-Schritten, das Marktmodell stündlich.
- **Datenabgleich:** Top-Down und Bottom-Up Modelle passen nicht ohne Weiteres zusammen.
- **Datenaufbereitung:** KI-gestützte Anreicherung ordnet Daten zu (Koordinaten).
- **Wachsende Komplexität:** Mit jedem Modell wächst der Aufwand für Konsistenz und Schnittstellen

Beispiel:
Szenariodaten → Quartier-Co-Simulation (eCoSim) →
europäisches Stromnetz (DySCoE) → Gasnetzmodell



- J. Liu, M. Chlosta, N. Schaber, J. Sidler, R. Lutz, T. Schlachter, and V. Hagenmeyer (2023). "Introducing PROOF - A PROcess Orchestration Framework for the Automation of Computational Scientific Workflows and Co-Simulations". In: 2023 Open Source Modelling and Simulation of Energy Systems (OSMSSES). IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/osmses58477.2023.10089680
- Jakob Geiges, Gökhan Demirel, Julian Hoffmann, Thorsten Schlachter, Kevin Förderer, and Veit Hagenmeyer. 2026. Large Language Model Guided Geographic Data Enrichment across Infrastructure Domains for Resilient Energy System Design. ACM SIGENERGY Energy Informatics Review 6, 3 (September 2026). <https://energy.acm.org/eir/large-language-model-guided-geographic-data-enrichment-across-infrastructure-domains-for-resilient-energy-system-design>

RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

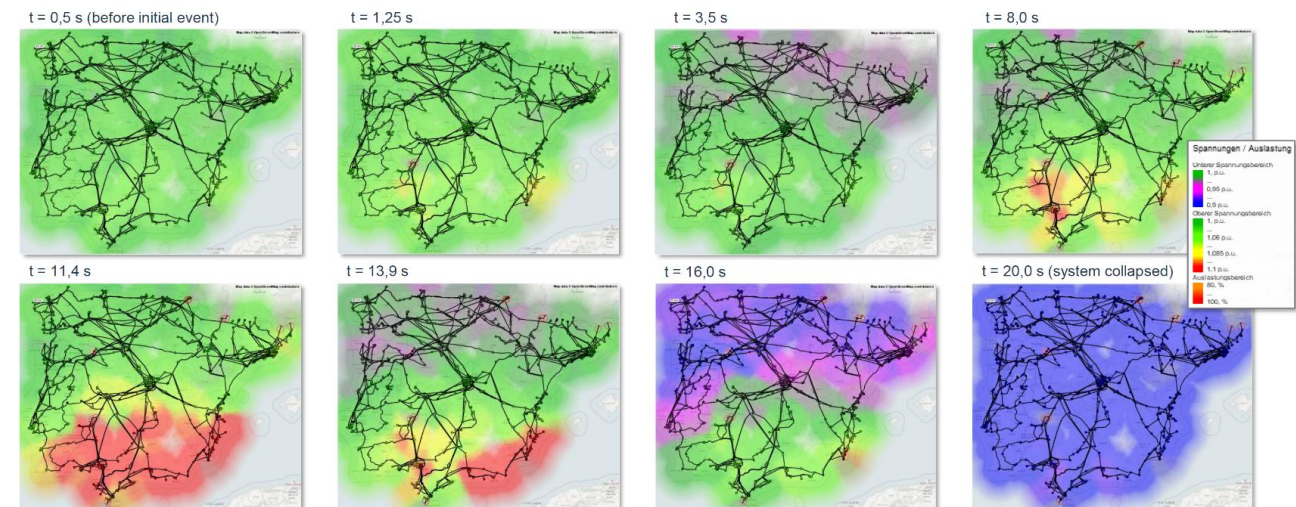
Szenario 2025: Cyberangriff auf das Energiesystem

Das Beratungsgremium aus der Energiewirtschaft priorisierte einen großflächigen Fehler des Übertragungsnetzes. Als Inspiration diente der Stromausfall auf der Iberischen Halbinsel, bei dem anfangs auch über einen Angriff auf die Spannungsregelung von Kraftwerken spekuliert wurde.

