

# ERGEBNISSE

aus dem  
Smart Grid LAB  
Hessen



Gefördert durch



Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in Ihre Zukunft  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung





  
BETONBAU



## VORWORT



*„Die Netzführung wird immer anspruchsvoller. Um das Netz dynamisch regeln zu können, ist eine steigende Durchdringung von smarten Komponenten hin zum Prosumer/Flexsumer notwendig.“*

**Prof. Dr. Ingo Jeromin**, Hochschule Darmstadt

Das Projekt „Smart Grid LAB Hessen“ ist ein EFRE gefördertes Forschungsprojekt, in dem ein Labor zur Nachbildung einer „Straße der Zukunft“ entstand. Unter der Leitung der Hochschule Darmstadt mit den Projektpartnern House of Energy, Ingenieurbüro Pfeffer, JEAN MÜLLER, QGroup und Tractebel wurde das realitätsnahe Labor errichtet und verschiedene Szenarien durchgespielt. Dabei standen Fragen zur Netzstabilität und Versorgungssicherheit sowie zur Datensicherheit und Resilienz auf der Agenda.

Vor allem die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Bereichen der Forschung, Engineering und IT-Security hat allen Partnern die Augen geöffnet. Die Sicht- und Arbeitsweisen der einzelnen Bereiche und Partner konnten auf einen Nenner gebracht werden. Dies ist für ein erfolgreiches Gelingen der Energiewende und der Sektorenkopplung unbedingt not-

wendig. Auf allen Seiten ist das Sensibilisieren für die Themen des Anderen unabdingbar.

Obwohl das Projekt mit dem Förderzeitraum von Dezember 2020 bis Ende März 2023 in die durch Covid-19 geprägte Zeit fiel und dadurch unerwartete Herausforderungen auftraten, hat es das Forschungsteam geschafft, das Smart Grid LAB Hessen zu errichten und Szenarien dafür zu entwickeln.

Die verschiedenen Szenarien beschreiben den Wandel von Consumer zu Prosumer und berücksichtigen die Sektorenkopplung. Die Lastkurven setzen sich aus den verschiedenen Verbräuchen und der Energiequelle zusammen.

Das bedeutet ein Prosumer besteht im Vollausbau aus den fünf Komponenten:

- Haushaltslast
- Photovoltaik-Anlage
- Batteriespeicher
- Wärmepumpe und
- Ladesäulen für E-Fahrzeuge.

Aufgrund der immer größer werdenden Datenströme, die smarte Komponenten hervorrufen und der hohen Komplexität des Stromnetzes wird die Netzführung immer anspruchsvoller. Es ist enorm wichtig, einen höchstmöglichen Schutz für alle Prozesse und sensiblen Daten zu gewährleisten. Datensicherheit und Resilienz sind zentral.

Daher lag ein Fokus im Projekt auf der Analyse der Datensicherheit. Alle Energiequellen und Verbräuche wurden realen Vorbildern nachempfunden. So konnten gefahrlos auch herausfor-



dernde Netzsituationen nachgebildet werden. Aus den Ergebnissen wurden Voraussetzungen für das hessische Verteilnetz abgeleitet.

**Prof. Dr. Ingo Jeromin**, Hochschule Darmstadt

## PROJEKTVORSTELLUNG

Beim Ingenieurbüro Pfeffer in der Rödermark wurde unter Leitung der Hochschule Darmstadt das Smart Grid LAB Hessen aufgebaut. In dem realitätsnahen Labor wurde das intelligente Stromnetz (Smart Grid) der Zukunft aus verschiedenen Perspektiven ganzheitlich beleuchtet. Das elektrische Netz wurde aus Betriebsmitteln öffentlicher Netze aufgebaut.

Alle Energiequellen und Verbräuche sind realen Vorbildern nachempfunden. Gefahrlos wurden so herausfordernde Netzsituationen dargestellt. Im Smart Grid LAB Hessen wurde physisch nachgebildet, wie die „**Straße der Zukunft**“ in einem Wohnviertel aussieht. Die Leistungsdaten der einzelnen Gebäude, die als Prosumer fungieren, wurden im intelligenten Netz des Reallabors gemessen, ausgewertet und zur Steuerung der Energieströme eingesetzt. Modellhaft demonstriert das LAB

die dynamische, effiziente und sichere Energieinfrastruktur der Zukunft. Es ist anpassungsfähig und kann auch Netzsituationen in anderen Ländern darstellen und analysieren.

Die Untersuchungen lieferten wichtige Antworten für die praktische Einführung des Smart Grid:

- **Wie kann die Netzstabilität gesichert werden, wenn an Tagen mit geringer Stromerzeugung viele Elektrofahrzeuge laden sollen?**
- **Wie verhindert man einen Netzzusammenbruch, wenn z.B. Speicher ausfallen?**
- **Wie kann erkannt werden, dass Hacker die Daten manipulieren und ggf. einen Blackout verursachen?**

Im Smart Grid LAB wird in Echtzeit überwacht, was im Netz passiert, und der Stromfluss wird gemäß Angebot und Nachfrage gesteuert. Um den ständig wachsenden Bedarf an elektrischer Energie intelligent und bei minimalem Netzausbau sicher zu beherrschen, ist ein Paradigmenwechsel nötig. Aus statisch dimensionierten Netzen müssen dynamisch betriebene Netze werden.

Das Smart Grid LAB wurde errichtet, um aktive Steuerungsverfahren im intelligenten Stromnetz und alle erforderlichen Funktionalitäten unter Praxis-Bedingungen zu testen.



Batteriespeicher

Aus den Szenarien abgeleitet, können nun verschiedenste Fragen beantwortet werden:

- **Wie kann das Stromnetz stabil gesteuert werden, wenn an Tagen mit geringer Stromerzeugung viele Kunden ein Elektrofahrzeug laden wollen?**
- **Wie kann das Netz stabil gehalten werden, wenn dynamische Elemente (z.B. Speicher) ausfallen?**
- **Bis in welche Höhe können dynamische Netzelemente Spitzen und Dauerlasten kompensieren?**
- **Was geschieht, wenn wichtige Mess- und Steuerkomponenten gestört sind?**
- **Wie kann die Cyberresilienz gewährleistet werden?**

