

Das Zukunftslabor Energie

Digitalisierung im Fokus

Astrid Nieße | Laura Niemann |
Tobias Grimm | Sebastian Lehnhoff

Im Zukunftslabor Energie stehen die Digitalisierung der Energiesysteme und die Digitalisierung der Energieforschung im Fokus. Interdisziplinäre Teams fördern ein umfassendes Verständnis des Energiesektors, indem sie verschiedene Perspektiven einbringen. Sie legen besonderen Wert auf Transparenz sowie den freien Austausch von Wissen. Die hier dargestellten Arbeiten widmen sich unterschiedlichen Herausforderungen der Energiewende, insbesondere in aktiven Verteilnetzen und Quartieren sowie der Entwicklung innovativer digitaler Lösungen für die Energiesysteme der Zukunft.

Einleitung

Der Umstieg auf erneuerbare Energien sowie die Elektrifizierung von zuvor fossil betriebenen Fahrzeugen und Heizungen bis hin zur Vision einer »all-electric world« erfordern neue Lösungen für bestehende Herausforderungen der Energiesysteme und alle damit verknüpften Komponenten. Das Zukunftslabor Energie treibt die Entwicklung von Lösungen für spezifische Probleme in diesem Kontext voran und fokussiert dabei auch auf die Wissenschaft selbst: Mit offener Forschung, dem strukturierten Austausch von Daten sowie der Vernetzung niedersächsischer Energieforschungsinstitute schafft das Zukunftslabor Energie Grundlagen für eine erfolgreiche niedersächsische Energieforschungslandschaft.

Diese Sicht auf sowohl die Herausforderungen zukünftiger Energiesysteme als auch die Herausforderungen der Energieforschung bearbeitet das Zukunftslabor Energie in zwei Säulen: Bei der ersten Säule liegt der Fokus auf der Erforschung digitalisierter Energiesysteme und der Analyse der komplexen Wechselwirkungen zwischen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und Energiesystemen. Die zweite Säule des Zukunftslabors widmet sich der Digitalisierung der Energiesystemforschung und entwickelt eine kollaborative Forschungs- und Entwicklungsplattform, die die Transparenz und Effizienz in der Energieforschung erhöhen soll. In diesem Verständnis werden Artefakte und Erkenntnisse aus der ersten Säule als wertvolle Grundlagen und Ressourcen für die zweite Säule eingebracht. Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Arbeiten.



Abb. 1: Projektstruktur des Zukunftslabors Energie mit den zwei wesentlichen Säulen (Quelle: Darstellung aus dem Zukunftslabor Energie).

Durch die Bildung interdisziplinärer und institutsübergreifender Arbeitsgruppen sowie die Einbindung von Praxispartnern wird sichergestellt, dass verschiedene fachliche Perspektiven berücksichtigt werden und die jeweiligen Kompetenzen jedes Partners an geeigneter Stelle im Projekt nicht nur intern genutzt, sondern auch im Transfer in die Praxis eingebracht werden.

Open Science im Zukunftslabor Energie: Vorgehensweise und Prinzipien

Open Science zielt darauf ab, die wissenschaftliche Forschung transparent und für alle Akteure des Prozesses – aus Wissenschaft, Gesellschaft und Industrie – zugänglich zu gestalten. Das Hauptziel ist es, jeden Schritt des Forschungsprozesses transparent zu gestalten, um den freien Austausch von Wissen zu fördern. Open Science besteht aus vier zentralen Schlüsselkomponenten: Open Methods, Open Source, Open Access und Open Data.

Open Methods konzentriert sich darauf, die Transparenz, den Austausch und die gemeinsame Nutzung von Forschungsmethoden zu fördern. Open Source steht für kosten- und barrierefreien und öffentlichen Zugang zu Software. Quellcodes sind für alle interessierten Akteure verfügbar und nutzbar, idealerweise schon in der Entwicklung. Open Access zielt darauf ab, Forschungsergebnisse ohne finanzielle, technische oder rechtliche Barrieren der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Open Data, im Sinne des FAIR-Prinzips (siehe Krefting et al. in diesem Band), sorgt dafür, dass Daten auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar sind (Directorate-General for Research and Innovation 2021, ZDIN-ZLE 2021).

Das Zukunftslabor Energie hat sich mit seiner Open Science Declaration (ZDIN-ZLE 2021) verpflichtet, Open Science zur Grundlage der gemeinsamen Zusammenarbeit zu machen. In diesem Verständnis werden frei verfügbare und FAIR-konforme Datensätze verwendet, Publikationen unter Open Access-Lizenz publiziert und bereits Zwischenergebnisse veröffentlicht und damit zur Diskussion gestellt. Die entwickelte Software ist in einem öffentlichen GitLab-Repository für alle Interessierten kostenfrei einsehbar (<https://gitlab.com/zdin-zle>). Ein entscheidender Schritt im Projekt ist die Entwicklung eines Prototyps für eine Forschungsplattform, der die Prinzipien von Open Science in die Praxis der angewandten Forschung umsetzt. Ferner ist seit 2018 der Open Access Nano Energiesystemsimulator NESSI (<https://nessi.iwi.uni-hannover.de/de/>) entwickelt worden, der auch für Nicht-Expert*innen einfach zu bedienen ist.

