

Bild 2. Systemaufbau MobiGrid

einander als auch weitere Marktteilnehmer Daten zur Verfügung stellen oder Mehrwertdienste anbieten. Die Verwendung des JSON-Datenformats nach dem ECMA-404 Standard garantiert dabei die Zukunftsfähigkeit des digitalen Zwilling. Erweiterungen des bestehenden Datenformats können aufgrund der objektorientierten Struktur rückwärtskompatibel durchgeführt werden.

Flexibilitätsmanagement mithilfe digitaler Zwillinge

Eine Wegmarke von MobiGrid ist es, mithilfe aggregierter Informationen über den Netzzustand, die Wetterverhältnisse und das Nutzerverhalten von Netzteilnehmern, Fahrpläne für Flexibilitäten innerhalb des Stromnetzes zu generieren. Diese Flexibilitätsfahrpläne basieren auf dem Erzeuger- und Verbrauchermanagement. In MobiGrid erhalten flexible Netzteilnehmer und intelligente Anlagen des Netzbetreibers somit einen Fahrplan, mit dem sie unter anderem einen Beitrag zur Einhaltung der normativ geforderten Grenzen der Netzspannung und der maximal zulässigen Belastung der Betriebsmittel leisten. Zur Ermittlung dieser Fahrpläne werden alle relevanten Informationen, beispielsweise historische Messwerte, Wetterprognosen, aktuelle Börsenstrompreise, Anlageninformationen etc. durch die

Middleware aggregiert. Sie ist zu diesem Zweck an die in **Bild 2** gezeigten Softwaresysteme angebunden, die die relevanten Daten erheben und vorverarbeiten. Die gesammelten Informationen werden anschließend dem Netzberechnungsprogramm ATPDesigner zur Fahrplanermittlung über eine JSON-Schnittstelle übermittelt. Um beliebige Datenmengen weiterverarbeiten zu können, ist das Netzberechnungsprogramm als skalierbare Systemplattform aufgebaut. Die für die Datenverarbeitung notwendige Rechenleistung kann somit in einer Cloudinfrastruktur flexibel an die Anforderungen der Anwender angepasst werden. Das Netzberechnungsprogramm wird im Projekt MobiGrid um ein Verfahren erweitert, das unter Berücksichtigung der netzphysikalischen Zusammenhänge und der Netztopologie mithilfe der durch die Middleware aggregierten Daten die avisierten Flexibilitätsfahrpläne erstellt. Grundlage des Verfahrens bildet eine Sensitivitätsanalyse, die die physikalischen Auswirkungen der Flexibilitätsoptionen auf den Netzzustand ermittelt. Dazu werden die Leistungsflussgleichungen des Stromnetzes um ihren Arbeitspunkt herum linearisiert. Die Sensitivitätsmatrix **S** in **Bild 3** ergibt sich dabei aus der Multiplikation der Inversen der Jakobimatrix J^{-1} mit der Matrix der partiellen Ableitungen der Leistungsflussgleichungen

$$S = J^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial P_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial P_j} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial P_N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_i}{\partial P_1} & \dots & \frac{\partial f_i}{\partial P_j} & \dots & \frac{\partial f_i}{\partial P_N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial P_1} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial P_j} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial P_N} \end{pmatrix}$$

Bild 3. Sensitivitätsmatrix [3]

($f_1 \dots f_i \dots f_N$) nach den Knotenleistungen ($P_1 \dots P_j \dots P_N$).

N entspricht hierbei der Gesamtzahl an Knoten im betrachteten Stromnetz. Unter Berücksichtigung dieser Sensitivität und eventueller Anlagenrestriktionen berechnet das Netzberechnungsprogramm für jeden Zeitschritt dedizierte Anlagenleistungen, die anschließend zu unterschiedlichen Flexibilitätsfahrplänen zusammengesetzt werden.