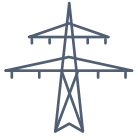


Digitale Ortsnetzstation mit Ladesäule

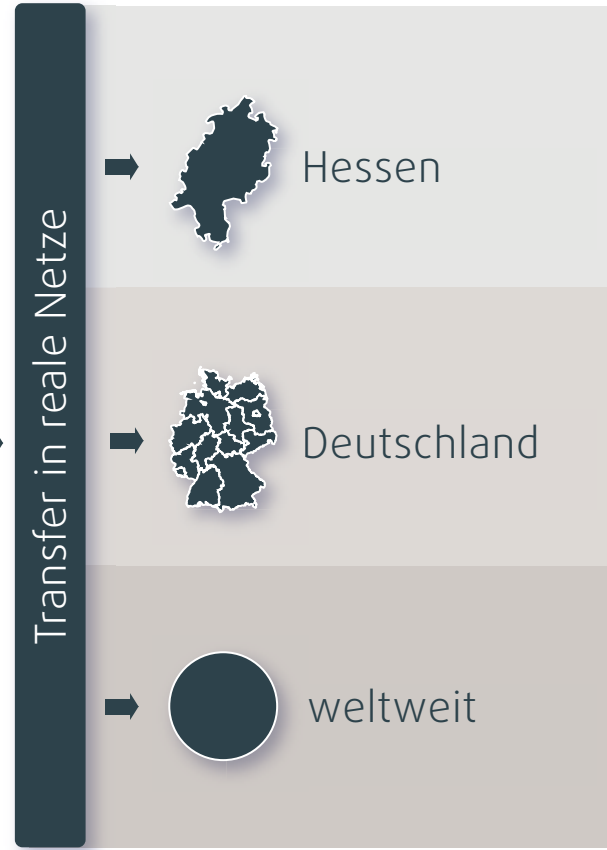
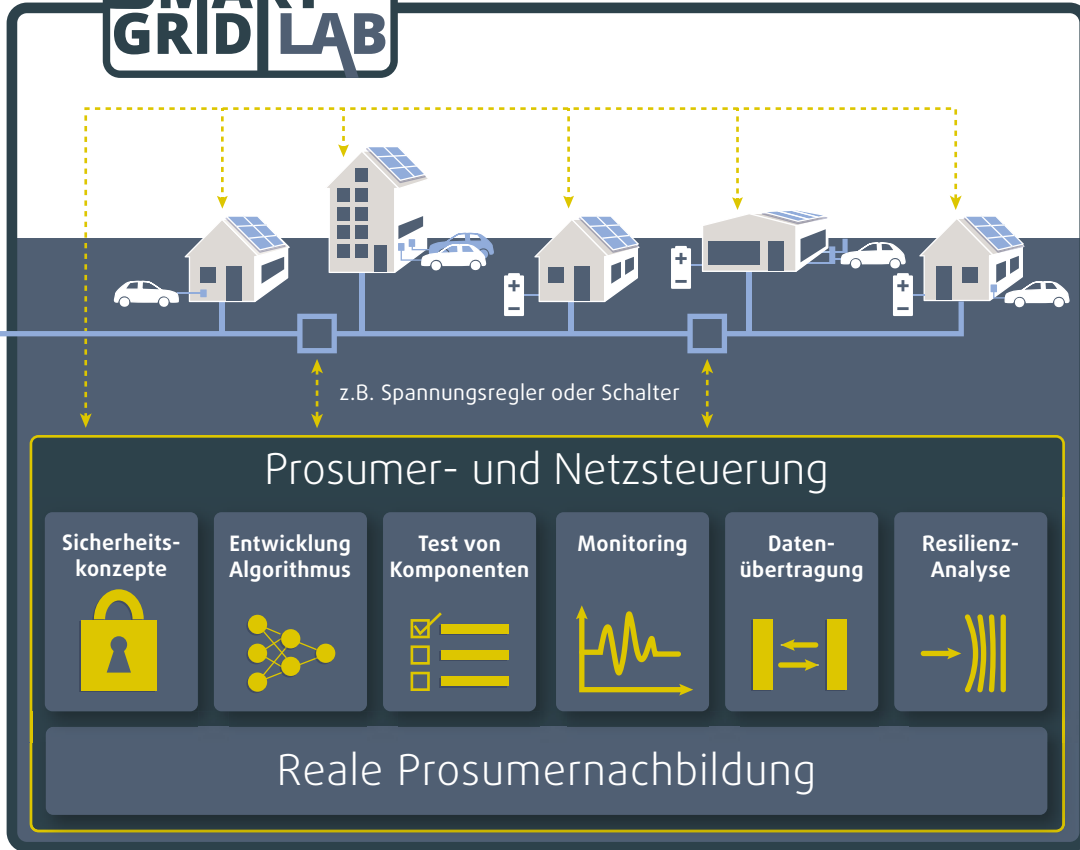


Längsspannungsregler





# SMART GRID LAB





Hessische Experten aus den Bereichen Forschung, Engineering, IT-Sicherheit und Herstellung elektrotechnischer Schalt- und Mess-Komponenten arbeiteten interdisziplinär zusammen, um wirtschaftliche, dynamische und sicherheitstechnische Aspekte des Smart Grids zu optimieren:

Die **Hochschule Darmstadt** entwickelte zukünftige Verbrauchs- und Erzeugungsszenarien und nutzt die Erkenntnisse für das reale hessische Verteilnetz.

Das **Ingenieurbüro Pfeffer** war für die Errichtung des Labors verantwortlich und stellte dazu die eigene Infrastruktur zur Verfügung. Pfeffer erarbeitete Lösungen zur Verarbeitung von Daten intelligenter Ortsnetzstationen und deren Integration in Leitwarten und Cloudlösungen.

**JEAN MÜLLER** entwickelt und fertigt vernetzungsfähige Niederspannungsschaltgeräte für die Smart Grid-Infrastruktur. Diese wurden für das Projekt zur Verfügung gestellt.

Der Multilevel Security Hersteller **QGroup** betrachtete die Resilienz, um Risiken durch Cyberangriffe einzuschränken. Dabei wurden Segregationsanforderungen hinsichtlich der IT/OT Versuchsstellungen, der eingesetzten Betriebsmittel, ihrer Vernetzung und Steuerung über Sicherheitsgrenzen untersucht.

Der Projektpartner **Tractebel** brachte seine Erfahrungen aus internationalen Energieinfrastruktur-Projekten ein und sorgte für die Übertragbarkeit des Projektes auf den nationalen und internationalen Kontext.

Das **House of Energy** etablierte einen wissenschaftlich-technischen Beirat, der die Projektpartner beriet. In diesem hatten sich Unternehmen aus den Gebieten Energieversorgung und Netzbetrieb, technische Überwachung und Zertifizierung, Personensicherheit und Energierecht zusammengefunden.

*„Das Smart Grid LAB Hessen bildet eine Plattform, um die „Straße der Zukunft“ sehr dynamisch und unter realitätsnahen Bedingungen zu testen. Die Ergebnisse lassen sich sowohl auf bestehende als auch auf zukünftige Netze übertragen. Es gilt hier weiterzumachen!“*

Till Neukamp

## PROJEKTPARTNER

Hochschule Darmstadt

## Ziele

Das Verteilnetz lässt sich nicht in dem Tempo konventionell ausbauen, wie es benötigt werden würde. Des Weiteren ist konventioneller Ausbau nicht die einzige Möglichkeit die Sektorenkopplung und eine Energiewende zu meistern. Es muss ein Zusammenspiel von verschiedenen Technologien und Parteien realisiert werden. Um dies zu ermöglichen, wurden in dem Projekt fünf verschiedene Ziele durch die Hochschule Darmstadt verfolgt:

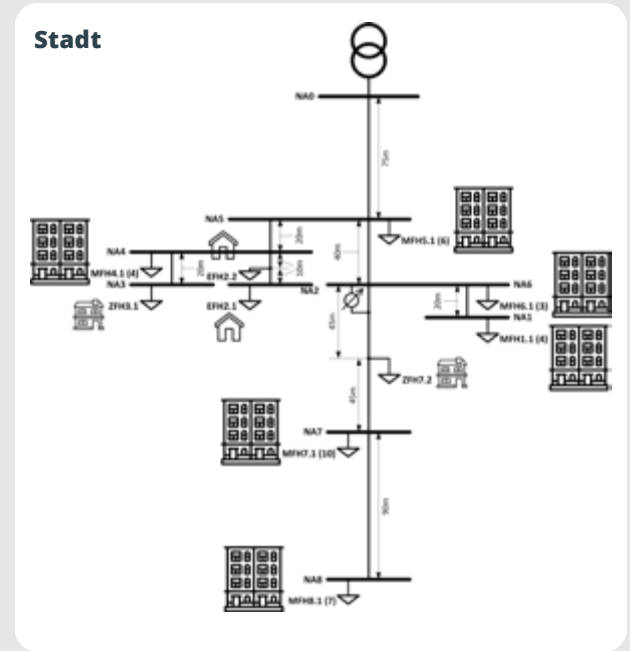
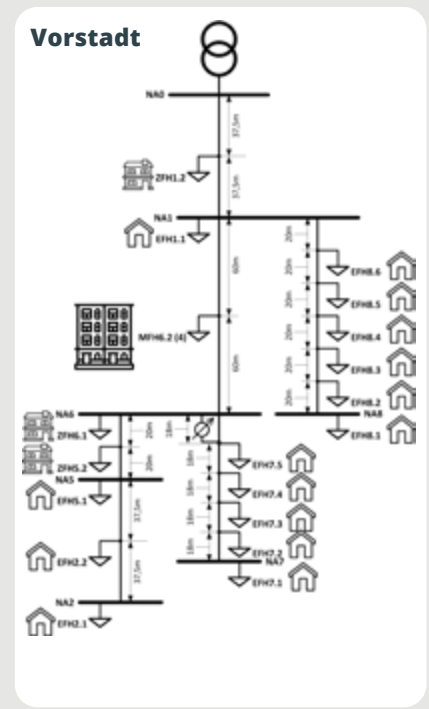
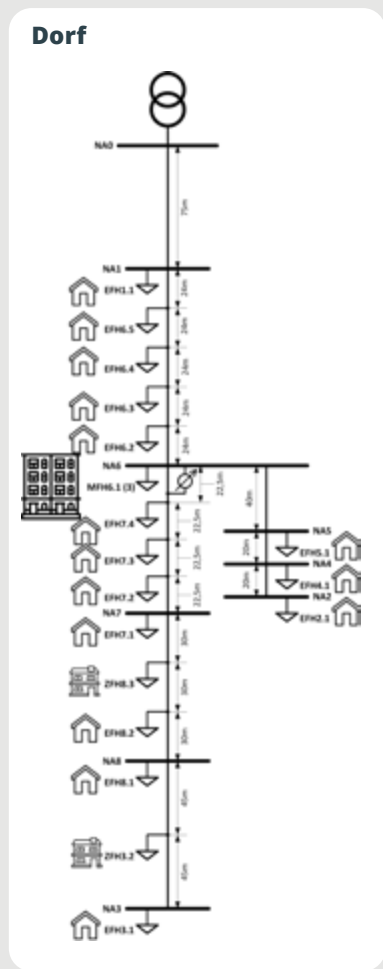
- **Aufbau**  
Entwicklung und Planung des realitätsnahen Labors, um eine Straße der Zukunft abzubilden.
- **Reale Prosumernachbildung**  
Netzteilnehmer sollen so realitätsnah wie möglich abgebildet werden. Hier gilt es eine Umgebung aufzusetzen, welche den Consumer von heute und den Prosumer der Zukunft darstellen kann.
- **Szenarien Entwicklung**  
Wie sehen mögliche Prosumer in Zukunft aus und wie sind diese in den Verteilnetzen verteilt? Diese Fragen gilt es mit den Zielen des Landes Hessen und der der Bundesregierung zu beantworten.
- **Erkenntnisse**  
Ausarbeitung der Erkenntnisse aus den verschiedenen Laborversuchen
- **Was ist notwendig?**  
Lösungen für einen sicheren Netzbetrieb in der Zukunft