Um den Open Science-Ansatz erfolgreich umzusetzen, ist im Zukunftslabor Energie mit seinen vielfältigen Fachdisziplinen die Schulung der Teammitglieder von großer Bedeutung. Dafür wurde eine Schulungsreihe konzipiert, um das Wissensniveau der Teammitglieder anzugeleichen und die individuellen Kompetenzen und Kenntnisse der Partner in der Gesamtgruppe nutzbar zu machen. Dies gewährleistet einen gemeinsamen Wissensstand und einen einheitlichen Qualitätsstandard für die entwickelte Software. Die Schulung deckt Themen wie Open Science, Versionskontrolle, Use Case Modeling, Softwarearchitektur und Software-Tests ab, um sicherzustellen, dass alle Partner die Anforderungen dieses Ansatzes erfüllen können. Dies ist ein entscheidender Schritt auf dem Weg zu erfolgreicher Open Science im Zukunftslabor Energie.

Zudem wird großer Wert auf Öffentlichkeitsarbeit gelegt. Auf der Webseite des Zentrums für digitale Innovationen (ZDIN) finden sich verschiedene Berichte, die einen Einblick in die Arbeit des Zukunftslabors Energie gewähren. Darüber hinaus war das Projekt auf verschiedenen Veranstaltungen präsent, etwa auf der Hannover Messe 2023 und im Rahmen eines »Meet the Scientist«-Events im phaeno in Wolfsburg. Diese Präsenz ermöglichte es, Projektergebnisse aktiv mit der Gesellschaft zu besprechen und zu diskutieren. Formate unter diesem Anspruch und in jeweils zielgruppenangepasster Form werden kontinuierlich entwickelt und bewertet. In der Zeit des pandemiebedingten Lockdowns wurde beispielsweise für verschiedene Industriepartner ein Workshop aufgesetzt, der in gemischten Kleingruppen aus Forschenden und Unternehmensvertreter*innen einen intensiven Austausch zwischen Wissenschafts- und Praxispartnern ermöglichte.

Im Folgenden wird ein vertiefender Blick in ausgewählte Arbeitspakete gegeben (vgl. Abb. 1).

Säule 1: Erforschung digitalisierter Energiesysteme

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, die zunehmende Nutzung dezentraler erneuerbarer Energie und der Einsatz lokaler Energiespeicher stellen das Stromnetz vor neue Herausforderungen. Die Entwicklung hin zu einem modernen und nachhaltigen Energiesystem erfordert den Ausbau aktiver Verteilnetze, die erneuerbare Energiequellen und steuerbare Verbraucher effektiv integrieren können. Der Digitalisierung der Energiesysteme kommt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle zu. Daher liegt in Säule 1 des Projekts der Fokus auf der Untersuchung komplexer Wechselwirkungen zwischen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und Energiesystemen. Das Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, innovative Ansätze zur Analyse und Optimierung dieses »Cyber-Physical-Energy-System-of-Systems« zu erarbeiten und ihre Resilienz zu untersuchen. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Einfluss elektronischer Mess-, Überwachungs- und Automatisierungssysteme auf die Effizienz, Optimierung und Stabilität von dezentralen Quartiersversorgungskonzepten. Dabei werden auch aktuelle Themen wie Technologieakzeptanz und Datenschutz berücksichtigt.

Die Grundlage dieser Arbeit bilden reale Quartiere in Norddeutschland, für die nicht nur die jeweils spezifischen Quartiergegenschaften erfasst wurden, sondern auch eine einheitliche Szenarienbeschreibung entwickelt wurde. Auf dieser Basis werden verschiedene Versorgungsszenarien modelliert und fünf technologiefokussierte Durchstichszenarien entwickelt (siehe Abb. 2). Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Wiederverwendbarkeit, Qualität und umfassenden Dokumentation der einzelnen Komponenten, was im Einklang mit den Prinzipien des Open-Science-Ansatzes steht. Diese Herangehensweise ermöglicht eine schrittweise Entwicklung der Szenarien und fördert eine aufeinander aufbauende Entwicklung. Daher befinden sich die Szenarien in verschiedenen Entwicklungsstadien und werden folgend genauer erläutert.

Szenario 1 GEBÄUDE	Szenario 2 FLEXIBILITÄT	Szenario 3 E-MOBILITÄT	Szenario 4 IKT-STÖRUNGEN	Szenario 5 NETZBETRIEB
Einbindung von Gebäudemodellen über FMU-Schnittstellen in die MOSAIK Co-Simulation	Multimodale Flexibilitätsnutzung im Quartier zur Lösung von Problemen im Stromnetz	Netzaufnahmefähigkeit für E-Mobilität in Quartieren mit energetischem Sanierungsbedarf	Auswirkungen von Ausfällen und Verzögerungen in der Kommunikation auf die Energieversorgung	Labervernetzte Co-Simulation zum robusten Betrieb hoch digitalisierter Niederspannungsnetze
Gebäudemodell Wärmequelle Speichermodell PV-Modell Co-Simulation	Flexibilitätsmodellierung Netzsimulation PV-Modell Gebäudesimulation Co-Simulation	E-Mobilität Speichermodell statische Daten Netzsimulation Co-Simulation PV-Modell Visualisierung	Co-Simulation PV-Modell Kommunikationsmodelle statische Daten Netzsimulation Speichermodell Flexibilitätsmodelle	Robuster Netzbetrieb Co-Simulation Netz(ebenen)- Emulation Laborschnittstellen

Abb. 2: Die fünf themenfokussierten Durchstichszenarien im Zukunftslabor Energie (Quelle: Darstellung aus dem Zukunftslabor Energie).

Aufbau und Entwicklung der Szenarien

Im Szenario »Gebäude« entwickeln Forschende ein flexibles Gebäudemodell für Wohnhäuser. Aus den generierten Lastprofilen für Heizung, Warmwasser und Strombedarf werden verschiedene Wohngebäude detailgetreu modelliert und in anpassbare Modelle in einer Simulationsumgebung überführt. Die Modellierung erfolgt über die Programmiersprache Python und es wird für die Co-Simulation das offene Co-Simulations-Framework »mosaik« verwendet. Das Framework *mosaik* wird in vier der fünf Szenarien genutzt, um die Modelle zu koppeln und die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Energiekomponenten zu analysieren. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, ist *mosaik* modular aufgebaut und kann Komponenten wie Windkraftanlagen und PV-Anlagen co-simulieren, um ein Smart Grid abzubilden.