Darauf aufbauend findet eine monetäre Bewertung der Fahrpläne durch den Flexmanager der e-netz Süd Hessen AG unter Berücksichtigung rechtlicher Rahmenbedingungen statt. Hierbei stehen abschaltbare Lasten, wie stationäre Ladesäulen, elektrische Wärmepumpen, heimische Wallboxen, aber auch lokale Speicher und Erzeugungsanlagen im Fokus. Der geschilderte Prozessablauf ist schematisch in **Bild 4** zu sehen. Parallel zur Simulation innerhalb der Softwaresysteme findet das geplante Flexibilitätsmanagement in einem Feldtestgebiet der e-netz Süd Hessen AG statt. Hier koordiniert der Flexmanager als Bindeglied zwischen Softwaresystem und dezentralen Flexibilitäten die geplanten Flexibilitätsabrufe.

Projektpartner

Die e-netz Süd Hessen AG beteiligt sich in MobiGrid als Netzbetreiber und Konsortialführer. Ein wesentliches Ziel ist es, neben der Weiterentwicklung bestehender Infrastrukturen aus bisherigen Projekten, Rückschlüsse aus den erwarteten Auswirkungen der E-Mobilität auf die Stromnetze zu ziehen, und daraus Potenziale zur Nutzung der E-Mobilität als dezentrale Flexibilität aufzuzeigen.

Das Institut für Elektrische Energiesysteme der htw saar bringt seine Kompetenzen in der Stromnetzberechnung und der Netzschutztechnik ein. Mit performanten Netzberechnungsverfahren