## Herangehensweise

Aus Untersuchungen von Netztopologien in realen Netzen wurden sieben Labortopologien in vier Kategorien entwickelt: **Land**, **Dorf**, **Vorstadt** und **Stadt**.

Im Labor kann immer ein charakteristischer Strang eines Ortsnetztransformators dieser Kategorien abgebildet werden. Die Unterschiede liegen hauptsächlich in Länge, Verzweigung, Gebäude- und Haushaltsanzahl.

Darauf aufbauend wurden Szenarien für die Con-/Prosumer gebildet, die sich an den Zielen der Landes- und Bundesregierung für **2020, 2030, 2045** und einem **Vollausbau** orientieren.



Auszug aus den sieben Topologien für Land, Dorf, Vorstadt und Stadt.

Tieferegehende Informationen finden Sie im [← Szenarienkatalog](#)



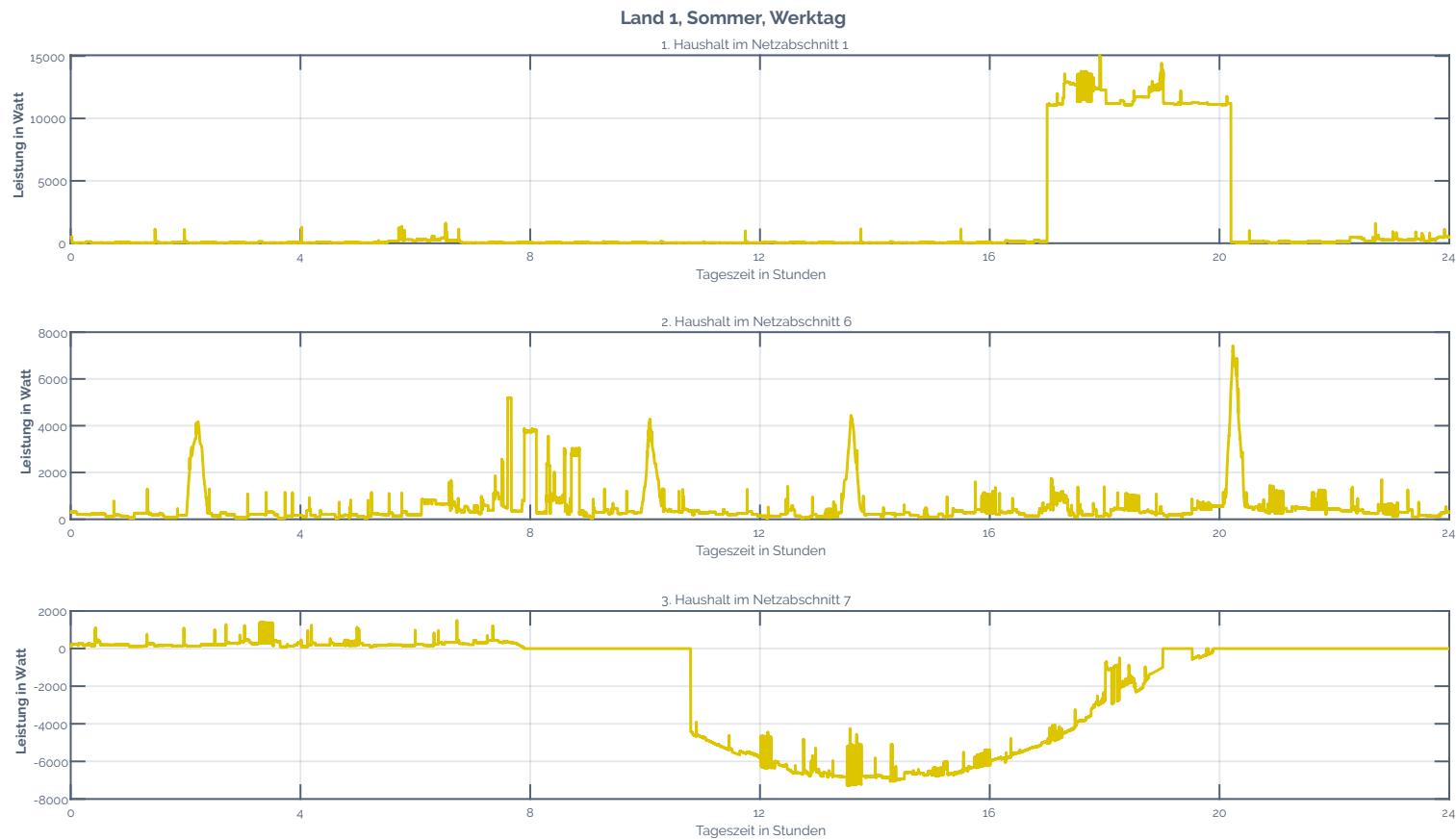
Durch die Verwendung von Wechselrichtern lassen sich die Lastkurven für die Con-/Prosumer aus dem Sektor der privaten Haushalte individuell in dem Testnetz abbilden. Die gewählte Auflösung beträgt dabei 1 s.

Ein Netzanschlusspunkt wird aus fünf Grundelementen zusammengestellt:

- Haushaltslast
- Photovoltaik
- Batteriespeicher

- Wärmepumpe
- E-Ladesäule

Dabei sind alle Parameter und die Anzahl frei einstellbar.



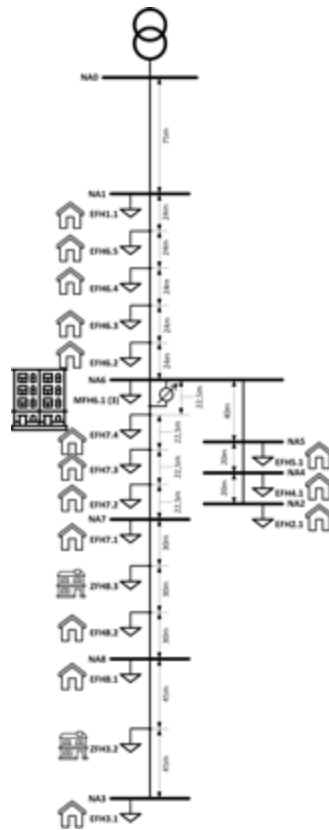
*Drei unterschiedliche Lastgänge bestehend aus einer Grundlast und E-Mobilität, Wärmepumpe bzw. PV*