Das Szenario

Angriff auf die Blindleistungsregelung und Sicherheitstechnik mehrerer Kraftwerke in einer kalten Winternacht.

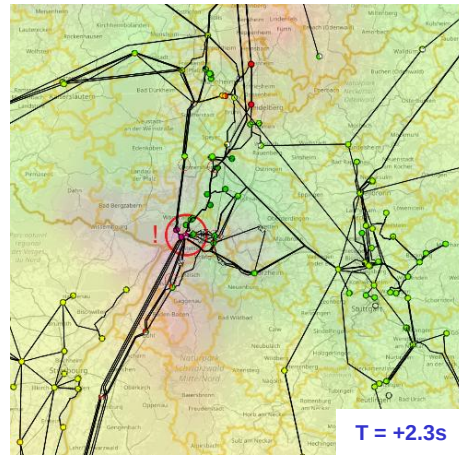
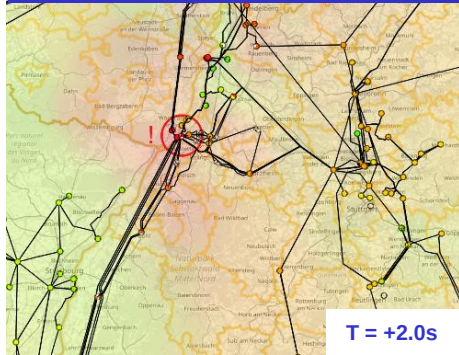
→ Manipulation von Sollwerten ist kein klassisches N-1-Ereignis.



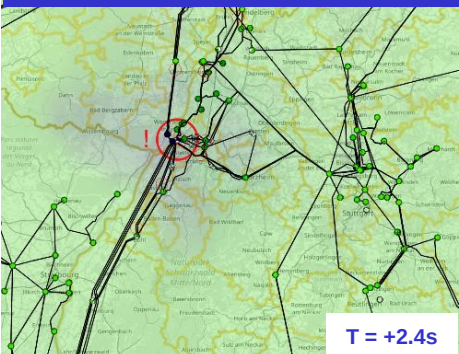
RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Szenario-Untersuchung: Transiente Simulation im Übertragungsnetz

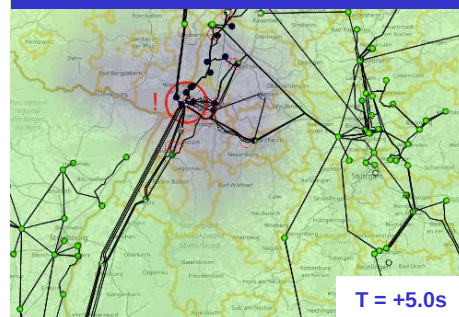
Erste Schutzeinrichtungen trippen



Umspannanlage wird vom Netz isoliert

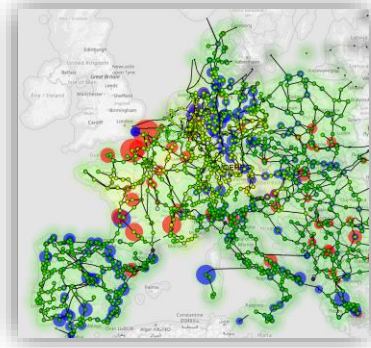
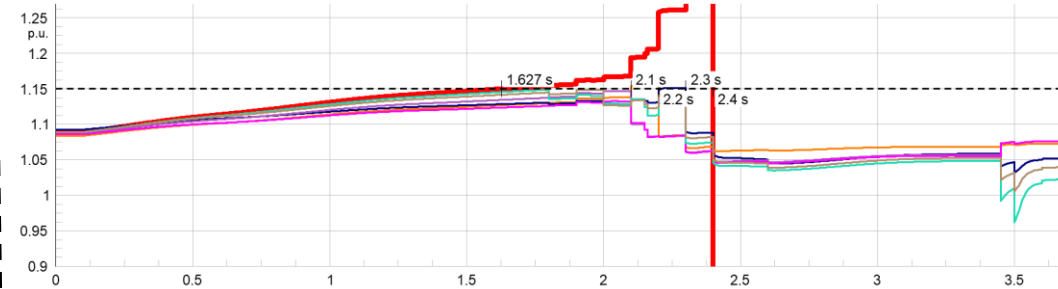