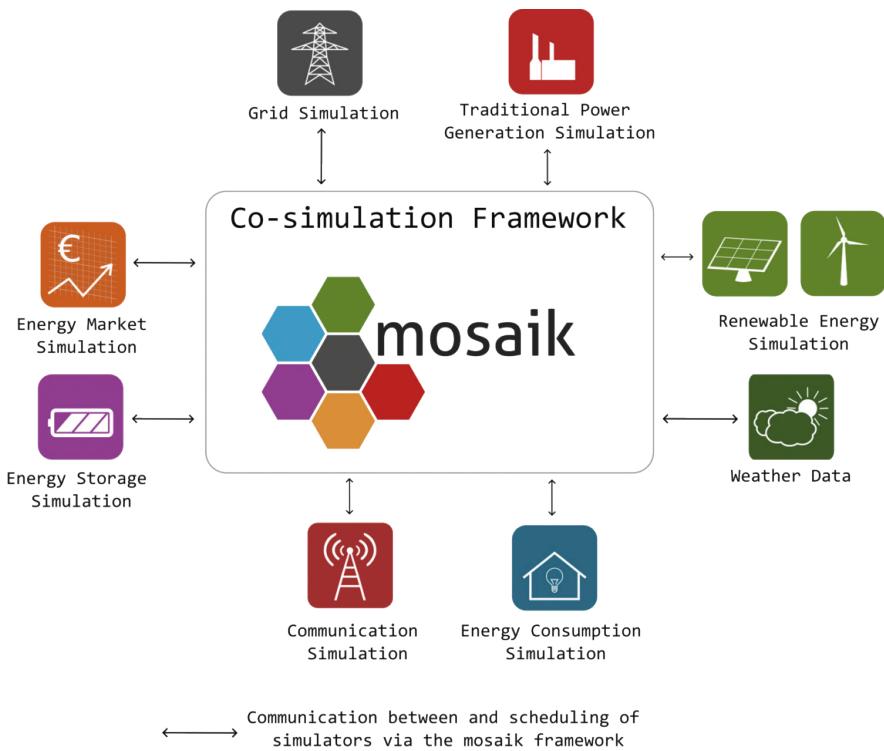


Abb. 3: Modularität des Co-Simulation Framework *mosaik* (Quelle: *mosaik*-team [2019]).

Das Szenario »Flexibilität« untersucht die Nutzung von Flexibilität in einem Wohnquartier zur Bewältigung von Engpässen im Stromnetz. Flexibilität stellt die Möglichkeit zur Anpassung des Stromverbrauchs oder auch der Stromerzeugung im Quartier dar, um sich an äußere Umstände anzupassen und die Stabilität

im Stromnetz zu gewährleisten. Dafür wird ein Flexibilitätsmodell entwickelt, welches die Flexibilität einheitlich koordiniert. Die Forschung konzentriert sich auf die Nutzung von Batterien und Heizungs-, Lüftungs- und Klimagesystemen als Flexibilität, die je nach Bedarf und Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom geregelt werden können. Dabei spielt die Kommunikation der verteilten Systeme eine wichtige Rolle, um etwa Ladezustände von Batteriespeichern miteinander auszutauschen. Kommunikationsstörungen können in einem solchen System ungeplante Folgen haben, weshalb die Untersuchung von Kommunikationsstörungen und deren Bewältigung Teil der Forschung im Bereich Flexibilisierung des Stromsystems ist.

Das Szenario »E-Mobilität« widmet sich der Herausforderung, die Auswirkungen der zunehmenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen im Quartier »Am Ölper Berge« in Braunschweig auf das Stromnetz zu analysieren. Das Forschungsziel besteht darin, die Netzaufnahmefähigkeit zu analysieren und einschränkende Faktoren zu identifizieren. Verschiedene Szenarioausprägungen werden betrachtet, die das Quartier in einer Energiegemeinschaft abbilden, um nutzerseitige Verbesserungsmaßnahmen wie kooperative Stromerzeugung, Speicherung und intelligente Ladestrategien zu testen. Ein vereinfachter Aufbau des Modells ist in Abbildung 4 zu erkennen (vgl. Wagner et al. [2021] für eine Detailbeschreibung).

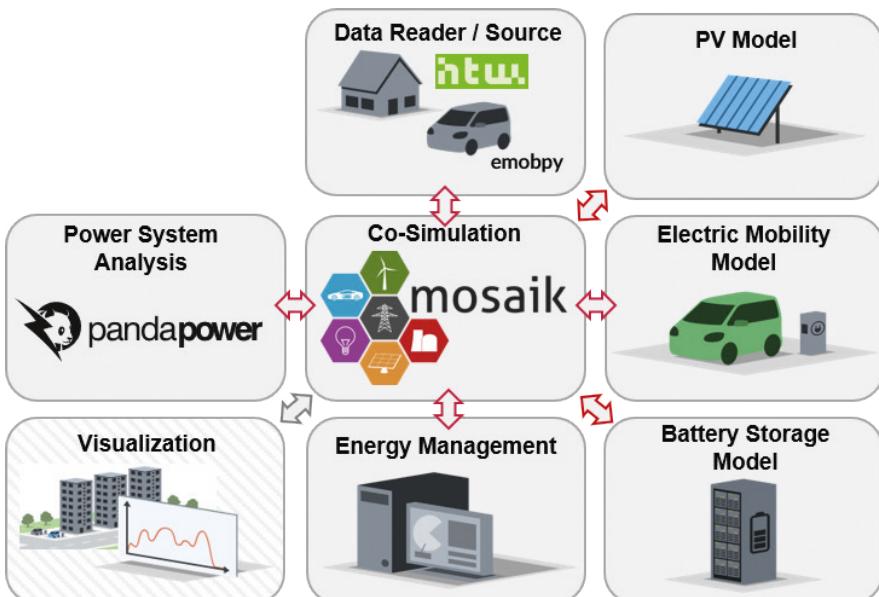


Abb. 4.: Übersicht über das Szenario E-Mobilität mit zentralen Komponenten
(Quelle: Reinhold und Wagner [2021]).