## Ergebnisse

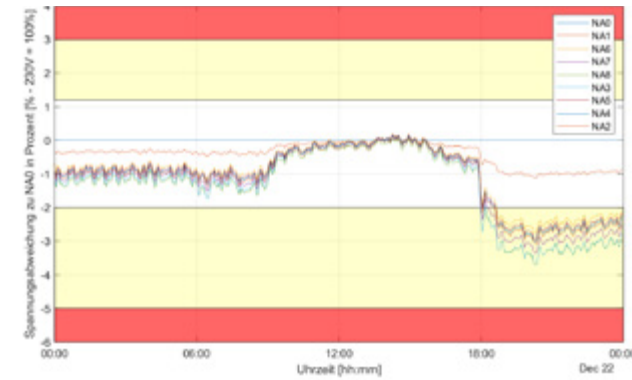
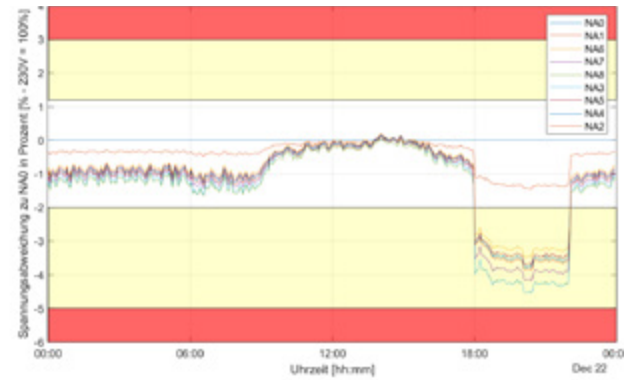
Es wird zu mehr Engpässen in den Netzen kommen. In dem Beispiel Dorf 1, NAYY240 m<sup>2</sup>, Vollausbau im Winter bei einer Gleichzeitigkeit der

ladenden E-Mobile (11 kW), kommt es zwar zu keiner Spannungsbandverletzung, jedoch ist das Stromkabel überlastet.

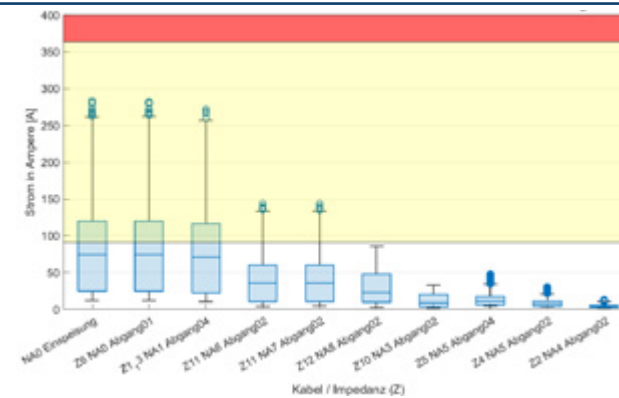
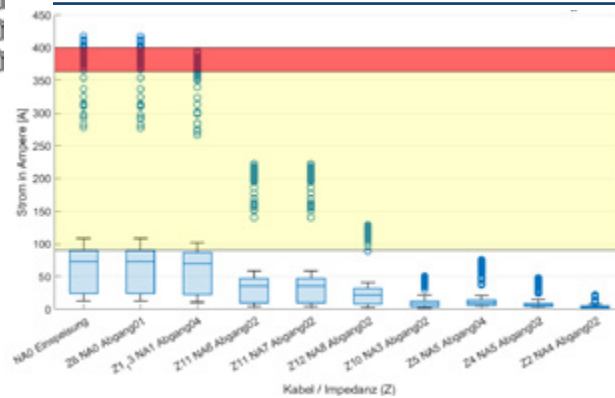
Durch eine Abregelung um 50 % wird die Überlastung verhindert.



Spannungsdifferenz der Netzabschnitte (NA) zu NAO



Verteilungen des Stromes über die Zeit je Kabel/Impedanz (Z) – Kabel NAYY 240mm<sup>2</sup> (Grenzwerte  $I_n$ : 25 % und 100 %)



Topologie Dorf 1 mit Spannungs- und Stromkurven, mit Vollausbau im Winter

Dieses Ergebnis gilt für den aktuellen Standard der Verteilnetzbetreiber von 240 mm<sup>2</sup>. Im Bestand sind die Querschnitte kleiner. Hier kommt es nicht nur zu Überlastungen, sondern auch zu Spannungsbandverletzungen.

**Es lässt sich festhalten:**

- **Digitalisierung der Niederspannung ist zwingend notwendig**
- **Sie ist herstellerübergreifend möglich**
- **Die Funktion ist im realnahen Labor bewiesen**
- **IT-Sicherheit ist wichtig und nach aktuellem Stand grundsätzlich beherrschbar**

## Lessons Learned

---

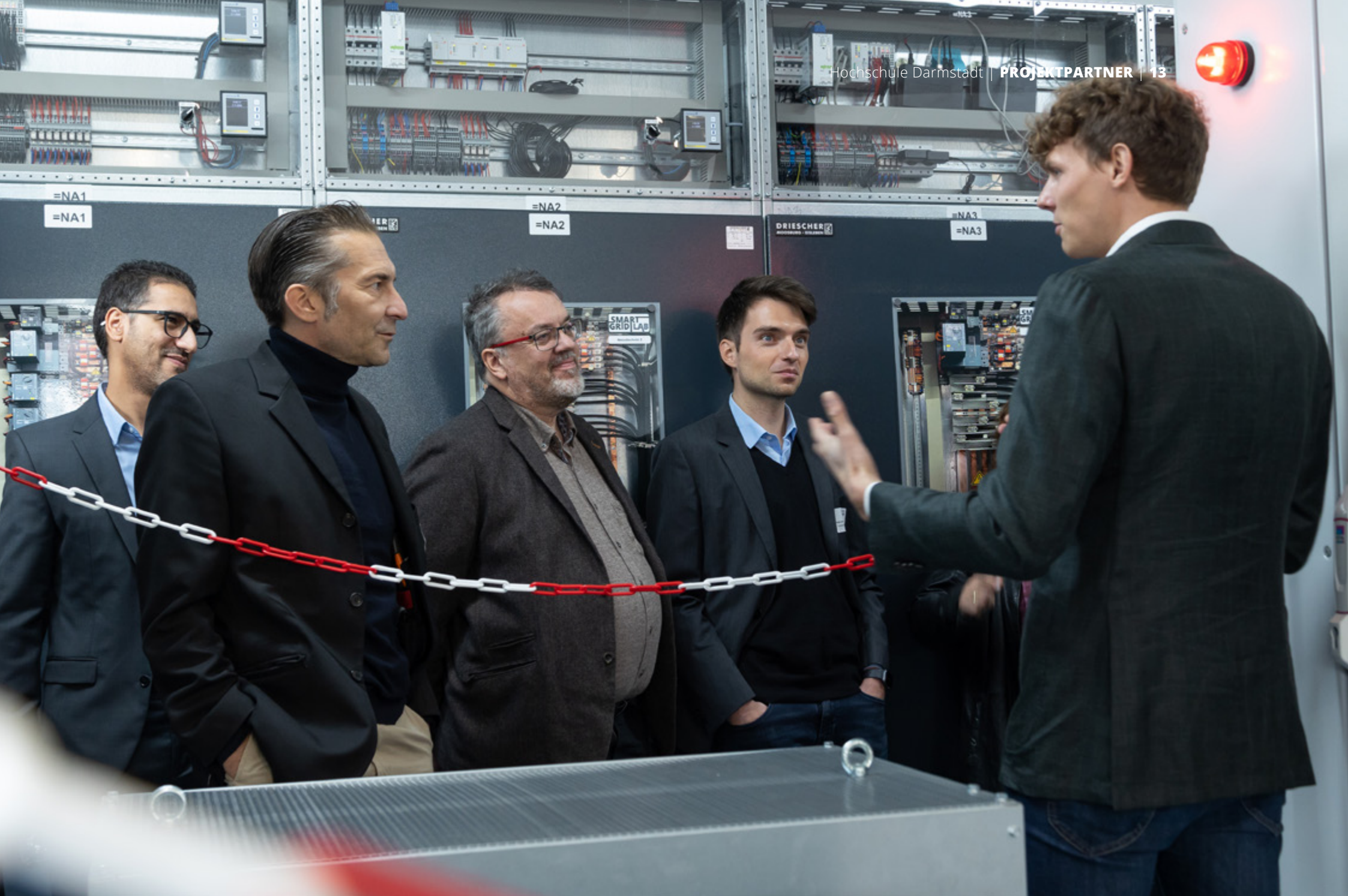
Die Ansätze, die im Projekt erarbeitet wurden, gilt es fortzusetzen, um wichtige Grundlagen für ein digitalisiertes und intelligentes Verteilnetz weiterzuentwickeln.