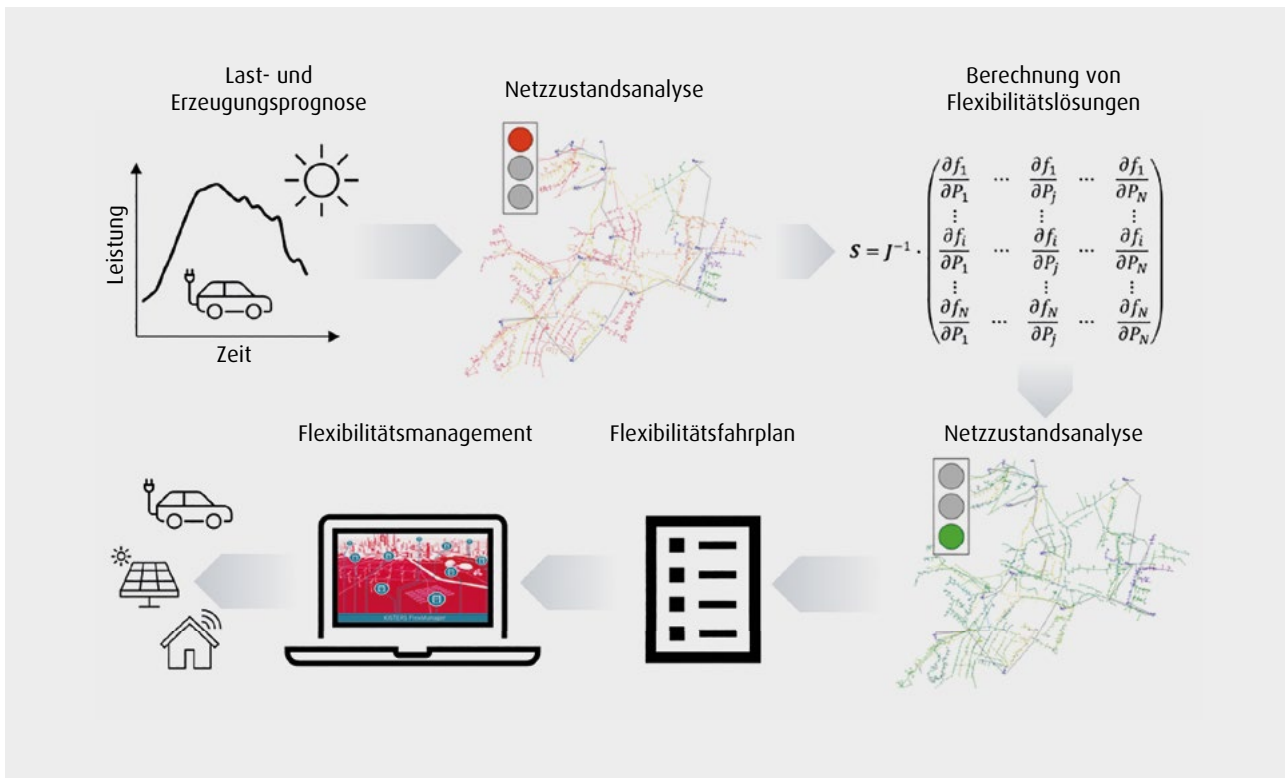


Bild 4. Prozessablauf MobiGrid

erstellt das Institut mithilfe des Netzrechnungsprogramms ATPDesigner Flexibilitätssfahrpläne, um die Integration der E-Mobilität in die Stromverteilnetze zu untersuchen.

Das Fraunhofer IESE beteiligt sich an MobiGrid als eines der führenden Forschungsinstitute bei den Themen digitale Zwillinge und Industrie 4.0. Hierfür wird die Open-Source Middleware Eclipse BaSyx, die für Industrie-4.0-Anwendungen entwickelt wurde, auf die Energiewirtschaft transferiert.

Das Projekt wird zusätzlich durch die Storegio GmbH unterstützt.

Danksagung

Die Projektpartner danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Zuwendungen im Projekt MobiGrid und dem Projektträger Jülich (PTJ) für die Unterstützung.

Literatur

- [1] VDE ETG: Call for Experts zur Erstellung einer VDE ETG Studie – Der Digitale Zwilling in der Elektrizitäts- und Netzwirtschaft. 13. April 2021. www.vde.com/de
- [2] Gesellschaft für Informatik: Informationslexikon. 2. November 2017. <https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling>

- [3] Schäfer, K. F.: Netzberechnung – Verfahren zur Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2020.

>> **Lucas Simon** M.Sc.,
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Saarbrücken

Vanessa Spies M.Sc.,
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Saarbrücken

Prof. Dr.-Ing. **Michael Igel**,
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Saarbrücken

Kerstin Lerchl-Mitsch,
e-netz Süd Hessen AG, Darmstadt

MBA **David Petermann**,
e-netz Süd Hessen AG, Darmstadt

Nicole Büchau,
e-netz Süd Hessen AG, Darmstadt

Christian Hein,
e-netz Süd Hessen AG, Darmstadt

Dipl.-Ing. (FH) **Denis Uecker**,
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern

Andrei Manta B.Sc.,
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern

Matthias Gerbershagen M.Sc.,
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern

Zai Müller-Zhang M.Sc.,
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern

Nishanth Laxman M.Sc.,
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern

Yousuf Al-Obaidi M.Sc.,
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern

- >> lucas.simon@htwsaar.de
vanessa.spies@htwsaar.de
michael.igel@htwsaar.de
kerstin.lerchl-mitsch@e-netz-suedhessen.de
david.petermann@e-netz-suedhessen.de
nicole.buechau@e-netz-suedhessen.de
christian.hein@e-netz-suedhessen.de
denis.uecker@iese.fraunhofer.de
andrei.manta@iese.fraunhofer.de
matthias.Gerbershagen@iese.fraunhofer.de
zai.mueller-zhang@iese.fraunhofer.de
nishanth.laxman@iese.fraunhofer.de
yousuf.al-obaidi@iese.fraunhofer.de

- >> www.htwsaar.de
www.e-netz-suedhessen.de
www.iese.fraunhofer.de
www.atpdesigner.de
www.eclipse.org/basyx