Im Szenario »IKT-Störungen« wird ein Modell entwickelt, um die Kommunikation zwischen verschiedenen Geräten – beispielsweise zwischen PV-Anlagen und Batteriespeichern – in modernen Energiesystemen abzubilden und so ein mehrdimensionales Energiesystem darzustellen. Es dient dazu, unterschiedliche Kommunikationsprobleme wie Unterbrechungen, Latenzzeiten und Datenverluste zu simulieren und die Auswirkungen dieser Probleme auf die Leistungsfähigkeit des Energiesystems zu analysieren. Ziel ist es, die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Komponenten zu erforschen, besser zu verstehen und zu analysieren, welche Auswirkungen Störungen auf die Stabilität des Stromnetzes haben.

Das Szenario »Netzbetrieb« hat das Ziel, reale Effekte und komplexe Eigenschaften von Netzkomponenten in die Untersuchungen einzubeziehen. Dies ist besonders wichtig, da herkömmliche Computersimulationen diese Aspekte häufig vernachlässigen. Um dies zu bewerkstelligen, wird ein innovatives Konzept entwickelt, das räumlich getrennte Energielabore in Niedersachsen verbindet, um gemeinsame Experimente zu ermöglichen. Dabei wird eine Netzstruktur modelliert, standardisierte Niederspannungs-Typnetze werden eingerichtet und Strategien zur Spannungsregelung an Netzknoten durch dezentrale Flexibilitätsbereitstellung simuliert. Zur Umsetzung dieser Idee werden Labore in Emden und Oldenburg mithilfe eines VPN vernetzt. Aktuell wird das Kopplungsframework VILLASnode verwendet, das die erforderlichen Schnittstellen, zeitliche Auflösung und Echtzeitfähigkeit bietet. Es wurden zwei Szenarien entwickelt, um Netzengpässe und Überlastungen zu verhindern. In beiden Szenarien wurden reale PV-Wechselrichter und Hausbatteriespeicher eingesetzt, um netzdienlich ihr Flexibilitätspotenzial einzusetzen.

Gewonnene Erkenntnisse zur Elektromobilität und zum Netzbetrieb

Im Szenario »E-Mobilität« konnte bereits die zentrale Erkenntnis erzielt werden, dass die Netzaufnahmefähigkeit von Elektrofahrzeugen im Quartier »Am Ölper Berge«, welches stellvertretend für viele ähnliche Quartiere betrachtet wurde, bereits gegeben ist. Es ist möglich, mehr Elektrofahrzeuge im Szenario »EV« mit simplem, unkoordiniertem Laden der Elektrofahrzeuge (»max. power«) zu versorgen, als Abstellmöglichkeiten für Fahrzeuge im Quartier vorhanden sind (Abb. 5). Weiterhin wurde ermittelt, dass die bloße Integration von Photovoltaikanlagen und Batteriespeichern allein nicht zu einer bedeutenden Steigerung der Elektrofahrzeugkapazität führt (siehe »max. power« im Szenario »EV_PV« bzw. im Szenario »EV_PV_STO« in Abb. 5). Gesteuerte Ladestrategien, etwa das Laden des E-Autos nach einer Prognose (»forecast«), das Laden bei Sonnenschein (»solar«) oder nächtliches Laden (»night«), können die Netzaufnahmefähigkeit

von Elektrofahrzeugen in allen Szenarien deutlich steigern, indem sie von Synergieeffekten profitieren. Der zentrale Einsatz von Flexibilität zur Vermeidung von Spannungsbandverletzungen (Szenario »GRID_OBSV« in Abb. 5) bewirkt einen erheblichen Anstieg der Elektrofahrzeugkapazität über alle Ladestrategien hinweg. Die Kombination aus den gesteuerten Ladestrategien »forecast« und »solar« in Verbindung mit dem zentralen Einsatz von Flexibilität erzielten die besten Ergebnisse mit einer Steigerung der Netzaufnahmefähigkeit von 43 % gegenüber dem einfachen Szenario »EV« mit »max. power«. Diese Erkenntnisse tragen dazu bei, nachhaltige Energiesysteme zu fördern und die Integration von Elektromobilität voranzutreiben (vgl. Wagner et al. [2022] für weitere Details).