Es fehlen Schnittstellen, um einzelne Stränge zu regeln. Darüber hinaus müssen Regelansätze umgesetzt und Konzepte für IT-Sicherheit weiterentwickelt werden.

Eine Möglichkeit für einen Regelansatz ist zum Beispiel das Zellulare System mit regelbaren Batteriespeichern und größeren Batterien. Auch das bidirektionale Laden sollte in Betracht gezogen werden. Dies bildet zusammen die Regelung von Flexsumern.

IT-Sicherheit muss zukünftig eine wichtigere Rolle in der Entwicklung der technischen Komponenten erhalten. Dabei ist zu klären, wie sich die Hardware heute schon für Sicherheitsansprüche in der Zukunft auslegen lässt.

Zu untersuchen sind auch die Kommunikationswege der neuen Komponenten im Verteilnetz, wie beispielsweise das eBus Protokoll, das aktuell vermehrt bei elektrischen Heizungssystemen eingesetzt wird.



*„Es verändern sich zwangsläufig die Anforderungen an die Ortsnetzstationen der Verteilnetzbetreiber, die als Vorposten der Leitwarten die Aufgabenstellungen Messen, Steuern und Regeln übernehmen.“*

Matthias Pfeffer

## PROJEKTPARTNER

Ingenieurbüro Pfeffer GmbH

### Ziele

Das elektrische Verteilnetz steht vor der Herausforderung die Sektorkopplung (Energiewende, Verkehrswende und Wärmewende) ganzheitlich zu integrieren.

Neben dem konventionellen Netzausbau hat die Digitalisierung des elektrischen Verteilnetzes eine besonders wichtige Bedeutung.

Mit dem Smart Grid LAB Hessen haben wir verschiedene Ziele verfolgt:

### Ziel 1

Anbindung unseres Standorts mit Wärmepumpen, PV-Anlage, AC- und DC-Ladesäulen, Batteriespeicher und digitalisierter Ortsnetzstation an das Smart Grid LAB Hessen.

### Ziel 2

Projektierung, Aufbau und Betrieb eines realitätsnahen Labors, das den Einfluss der Energie-, Wärme- und Mobilitätswende der Prosumer für unterschiedliche Topologien für zukünftige Szenarien auf das elektrische Verteilnetz testen kann.

### Ziel 3

Projektieren, Aufbauen, Testen und Weiterentwickeln von Sekundärtechnik-Architekturen, welche herstellerneutral mit allen gängigen Protokollen und Schnittstellen gemeinsam einwandfrei funktionieren.

### Ziel 4

Aufbauen und Testen von de- und zentralen Messdatenverarbeitungssystemen mit Visualisierungs- und Steuerungslösungen in der Cloud, im Datenspeicher und in der Leitwarte.

Im Fokus standen funktionale Systeme für digitale Zwillinge von Ortsnetzstation, des Netzabschnittes oder des gesamten Netzes im Labor zu betreiben, zu testen und weiterzuentwickeln.

### Ziel 5

Unabhängige Prüfung aller IT-Sicherheitsanforderungen durch die QGroup

### Ziel 6

Sammeln von Erkenntnissen aus den Laborversuchen für unterschiedliche Netztopologien zukünftiger Prosumerszenarien, um die Anforderungen an das elektrische Verteilnetz aufzuzeigen.

### Ziel 7

Lösungsansätze für Netzstabilisierungsmaßnahmen und Steuerungsmöglichkeiten des Niederspannungsverteilsnetzes aufzeigen, insbesondere durch den Einsatz von stationären Batteriespeichern.

## Herangehensweise

Der Standort in Rödermark wurde gemäß Ziel 1 ausgerüstet:

Das Labornetz bestehend aus Wechselrichtern und Impedanzen wurde vom Ingenieurbüro Pfeffer und der hda projektiert und errichtet.

Der Laboraufbau ermöglicht flexibel die Netzabschnitte zu verschalten, um unterschiedliche Netztopologien nachzubilden.



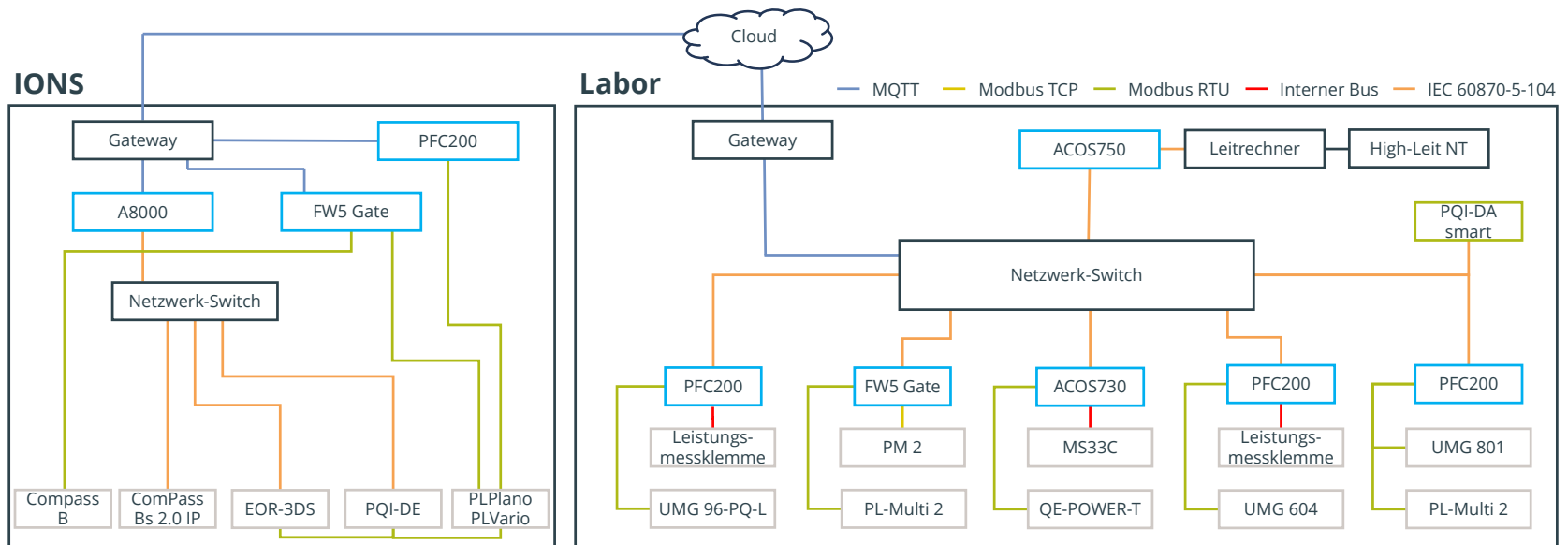
*Ingenieurbüro Pfeffer, Rödermark*

Bei der Projektierung der Sekundärtechnikkomponenten wurden zum einen alle messtechnischen Anforderungen berücksichtigt und zum anderen ein Netzwerk zur Anbindung an Clouds und die Leitwarte erstellt.

Es sind fünf Datenverarbeitungssysteme angebunden.

- Leitwarte HIGH-LEIT (Vivavis)
- Cloud Mindsphere (Siemens)
- Cloud Wago
- Cloud Bentonet
- GridCal (PSInsight)

Die Sekundärtechnikarchitektur mit Anbindung an die Leitwarte und die Clouds wurde von der QGroup mit dem Universal Forensic Network Traffic Analyzer auf Schwachstellen getestet.