Nach 5 s führen lokale Netzüberlastungen zum Ausfall des 110 kV Netzes

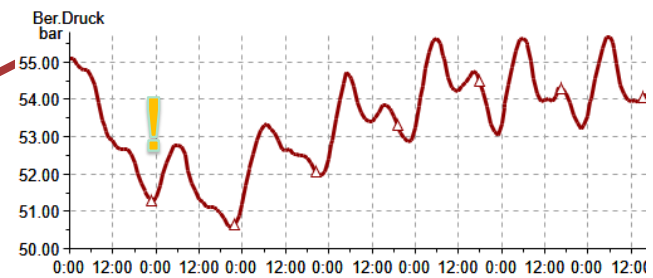
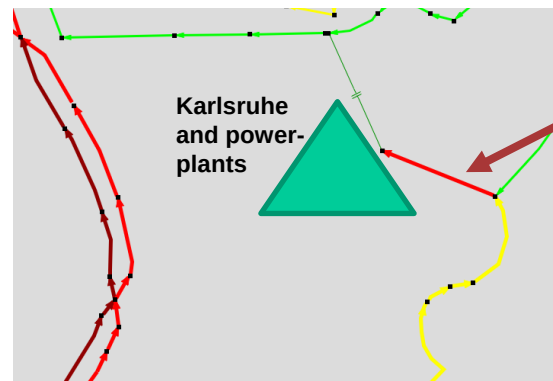


Solange das Übertragungsnetz nicht weiträumig ausfällt ist die Wiederversorgung möglich

Lokale Überspannungen an betroffenen Umspannanlagen



Kaskadeneffekte im Gasnetz durch elektrisch betriebene Verdichter

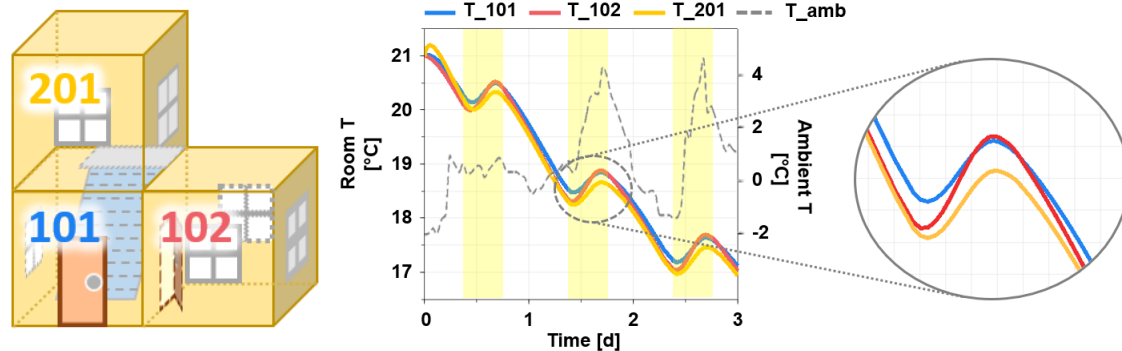


- Uwe G. Kühnapfel. 2025. European RMS PowerFactory Model. Tutorial: Real-Time Simulation and Co-Simulation for Large-Scale Power Grids. Talk at the 16th IEEE PowerTech 2025, Kiel, Germany, June 29 – July 3, 2025. KITopen. <https://doi.org/10.5445/IR/1000183486>

RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

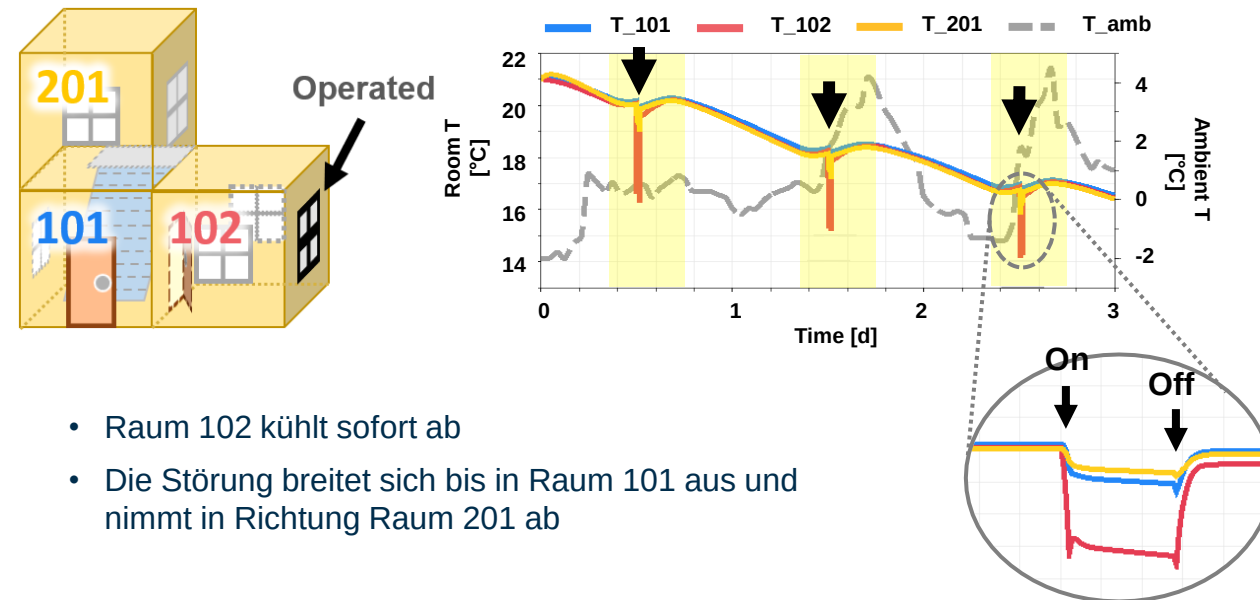
Szenario-Untersuchung: Gebäudetemperaturen nach Stromausfall und dadurch bedingten Heizungsausfall

S0: Passive Gebäudehülle



- Alle Räume kühlen sich ab
- Die T-Verhalten sind ähnlich, aber nicht identisch:
 - Raum 102 wurde schneller beheizt und gekühlt – höherer WWR
 - Raum 101 weist eine gemäßigte Veränderung auf

S1: Belüftungsstörung



- Raum 102 kühlt sofort ab
- Die Störung breitet sich bis in Raum 101 aus und nimmt in Richtung Raum 201 ab



- Haozhen Cheng, Veit Hagenmeyer, and Hüseyin K. Çakmak. 2026. Enhancing Resilience in Residential Buildings: Assessing Comfort under Blackout Scenarios with a Modular Multi-Zone White-Box Modeling Approach. In Proceedings of the 2026 ACM Sustainability Week (ACM Sustainability Week '26). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 352–356. <https://doi.org/10.1145/3765611.3813757>

RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Blick auf Wirtschaft, Gesellschaft und Zukunftssystem bei einem großflächigen Stromausfall