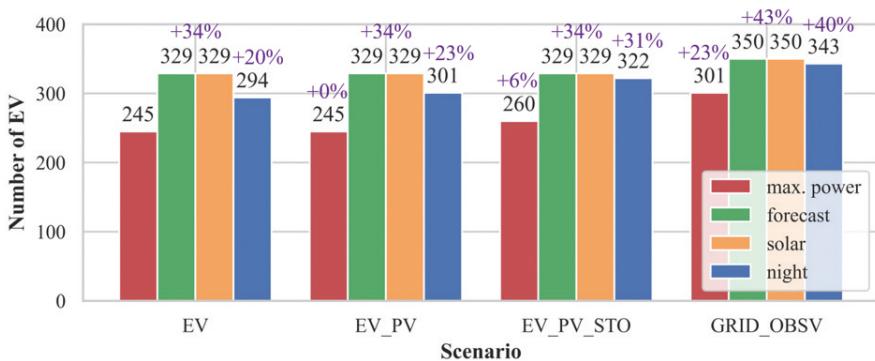


Abb. 5: Netzaufnahmefähigkeit von Elektrofahrzeugen im Quartier »Am Ölper Berge« basierend auf dem Simulationsszenario und Ladestrategie. EV = Electric Vehicles (E-Autos), PV = Photovoltaik, STO = Storage, GRID_OBSV = Grid-Observer (Zentrale Überwachung zur Koordination vorhandener Flexibilitäten) (Quelle Wagner et al. [2022]).

Im Kontext des Szenarios »Netzbetrieb« konnten ebenfalls bereits erste aufschlussreiche Einsichten gewonnen werden. Ein zentrales Anliegen bestand darin, zu prüfen, ob die Verknüpfung von Hardware in den Laboren an den verschiedenen Forschungsstandorten den Anforderungen an Latenz (die Zeitspanne zwischen einem Ereignis und der sichtbaren Reaktion darauf) und Datenübertragung gerecht wird. In den konkreten Fällen ergaben Latenztests, dass die Verzögerung zwischen den Laboren im Mittel 65 Millisekunden beträgt, was die gesetzte Anforderung an quasidynamische Echtzeitsimulationen mit Zeitschritten von einer Sekunde übertrifft.

Des Weiteren konnten Unterschiede zwischen der verwendeten herkömmlichen Simulation (monolithisch numerisch) und der PHiL Co-Simulation (PHiL = Power Hardware in the Loop, steht für die Integration realer Komponenten in eine Simulationsumgebung) festgestellt und untersucht werden. Abbildung 6 zeigt, dass zwischen der monolithisch numerischen und der PHiL Co-Simu-

lation Abweichungen bestehen. Dennoch ist ersichtlich, dass die erwartbaren Abweichungen zwischen den gemessenen Spannungs- und Leistungswerten der PHiL Co Simulation und der reinen Berechnung verhältnismäßig gering ausfallen und durch weitere Anpassungen weiter gesenkt werden können. Damit können praktische Lösungen für die komplexen Anforderungen der modernen Energiesysteme leichter und schneller entwickelt werden. Ebenfalls deutlich wurde, dass für dynamischere Untersuchungen geringere Verzögerungen in der Kommunikation zwischen den Simulatoren erforderlich sind (vgl. Fayed et al. [2023] für weitere Details). Im nächsten Schritt sollen Labore aus den Sektoren Wärme und Mobilität in die Forschung integriert werden, da sie zusätzliche Herausforderungen für die Stromnetze darstellen.

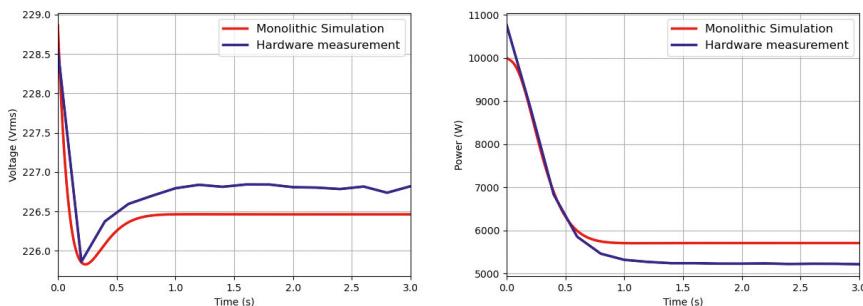


Abb. 6: Vergleich der Spannung am Netzverknüpfungspunkt und Leistungsbereitstellung von monolithischer Simulation (Monolithic Simulation) und PHiL Co-Simulation (Hardware Measurement) (Quelle: Fayed et al. [2023]).

Säule 2: Digitalisierung der Energieforschung

Die dynamische Entwicklung der Energiesysteme durch erneuerbare Energien und die Elektrifizierung unterschiedlicher Sektoren unterstreicht die gegenwärtige Bedeutung der Energieforschung. Dabei steht insbesondere die Notwendigkeit im Vordergrund, aktuelle Forschungsergebnisse leicht auffindbar und zugänglich zu machen. Dies gewährleistet, dass neue Erkenntnisse und Fortschritte effektiv verbreitet werden und als Grundlage für weitere Arbeiten dienen können. Daher wird im Zukunftslabor Energie an der Entwicklung einer kollaborativen Forschungs- und Entwicklungsplattform für digitalisierte Energiesysteme gearbeitet. Dabei stehen die folgenden Ziele im Fokus:

- Wissensverbreitung: Forschungsergebnisse leichter zugänglich machen und die Verbreitung von Wissen fördern;

- Wissensaustausch: Forschenden bei der Auswahl von Kooperationspartnern, Methoden, Daten und Modellen zu helfen, was die Qualität und Relevanz der Forschung steigert;
- Wissenstransfer: Sicherstellen, dass Forschungsergebnisse in die Gesellschaft und Wirtschaft übertragen werden, um einen realen Nutzen zu erzielen;
- aktive Teilnahme an der Erforschung von Energiesystemen: Durch einen einfachen Einstieg in Co-Simulation wird das Mitwirken von Interessenvertretern an der Energieforschung gefördert.