Darstellung der Sekundärtechnikarchitektur

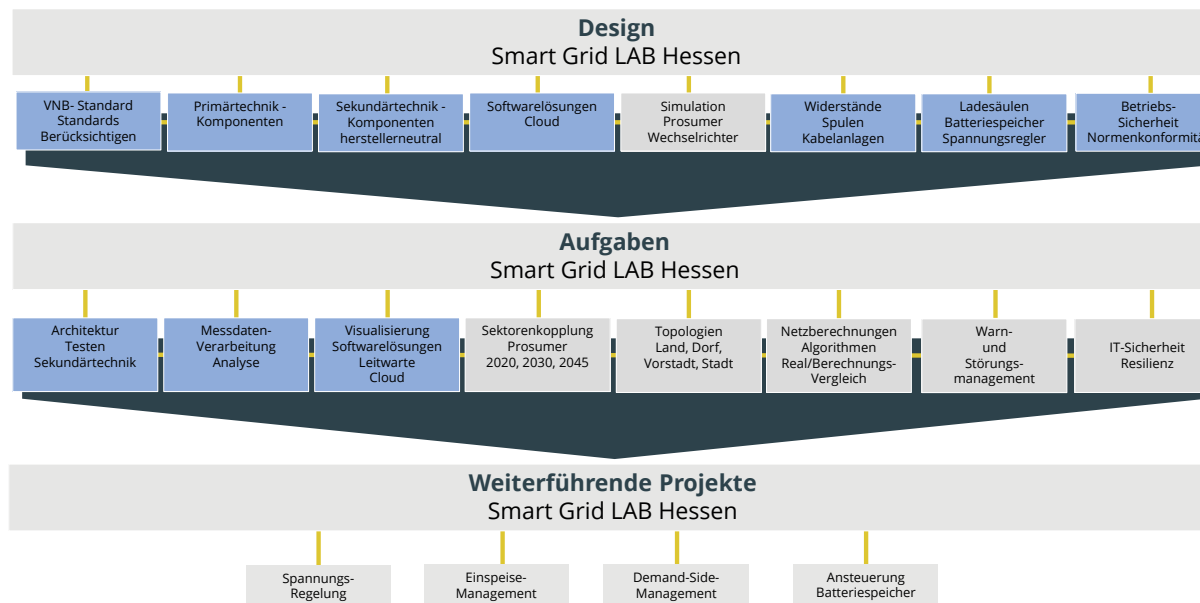
## Ergebnisse

Das Smart Grid LAB Hessen wird in der nachfolgenden Darstellung zusammengefasst.

Unsere Arbeitspakete sind in der Zusammenfassung blau hinterlegt.

Alle Anforderungen an die Primär- und Sekundärtechnik-Komponenten für einen normenkonformen, sicheren und IT sicheren Betrieb im realitätsnahen Labor wurden erfolgreich getestet. Veränderungen oder Ergänzungen in der Systemarchitektur konnten schnell eingebunden und auf Stärken und Schwächen geprüft werden.

Die Datenübertragung und Datenvisualisierung in verschiedenen zentrale Cloud-Lösungen, Leitsystem und dezentrale Datenspeichern wurden auf Funktionalität und Stabilität getestet.



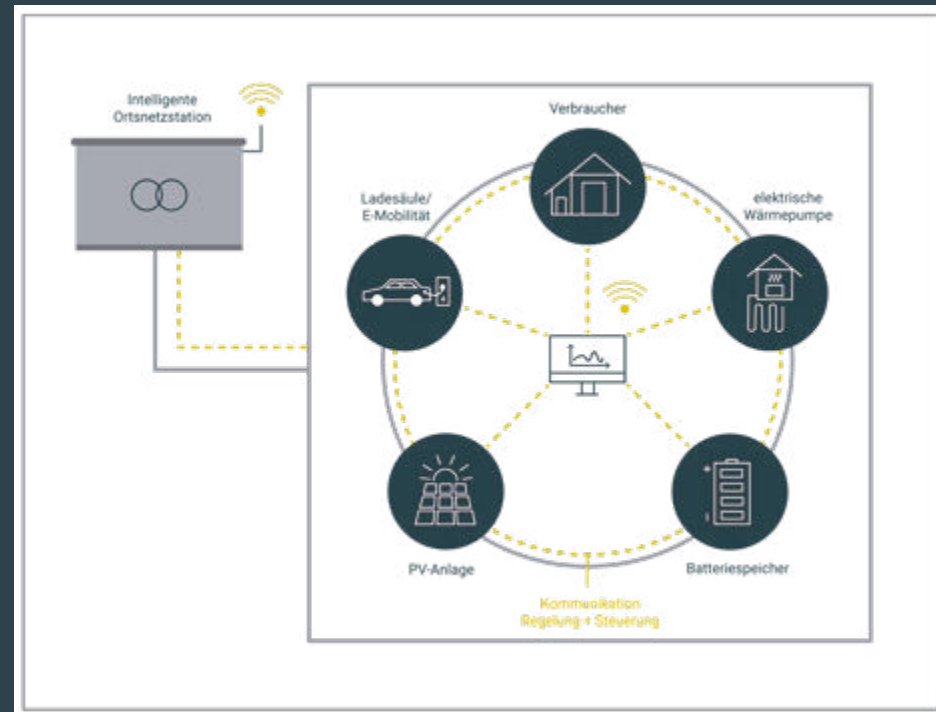
Übersichtsdarstellung Smart Grid LAB Hessen

## Lessons Learned

Wichtige Erkenntnisse für die Projektierung und Errichtung von intelligenten bzw. digitalisierten Ortsnetzstationen werden wie folgt abgeleitet:

- **Herstellerneutrale Sekundärtechnikarchitekturen zur Messdatenerfassung**
- **Messdatenverarbeitung in Cloudlösungen**
- **Messdatenverarbeitung in dezentralen Lösungen wie GridCal**
- **Integration von Spannungsreglern**
- **Integration von Batteriespeicher**
- **Integration von Ladesäulen**

Nachfolgende Darstellung fasst die Erkenntnisse zusammen.



Die digitalisierte Ortsnetzstation wird zum Vorposten der Leitwarte



## PROJEKTPARTNER

JEAN MÜLLER GmbH

*„Die Messdatenerfassung in der Niederspannungsverteilung bildet die Grundlage für die Intelligente Ortsnetzstation und damit für das Smart Grid. Lastschaltleisten mit kompakter, integrierter Messtechnik sind hilfreich bei beengten Platzverhältnissen.“*

Robert Rohde

### Ziele

Die Projektaufgabe war die Bereitstellung der mit entsprechenden Sensoren, Mess- und Kommunikationstechnik ausgerüsteten Lastschaltleisten für die Niederspannungsverteilung sowie von Anzeigegeräten zur Visualisierung der Daten vor Ort.

### Herangehensweise

Neben der Bereitstellung der Technik wurde die Inbetriebnahme durch Mitarbeiter des Systemintegrations-Teams vor Ort unterstützt.

### Ergebnisse

Die Messaufgaben für die Intelligente Ortsnetzstation sind mit existierender, verfügbarer Technologie grundsätzlich lösbar, ebenso die Visualisierung in der Station und die Kommunikation der Daten an übergeordnete Systeme. Zukünftige Produkte und Lösungen müssen die herstellerübergreifende Interoperabilität im Sinne der Anwender verbessern.

## Lessons Learned

### Inbetriebnahme vereinfachen

- Zukünftige Elektronik-Komponenten und -Systeme werden (weitestgehend) selbstinstallierend sein müssen.

### Bedienbarkeit erhöhen

- Anzeigeräte sollten spezifisch für den Anwendungsfall gestaltet und intuitiv bedienbar sein.

### Installierbarkeit verbessern

- Die Installations-Zeit und -Komplexität muss gesenkt werden.



*Digitales Schalttafeleinbaumessgerät PLMulti-II*



*Lastschaltleiste SL mit PLPlano*



## PROJEKTPARTNER

QGroup GmbH

*„Cybersicherheit im Smart Grid ist unerlässlich, um das Potenzial der Technologie vollständig auszuschöpfen. Dabei ist es besonders wichtig, auch den OT-Bereich in die Betrachtungen miteinzubeziehen, um ein umfassendes Schutzniveau zu erreichen.“*

Thomas Blumenthal

## Ziele

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts hatte die QGroup die Aufgabe, die Sicherheit von Smart Grids zu untersuchen mit dem Ziel, einen bestmöglichen Schutz vor Angriffen zu gewährleisten. Dabei wurden potenzielle Schwachstellen und Angriffsmöglichkeiten sowohl theoretisch als auch praktisch untersucht.

## Herangehensweise

In der Studie wurden theoretische Angriffsszenarien in Smart Grids analysiert und praktisch getestet. Dazu wurden verschiedene Angriffsvektoren untersucht, um ihre Auswirkungen auf die Sicherheit zu bestimmen und mögliche Schwachstellen und Bedrohungen zu identifizieren.

## Ergebnisse

Die QGroup konnte durch ihre Untersuchungen aufzeigen, dass Smart Grids eine breite Angriffsfläche für Cyberangriffe darstellen und somit Ausfälle und Schäden erwartbar sind. Es wurden jedoch auch Lösungen und Maßnahmen definiert, die die Sicherheit von Smart Grids verbessern und mögliche Angriffe verhindern können.