Märkte und Wirtschaft

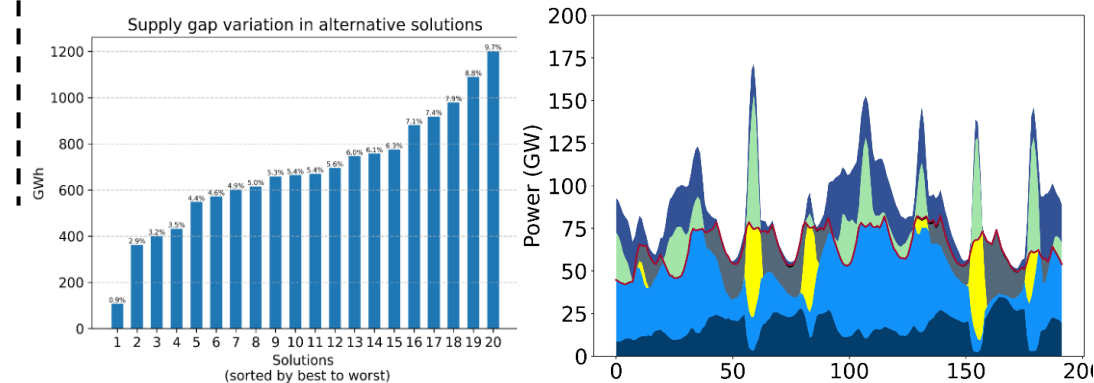
- Im Notfall können Strommärkte ausgesetzt und zentral gesteuert werden.
- Nach der Wiederherstellung des Netzes ist ein geordneter Marktneustart nötig

Gesellschaft

- Notfallpläne decken meist nur 72 Stunden ab.
- Tag 1 wird als Technikfehler wahrgenommen, es herrscht Solidarität. Ab Tag 2 ist der Angriff bekannt, dann steigen Egoismus und Misstrauen.
- Auch Nachbarregionen ohne Stromausfall sind betroffen. Sie erleben Mehrbedarf an Lebensmitteln und Wasser.

Zukunftssystem

- 20 alternative Systemlösungen wurden auf Machbarkeit geprüft.
- Die meisten Regionen bleiben vollständig versorgt.
- Versorgungslücken treten nur in einzelnen, isolierten Regionen auf



RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Ausblick: Die Welt ist instabiler geworden

- Hybride Angriffe auf Infrastruktur, etwa auf HVDC-Leitungen in der Ostsee, und Sabotage an Stromleitungen in Deutschland
- Der Blackout auf der Iberischen Halbinsel 2025 zeigt, wie Probleme bei der Spannungsregelung zu großflächigen Kaskaden führen können
- Die Angriffsfläche wächst. Die Zahl neu bekannter Software-Schwachstellen stieg von 6.494 (2015) auf 40.299 (2024)

RESUR II (03/2026 bis 12/2027):

- Die Plattform wird einsatzbereit gehalten und methodisch erweitert.
- Resilienzmetrik mit technischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Faktoren.

Geplant ist die Weiterführung nach 2027 mit weiteren Partnern

Vergleichbare internationale Projekte:

NAERM des US Energieministeriums untersucht Abhängigkeiten zwischen Strom, Gas und Kommunikationssystemen in Bedrohungs- und Gefahrenanalysen.

- U.S. Department of Energy, Office of Electricity. Updates to the NAERM. <https://www.energy.gov/oe/updates-naerm> (abgerufen am 04.10.2026)

RESUR - Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Fazit

1. Mehrwert des Re-Bundling?

Kaskaden sind nur gekoppelt sichtbar. Ein Stromausfall wirkt über die Netzebenen, betrifft das Gasnetz über elektrische Verdichter und endet bei Gebäudetemperaturen.

2. Akut vs. strategisch?

Akut braucht fertige Workflows, strategisch braucht Alternativen. Die Szenario-Analyse liefert schnelle Antworten. Für das Zukunftssystem prüfen wir Alternativen auf Robustheit.

3. Hürden der Integration?

Die Kopplung ist die Hürde, nicht das Einzelmodell. Die Probleme liegen beim Datenabgleich und sowie bei Einheiten, Granularitäten und Modellharmonisierung.

4. Rolle der Szenario-Übungen?

Sie machen die Plattform handlungsfähig. Prozesse und Schnittstellen werden eingeübt, die Ergebnisse dienen als Blaupause für spätere Szenarien.