Konzeptualisierung der Plattform

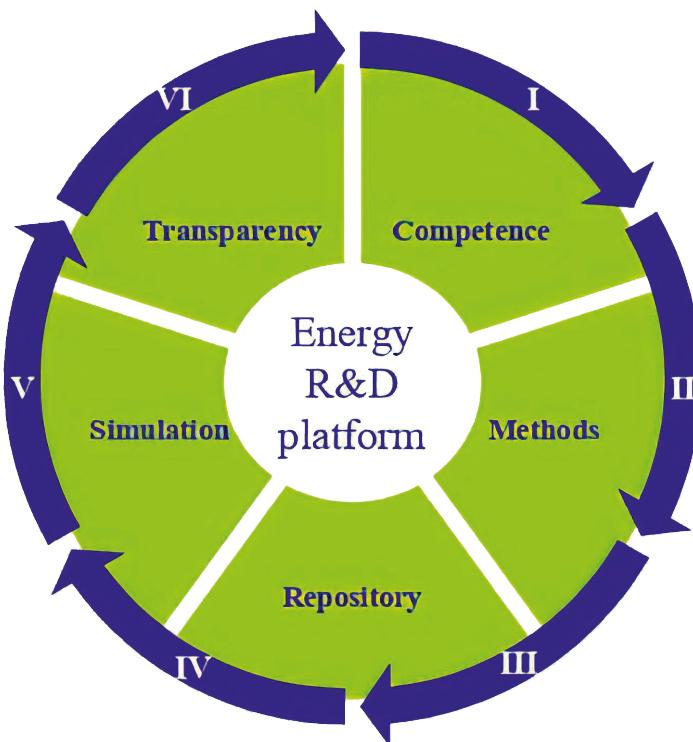


Abb. 7: Elemente der Forschungsplattform (Quelle: Ferenz et al. [2022]).

Um die Anforderungen an die Plattform zu verstehen, wurden existierende Ansätze verglichen, bereits vorhandene Websites analysiert und – basierend auf Interviews der relevanten Stakeholder – eine Plattformvision erstellt. So konnten spezifische Merkmale und Subelemente identifiziert werden, die für die Entwicklung und Implementierung einer effizienten, von den Stakeholdern akzepte-

Das Zukunftslabor Energie

tierten und somit letztlich erfolgreichen Forschungsplattform von Bedeutung sind (vgl. Ferenz et al. [2022] für eine Detailbeschreibung der Konzeption).

Elemente der Plattform

Das Plattformelement »Core« wurde eingeführt, um andere Elemente mit grundlegenden Funktionen zu unterstützen. In diesem Bereich sind allgemeine Funktionen wie die Menüführung und die Suche angesiedelt. Die »Federated Search« ermöglicht es den Nutzer*innen, auf der gesamten Plattform nach Inhalten zu suchen. Ebenfalls in diesem Bereich ist die Entwicklung der Serverstruktur angesiedelt, die die Interoperabilität der einzelnen Elemente sicherstellt, weshalb dieser Bereich auch als das »technische Grundgerüst« bezeichnet werden kann.

The screenshot shows a detailed profile page for the elenia Institute. At the top, there's a navigation bar with links for Competence, Methods, Repository, Simulation, Transparency, and a search bar. Below the header, the elenia logo is displayed, followed by its full name: elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme. The main content area is divided into several sections: 'Profiles' (listing the elenia Institute), 'Research Projects' (listing various projects like ZLE, MELANI, Energy4Agri, SINEID, fawess, USAICL, U-Quality, Q-Integral, IKTfReE, Netzregelung 2.0, H2_Campus_TUBS, and ALPHUS), 'Summary' (describing the focus on renewable energy systems, smart grids, and electric mobility), 'Representatives' (listing Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel with his photo and contact information), 'Maintainers' (listing M. Sc. Henrik Wagner with his photo and contact information), 'Research Focus' (listing topics like Energy System Modelling and Commercial Integration of Renewable Energy Systems and Integration of Electric Vehicles/Energy System Analysis), 'Address' (listing the address as Schleinitzstraße 23, 38106 Braunschweig, Deutschland), and 'Research Networks' (with icons for edit and delete). A sidebar on the left lists other research projects under 'Research Projects'.

Abb. 8: Beispiel eines Profils auf der Forschungsplattform (Quelle: Eigene Darstellung des Zukunftslabor Energie).

Das Plattformelement »Competence« hat das Ziel, die vielfältigen Kompetenzen im Energieforschungsnetzwerk des Zukunftslabors Energie darzustellen. Competence umfasst vier Schlüsselemente, die eine facettenreiche Darstellung der Forschungskompetenzen ermöglichen:

- Profiles: Vergleichbar mit gut durchdachten Forschungssteckbriefen werden Einblicke in die Forschungskompetenzen und -interessen der Netzwerkmitglieder ermöglicht (Abb. 8);
- Forschungsnetzwerke: Dieses Subelement bietet einen Überblick über die Forschungsnetzwerke, die aus den Profilen extrahiert werden. Das ermöglicht es potenziellen Nutzern, direkte Anknüpfungspunkte zu finden;

- Forschungscluster: Hier erfolgt die Zusammenfassung von Forschungskompetenzen in frei definierbaren Clustern. Kurzbeschreibungen ermöglichen hier einen schnellen Überblick;
- Forschungslandkarte: Dieses Subelement visualisiert die geografische Nähe von aktuellen und potenziellen Forschungspartnern.

Insgesamt verleiht dieses Konzept dem Energieforschungsnetzwerk des Zukunftslabors Energie Struktur und Zugänglichkeit. Es ermutigt Forschende und Interessierte dazu, miteinander in Kontakt zu treten und von der breiten Palette an Kompetenzen zu profitieren.