## Lessons Learned

---

Die Analyse der QGroup ergab, dass für die Sicherheit von Smart Grids sowohl die IT- als auch die OT-Infrastruktur von großer Bedeutung sind. Insbesondere im OT-Bereich gibt es noch viele Schwachstellen, die es Angreifern ermöglichen, die physische Infrastruktur von Smart Grids zu manipulieren. Ein Beispiel hierfür sind ungesicherte Protokolle, wie das weit verbreitete IEC 60870-5-104-Protokoll.

---



## PROJEKTPARTNER

Tractebel Engineering GmbH

*„Der Begriff Smart Grid wird in Entwicklungsländern oft anders verstanden als in Deutschland. Verteilnetze stehen dort vor anderen Herausforderungen, deshalb werden in Entwicklungsländern zwar die gleichen Technologien verwendet, aber oft mit einer anderen Herangehensweise.“*

Brandi Gunn

### Ziele

Ziel war es zum einen die besonderen Herausforderungen der Netzbetreiber in Entwicklungs- und Schwellenländern zu identifizieren und zu verstehen. Zum anderen sollten die Unterschiede zu den Herausforderungen der Netzbetreiber in Hessen festgestellt werden. Anschließend wurde ein Konzept für das „Netz der Zukunft“ entwickelt, das Smart Grids zur Bewältigung dieser Herausforderungen beinhaltet.

### Herangehensweise

Um die aktuellen Bedingungen zu verstehen, wurde eine Reihe von Stakeholder-Workshops mit Entwicklungsbanken, Verteilungsunternehmen und Geräteherstellern durchgeführt. Es wurde herausgefunden, wo sie die zukünftigen Herausforderungen sehen, und wie die fortschrittliche Smart-Grid-Technologie helfen kann diese zu bewältigen.

Darauf basierend wurden verschiedene Szenarien für das „Netz der Zukunft“ am Beispiel zweier Dörfer in Ostafrika entwickelt, in denen intelligente Netztechnologien und -komponenten simuliert wurden. Ziel war es dabei zu ermitteln, wie den Herausforderungen an die Verteilnetze der Zukunft am kosteneffizientesten begegnet werden kann. Die Resultate wurden in Leitlinien für die Implementierung intelligenter Netze in Entwicklungsländern zusammengefasst.

## Ergebnisse

Die Betreiber von Verteilnetzen in Entwicklungsländern sehen sich mit einer Vielzahl von einzigartigen Herausforderungen konfrontiert. Zusätzlich zu der Tatsache, dass es in vielen Ländern nicht genügend Erzeugungskapazitäten gibt, um die wachsende Last zu decken, sind Verteilnetzbetreiber oft unterfinanziert und haben bei den lokalen Ministerien weniger politischen Einfluss als die größeren Übertragungsnetzbetreiber und Erzeugungsunternehmen. Zudem führt eine unzureichende (Prognose-) Datenlage zu häufigen Fehlanpassungen zwischen Lastzentren und Erzeugungszentren, die die Stromnetze belasten und zu häufigen Lastabwürfen führen.

Die Hauptvorteile von Smart-Grid-Investitionen lassen sich im Allgemeinen in folgende Bereiche unterteilen:

- Verbesserung der Sicherheit und Zuverlässigkeit
- Verbesserung der Effizienz
- Schaffung von Umweltvorteilen
- Schaffung von wirtschaftlichen Vorteilen

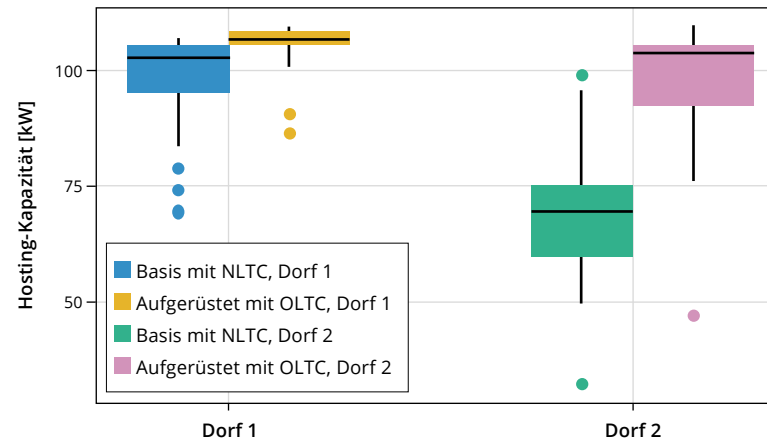


Investitionsentscheidungen in Entwicklungsländern konzentrieren sich in der Regel eher auf Sicherheit/Zuverlässigkeit und wirtschaftliche Faktoren als auf Umwelt- oder Effizienzgründe.

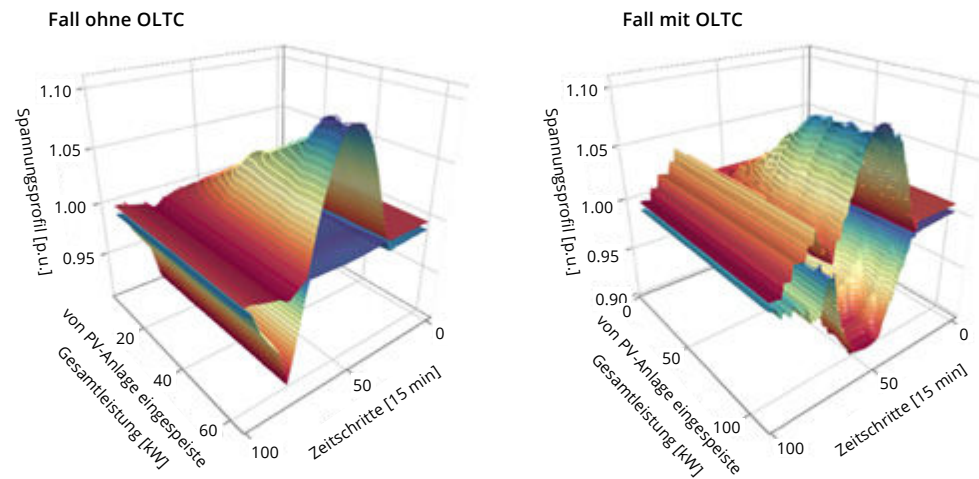
In einer Fallstudie wurden verschiedene neue

Technologien zur Verbesserung der Hosting-Kapazität dezentraler erneuerbarer Energiequellen untersucht. Dazu gehören die Neukonfiguration des Netzes, der Einsatz von Energiespeichersystemen und die Verwendung von Laststufenschaltern (On-Load Tap Changer, OLTC).

Die Ergebnisse zeigten eine deutliche Verbesserung der PV-Hosting-Kapazität in Dorf 2 mit einem Anstieg von 68 kWp auf 97 kWp (ein Faktor von 1,42). In Dorf 1 war eine leichte Verbesserung zu erkennen. Das Haupthindernis in Dorf 1 war die Überlastung des Transformators. Eine höhere Hosting-Kapazität könnte erreicht werden, wenn größere Transformatoren eingesetzt werden.



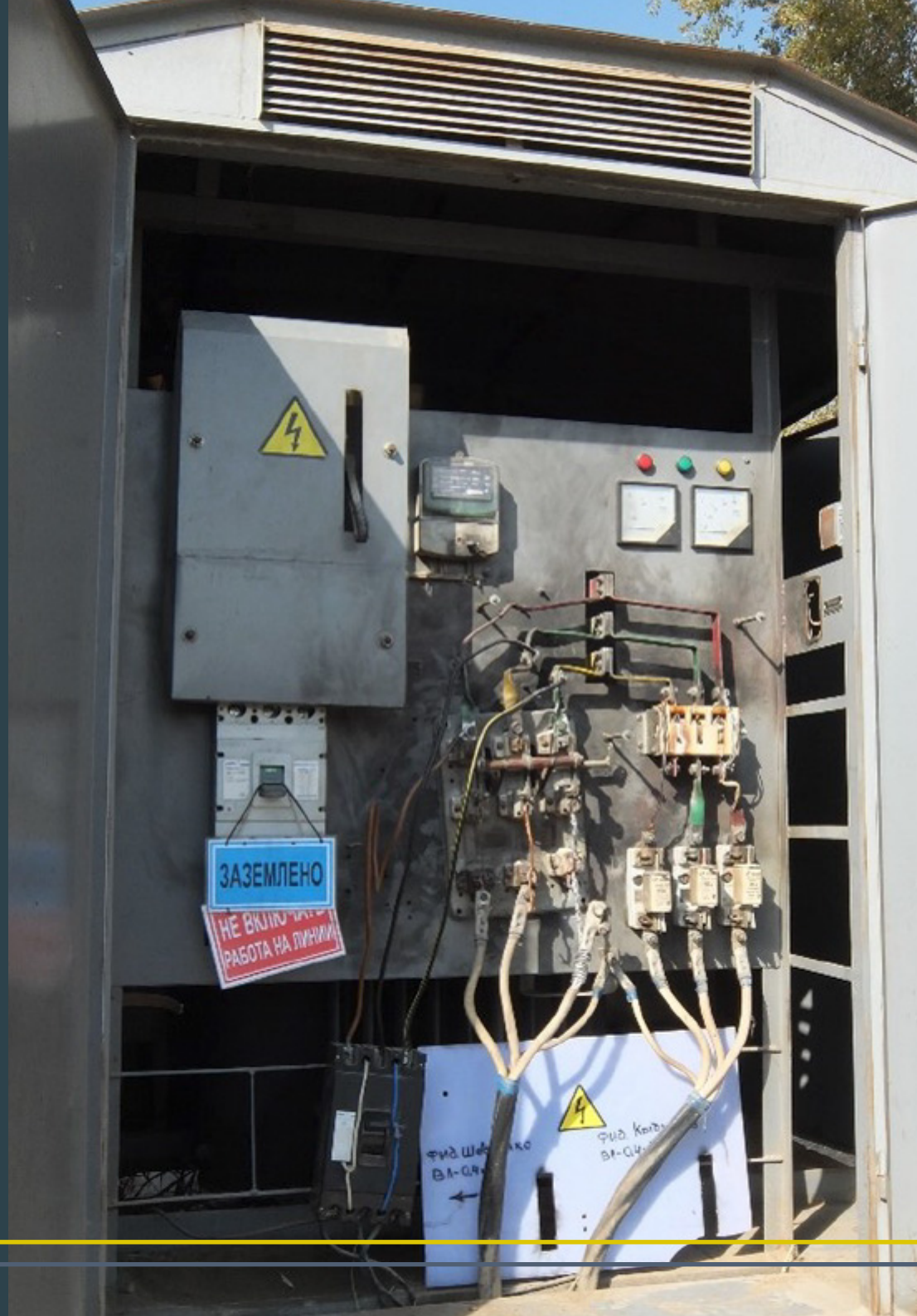
Simulierte Erhöhung der PV-Hosting-Kapazität durch den Einsatz von Laststufenschaltern (OLTC) anstelle von Lastumschaltern (NLTC)



Spannungsprofil und Gesamtleistung für Dorf 2 mit (rechts) und ohne (links) OLTC  
Abhängigkeit von Zeitschritten

## Lessons Learned

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass in Netzen, in denen die Überlastung der Anlagen das Haupthindernis für eine Erhöhung der Kilowatt darstellt, zunächst die traditionelle Netzverstärkung untersucht werden sollte. Andererseits können in Netzen, in denen Spannungsengpässe das Haupthindernis darstellen, OLTC, PMUs und intelligente Steuerungen die Hosting Kapazität von DRES deutlich verbessern.



## PROJEKTPARTNER

House of Energy e. V.

## Projektbeirat

Ein wesentliches Ziel des Smart Grid LAB war es, Lösungen für reale digitalisierte Verteilnetze zu erarbeiten. Um die Übertragbarkeit in reale Netze zu gewährleisten, wurde vom House of Energy ein Projektbeirat ins Leben gerufen. Im Beirat war ein breites Spektrum an Stakeholdern vertreten und er ergänzte die Arbeit des Projektteams mit Erfahrungen und Praxiswissen aus mehreren Perspektiven.

Im Laufe des Projektes wurde das Konsortium des Smart Grid LAB Hessen durch den Beirat begleitet und beraten. Diesem gehörten mit Entega, den Städtischen Werken Kassel, Energie Waldeck-Frankenberg, den Stadtwerken Bad Nauheim und der Syna GmbH eine Reihe der hessischen Netzbetreiber an. Die Seite der Zertifizierer war durch den TÜV Hessen und TÜV Nord vertreten. Für die Hersteller brachten ADAICA

(Software Engineering), A. Eberle (Mess- und Regeltechnik) sowie die Betonbau GmbH (Stationsbau) ihre Erfahrungen ein. Abgerundet wurde das Spektrum des Projektbeirats durch die Kanzlei für Energiewirtschaft Becker Büttner Held, das Beratungsunternehmen BearingPoint sowie die North Channel Bank als Finanzierer.

*„Das Energiesystem der Zukunft wird stromzentriert und von volatilen und nicht steuerbaren erneuerbaren Energiequellen geprägt sein. Smart Grids werden künftig eine zentrale Rolle spielen, indem sie Erzeugung, Verteilung und Verbrauch von Strom flexibel aufeinander abstimmen.“*

Prof. Dr. Peter Birkner



Im Projektverlauf haben die Teilnehmer:innen bei den Beiratstreffen sowie durch den unmittelbaren Austausch mit ihrer Expertise und Erfahrung wichtige Hinweise für die Arbeiten im Smart Grid LAB Hessen und die Auswertung der Projektergebnisse eingebracht. Insbesondere für die Ausgestaltung der Szenarien konnte der Beirat einen wichtigen Beitrag für das Projekt leisten und zentrale Fragen konkret beantworten.

Wir danken allen Vertreter:innen des Beirats herzlich für ihr Engagement!

Das Projekt Smart Grid LAB Hessen wurde auch auf zwei hochrangigen Veranstaltungen präsentiert: Zum einen auf dem ETG-Kongress 2023 in Kassel, auf dem das Smart Grid LAB in der Poster-Session zur Digitalisierung der Energiewende vorgestellt wurde und zum anderen mit einem Vortrag auf der Internationalen Konferenz und Ausstellung zur Stromverteilung CIRED 2023 in Rom.



## KONSORTIALFÜHRER

### Hochschule Darmstadt, Fachbereich EIT

Prof. Dr. Ingo Jeromin  
*ingo.jeromin@h-da.de*  
+49 6151 533 60053



## PROJEKTPARTNER

### Ingenieurbüro Pfeffer GmbH

Matthias Pfeffer  
*matthias.pfeffer@ipi-online.de*  
+49 6074 8759-20



### JEAN MÜLLER GmbH

Robert Rohde  
*r.rohde@jeanmueller.de*  
+49 6123 604-210



### QGroup GmbH

Ulfilas Schröder  
*u.schroeder@qgroup.de*  
+49 69 175363-040



### Tractebel Engineering GmbH

Brandi Gunn  
*brandi.gunn@tractebel.engie.com*  
+49 6101 55-1916



### House of Energy e. V.

Anja Schaldach  
*a.schaldach@house-of-energy.org*  
+49 561 51005-336





**SMART GRID LAB**

Smart Grid Lab Lösungen:  
Reallabor für die  
Zukunft  
für Intelligente  
Stromnetze

1-12

www.house-of-energy.org

**House of Energy**  
Kongress

**Energiewende –  
konkrete Wege zur  
Klimaneutralität**

1-12

14. März 2023  
Congress Center  
Frankfurt

[www.house-of-energy.org](http://www.house-of-energy.org)

## **BILDNACHWEIS**

Fotos Umschlag, Seiten U2, 2, 4 (oben rechts), 5, 13, 19, 29, 31: © Milton Arias

Seiten 4 (unten links und rechts), 15: © Ingenieurbüro Pfeffer

Seite 9 (Häuser-Icons): Icon „House“ von Youmena vom [thenounproject.com](https://thenounproject.com/thenounproject.com/icon/house-1208748) (thenounproject.com/icon/house-1208748),

Icon „Apartment“ von supalerk laipawat vom [thenounproject.com](https://thenounproject.com/thenounproject.com/icon/apartment-3380962) (thenounproject.com/icon/apartment-3380962),

Icon „two story house“ von ProSymbols vom [thenounproject.com](https://thenounproject.com/thenounproject.com/icon/two-story-house-1874916) (thenounproject.com/icon/two-story-house-1874916)

Seite 21: © Jean Müller

Seite 23: Bild: © QGroup unter Verwendung von [stock.adobe.com](https://stock.adobe.com) – [peterschreiber.media](https://peterschreiber.media)

Seite 25–27: © Tractebel

---