Das Element »Methods« bietet nicht nur Ideen zur Strukturierung kooperativer Energieforschung, sondern präsentiert auch bewährte Praktiken aus erfolgreichen Energieforschungsprojekten sowie Richtlinien zur Nutzung der Plattform. Bei der Auswahl des geeigneten Frameworks zur Darstellung von Methods wurden verschiedene Optionen sorgfältig evaluiert; es wurde festgestellt, dass eine Struktur ähnlich der eines Nachschlagewerks oder einer Enzyklopädie am besten geeignet ist. Nach gründlicher Überlegung wurde »MediaWiki« als das bevorzugte Tool ausgewählt. Es bietet eine benutzer*innenfreundliche Oberfläche und ermöglicht gleichzeitig die Anpassung an den Corporate Style.

The screenshot shows a research platform interface. At the top, there's a navigation bar with icons for home, organizations, and analysis. Below it, a sidebar for 'ZUKUNFTSLABOR ENERGIE' displays the organization's logo, name, and follower count (0). The main content area is titled 'Analysis of the Grid Capacity for Electric Vehicles in Am Ölper Berge District in Lower Saxony'. It features two tabs: 'Dataset' (selected) and 'Groups'. The dataset description states: 'The repository aims to analyze the effects and impacts of an increasing EV penetration rate on the low-voltage grid in districts and identify the maximum possible grid capacity for EV charging using the co-simulation framework mosaik 3.0. Data for a concrete use case, the residential district "Am Ölper Berge" in Brunswick, Lower Saxony, Germany is provided.' Below this, there are sections for 'Data and Resources' (listing 'Braunschweig MeteoData 2020' and 'Gesamtverbrauchsdaten') and 'Additional Info' (a table with rows for Source, Author, Maintainer, Last Updated, and Created). The table rows have the following data:

Field	Value
Source	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility
Author	Fernando Andres Penaherrera Vaca
Maintainer	Fernando Andres Penaherrera Vaca
Last Updated	September 11, 2023, 1:53 PM (UTC+02:00)
Created	September 11, 2023, 1:43 PM (UTC+02:00)

Abb. 9: Beispiel eines Datensatzes auf der Forschungsplattform (Quelle: Eigene Darstellung des Zukunftslabors Energie).

Das Zukunftslabor Energie

Das Repository im Zukunftslabor Energie dient als zentraler Ort zur Verwaltung von Forschungsdaten und basiert auf der Open-Source-Plattform CKAN. Diese bietet ein leistungsstarkes System zur Katalogisierung, Speicherung und zum Zugriff auf Datensätze. In der Kategorie »Datensätze« befindet sich eine übersichtliche Liste bestehender Datensätze, die gefiltert und sortiert werden können. Dies erleichtert die schnelle und effiziente Suche nach relevanten Daten. Dabei folgt die Erstellung neuer Datensätze einem standardisierten Datenschema, um die Lesbarkeit zu erleichtern. Datensätze können verschiedenen Gruppen und Organisationen zugeordnet werden, sodass schnell eine Übersicht über Forschungsergebnisse einzelner Organisationen gesichtet werden kann. Ein Beispieldatensatz ist in Abb. 9 dargestellt. Dies fördert die Zusammenarbeit und den effizienten Austausch von Forschungsdaten im Zukunftslabor Energie.

The screenshot shows the 'Scenario Planner' section of the research platform. At the top, there are navigation links for Competence, Methods, Repository, Simulation, Transparency, and a search bar. Below this is a table titled 'COMPONENTS' containing the following data:

Name	Link	Type	Access via API	Remove
Electric Vehicle	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility/-/tree/main/src/components/car	Simulation Model	Python	<button>Remove</button>
Building Energy Management System	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility/-/blob/main/src/components/control	Controller	Python	<button>Remove</button>
Electrical Battery Storage	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility/-/tree/main/src/components/storage	Simulation Model	Python	<button>Remove</button>
Grid	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility/-/tree/main/src/components/grid	Other	Python	<button>Remove</button>
Charging Station	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility/-/tree/main/src/components/charging_station	Simulation Model	Python	<button>Remove</button>
PV	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility/-/tree/main/src/components/pv	Simulation Model	Python	<button>Remove</button>
CSV Reader for Household Profiles	https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/grid-capacity-for-electric-mobility/-/tree/main/src/components/csv_reader	Other	Python	<button>Remove</button>

At the bottom right of the table, there is a blue 'Export' button.

Abb. 10: Scenario Planner der Forschungsplattform (Quelle: Eigene Darstellung des Zukunftslabors Energie).

Das Element »Simulation« bietet die Möglichkeit zur Kopplung und Wiederverwendung verschiedener Simulationswerkzeuge und Modelle für komplexe Szenarien. Es können über den sogenannten »Scenario Planner« eigene Szenarien mit verschiedenen Komponenten zusammengestellt werden (Abb. 10). Dafür gibt es einen Komponentenkatalog, um eine Übersicht über alle verfügbaren Komponenten zu erlangen. Speichern und späteres Wiederaufrufen der eigenen Szenarien ist auch möglich. Außerdem existieren vordefinierte Beispilszenarien (Artefakte aus Säule 1), welche simuliert werden können. Dadurch ist ein leichter Einstieg in die Co-Simulation möglich. Dies ermöglicht eine flexible und kolaborative Arbeitsweise im Bereich der Energieforschung.

Das Transparency-Element macht die Energieforschung für die Öffentlichkeit transparenter und zugänglich. Transparency besteht aus vier Hauptkomponenten:

Das Forum dient als Marktplatz für den intensiven Dialog zwischen neugierigen Bürger*innen und Wissenschaftler*innen, auf dem Ideen ausgetauscht und neue Erkenntnisse gewonnen werden können. In den anderen drei Subelementen – Article Summaries, Project Summaries und Educational Content – werden Forschungs-, Projekt- und Lehrinhalte auf anschauliche und leicht verständliche Weise präsentiert. Die Erstellung neuer Inhalte wird möglichst einfach gestaltet. Die Subelemente bieten benutzerfreundliche Eingabemasken, die es Forschenden und Wissenschaftler*innen ermöglichen, ihre Erkenntnisse und Entdeckungen mühelos zu präsentieren. Transparency hat das Ziel, eine Brücke zwischen der komplexen Welt der Energieforschung und der breiten Öffentlichkeit darzustellen. Es schafft Transparenz, fördert den Zugang zu relevanten Informationen und schafft somit eine Plattform, auf der Forschung und Wissen ausgetauscht, erklärt und diskutiert werden können.

Ausblick

Das Zukunftslabor Energie widmet sich einerseits der Forschung an digitalisierten Energiesystemen, andererseits der Digitalisierung der Energiesystemforschung. Open Science-Ansätze und eine modulare Herangehensweise an Entwicklungsarbeiten erlauben eine zielgruppenspezifische Aufbereitung, die für den transdisziplinären Kontext erforderlich ist. Gleichzeitig werden zukünftige Erweiterungen und Vereinfachungen in der praktischen Umsetzung unserer Erkenntnisse befördert; nicht nur die Auffindbarkeit der Ergebnisse wird verbessert, auch ihre Wiederverwendbarkeit wird erleichtert. Die Transformation der Energiesysteme und damit die Gestaltung einer nachhaltigen Energiezukunft auf Basis cyber-physischer Energiesysteme kann nur durch eine enge Kooperation und gemeinsame Forschung erfolgreich realisiert werden. Durch den dualen Ansatz im Zukunftslabor Energie wird dieses Ziel aktiv unterstützt und geht sowohl mit den Forschungsarbeiten zu digitalisierten Energiesystemen als auch den Arbeiten zur Digitalisierung der Energieforschung in weitere Arbeiten des hier gestärkten und erweiterten Netzwerks aus Industrie und Forschung ein.

Danksagung

Dank gilt den Forscher*innen des Zukunftslabor Energie, die die hier beschriebene Arbeit erbracht haben: Michael Breitner, Sarah Eckhoff, Bernd Engel, Sarah Fayed, Stephan Ferenz, Jan Philipp Hörding, Lars Kühl, Tobias Lege, Sarah Lier, Luca Man-

zek, Annika Ofenloch, Fernando V. Peñaherrera, Jan Petznik, Thomas Poppinga, Johannes Rolink, Alejandro Rubio, Frank Schuldt, Henrik Wagner, Oliver Werth

Gefördert vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur unter dem Förderkennzeichen 11-76251-13-3/19 – ZN3488 (ZLE) im Rahmen des Niedersächsischen »Vorab« der VolkswagenStiftung. Unterstützt durch das Zentrum für Digitale Innovationen (ZDIN).

Literatur

- Directorate-General for Research and Innovation (European Commission) (2021): Horizon Europe, open science – Early knowledge and data sharing, and open collaboration. Luxemburg 2021. <https://doi.org/10.2777/79699>.
- Fayed, S.; Rubio, A.; Petznik, J.; Rolink, J.; Frank, S. (2023): Infrastructure of a Laboratory Coupled Co-simulation for the Investigation of Flexibility Provision in Distribution Grids. In: ETG Kongress 2023: Die Energiewende beschleunigen. <https://iee-explore.ieee.org/document/10173006>.
- Ferenz, S.; Ofenloch, A.; Peñaherrera Vaca, F.; Wagner, H.; Werth, O.; Breitner, M.H.; Engel, B.; Lehnhoff, S.; Nieße, A. (2022): An Open Digital Platform to Support Interdisciplinary Energy Research and Practice—Conceptualization. In: Energies 2022, Vol. 15, 6417, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15176417>.
- mosaik-team (2019): mosaik – A flexible Smart Grid co-simulation framework. <https://gitlab.com/mosaik>. Zugriffen: 30.11.2023.
- Reinhold, C.; Wagner, H. (2021): SmaBUI – Quick & easy co-simulation of a smart building using mosaik. Entrance project for ZLE:EMOB. <https://gitlab.com/zdin-zle/scenarios/smabui>. Zugriffen: 27.11.2023.
- Wagner, H.; Eckhoff, S.; Fayed, S.; Peñaherrera, F.; Ofenloch, A.; Werth, O.; Engel, B.; Breitner, M.H.; Lehnhoff, S.; Rolink, J. (2021): Analysis of the Grid Capacity for Electric Vehicles in Districts with a Major Need for Sustainable Energy Refurbishment: the Case of a District in Lower Saxony. In: V. Wohlgemuth, S. Naumann, H.-K. Arndt: 35th edition of the EnviroInfo: Environmental Informatics – A bogeyman or saviour to achieve the UN Sustainable Development Goals? S. 65–66. <https://doi.org/10.2370/9783844083293>.
- Wagner, H.; Peñaherrera, F.; Fayed, S.; Wert, O.; Eckhoff, S.; Engel, B.; Breitner, M. H.; Lehnhoff, S.; Rolink, J. (2022): Co-simulation-based analysis of the grid capacity for electric vehicles in districts: the case of 'Am Ölper Berge' in Lower Saxony. In: IET 6th E-Mobility Power System Integration Symposium (EMOB 2022), S. 33–41. <https://doi.org/10.1049/icp.2022.2713>.
- Zentrum für digitale Innovationen – Zukunftslabor Energie (ZDIN-ZLE) (2021): ZLE Open Science Declaration. Oldenburg. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5221234>.



© Astrid Nieße | Laura Niemann | Tobias Grimm | Sebastian Lehnhoff

CC BY