

Chancen der Digitalisierung für die Energiewende



KIT
Prof. Dr. Veit Hagenmeyer
veit.hagenmeyer@kit.edu

Einleitung

Der schnell fortschreitende Digitalisierungs- und Automatisierungsprozess ist heute schon ein wichtiger Wegbegleiter für die Transformation des aktuellen Energiesystems. Im vorliegenden Beitrag werden sechs Anwendungsbeispiele vorgestellt, die deutlich machen, dass die Energiewende ohne Digitalisierung nicht denkbar ist.

Dezentrale optimierungsbasierte Einsatzplanung für Batteriespeicher mittels stochastischer Prognosen

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (z. B. Wind, Sonne) ist aufgrund der intrinsischen Volatilität nicht frei regelbar (abgesehen vom Abregeln im Falle von Netzüberlastung). Die Integration von Strom aus erneuerbaren Energiequellen in den Strommarkt und der Betrieb des Stromnetzes können insofern gelingen, als Energiespeichersysteme eingesetzt werden, die diese Volatilität ausgleichen. In der Regel erfolgt die Planung und Steuerung derartiger Energiesysteme mithilfe eines hierarchischen Ansatzes. Das heißt, auf der oberen Ebene wird zunächst ein Optimierungsproblem zur Berechnung eines Betriebsfahrplans (Dispatch Schedule) gelöst und die entsprechenden Energiemengen zugeordnet. Auf der unteren Ebene werden anschließend Online-Anpassungen des Betriebsfahrplans mithilfe der modellprädiktiven Regelung durchgeführt. Eine modellprädiktive Regelung wird i. d. R. dann eingesetzt, wenn das zukünftige Verhalten eines Prozesses in Abhängigkeit von den Eingangssignalen berechnet werden soll.

In einem neuartigen Ansatz für die optimierungsbasierte Einsatzplanung für Batteriespeicher werden datengetriebene, wahrscheinlichsbasierte Prognosen der Leistungs- und Energieproduktion von erneuerbaren Energieanlagen mit Optimierungsverfahren zur Minimierung der ökonomischen Kosten kombiniert (Appino et al. 2018, ► [Abbildung 1](#)).

Oberstes Ziel ist die Einhaltung des Betriebsfahrplans mit einem bestimmten Sicherheitsniveau, obgleich wahrscheinlichsbasierte Prognosen der Leistungs-/Energieprofile der Nachfrage/Erzeugung die Grundlage bilden. Die Wirksamkeit des vorgeschlagenen Ansatzes konnte in umfangreichen Simulationen

und Experimenten am KIT gezeigt werden, die auf realen Produktions- und Verbrauchsdaten von Haushalten basieren (Appino et al. 2018).

Automatisierte Flexibilitätserkennung in Industrieprozessen

Die Flexibilisierung des Stromverbrauchs von Industrie- und Haushaltsstromkunden wird als ein Mittel zur Synchronisation von Stromerzeugung und -verbrauch gesehen. Die Verfahren zur Beeinflussung des Stromverbrauchsverhaltens werden in der Regel unter dem Begriff Demand Side Management (DSM) zusammengefasst.

Um DSM-Strategien zu implementieren, sollte zunächst die Flexibilität des Verbrauchers ermittelt werden. Das Flexibilitätspotenzial für Haushalte sowie für einige energieintensive Industrieprozesse wurde in der Literatur bereits umfangreich analysiert, jedoch wurden industrielle Batchprozesse bisher nicht berücksichtigt (Batchprozesse sind diskontinuierliche Produktionsprozesse, die als „Stapel“ [englisch batch], das heißt streng nacheinander, abgearbeitet werden, z. B. zur Synthese von Chemikalien.)

So stellt (Ludwig et al. 2017) einen neuen Ansatz vor, um wiederkehrende Muster (Fachbegriff: Motive) in industriellen Energiedaten zu finden. Der hierfür eingesetzte zweistufige Algorithmus (Motif Discovery Algorithmus) erweist sich als sehr effizient bei der Suche nach wiederkehrenden Mustern in industriellen Prozesszeitreihendaten. Die wiederkehrenden Muster lassen sich als „Standardprozessprofile“ begreifen und die Variation der Muster kann als Indikator für Flexibilitätspotenziale verwendet werden (Barth et al. 2018). Dieser Ansatz bietet den Vorteil, dass Flexibilitätspotenziale in Industrieprozessen automatisiert erkannt werden, ohne dass Expertenwissen über den zugrundeliegenden Industrieprozess notwendig ist.

Neue Leitwartentechnologien zur Vollautomatisierung

In einem Energiesystem mit einer Vielzahl an verteilten erneuerbaren Energieanlagen (Distributed Energy Resources – DER) und einem eng vernetzten Gesamtsystem müssen neue Leitwartekonzepte und -technologien entwickelt werden, die eine Voll-



KIT
Dr. Simon Waczowicz
simon.waczowicz@kit.edu

DBFZ
Dr. Nora Szarka
nora.szarka@dbfz.de

Dr. Franziska Müller-Langer
franziska.mueller-langer@dbfz.de

DLR
Michael Kröner
michael.kroener@dlr.de

UFZ
Michael Steubing
michael.steubing@ufz.de

Prof. Dr. Daniela Thrän
daniela.thraen@ufz.de

Wuppertal
Prof. Dr. Manfred Fischedick
manfred.fischedick@wupperinst.org

Paul Weigel
paul.weigel@rocketmail.com

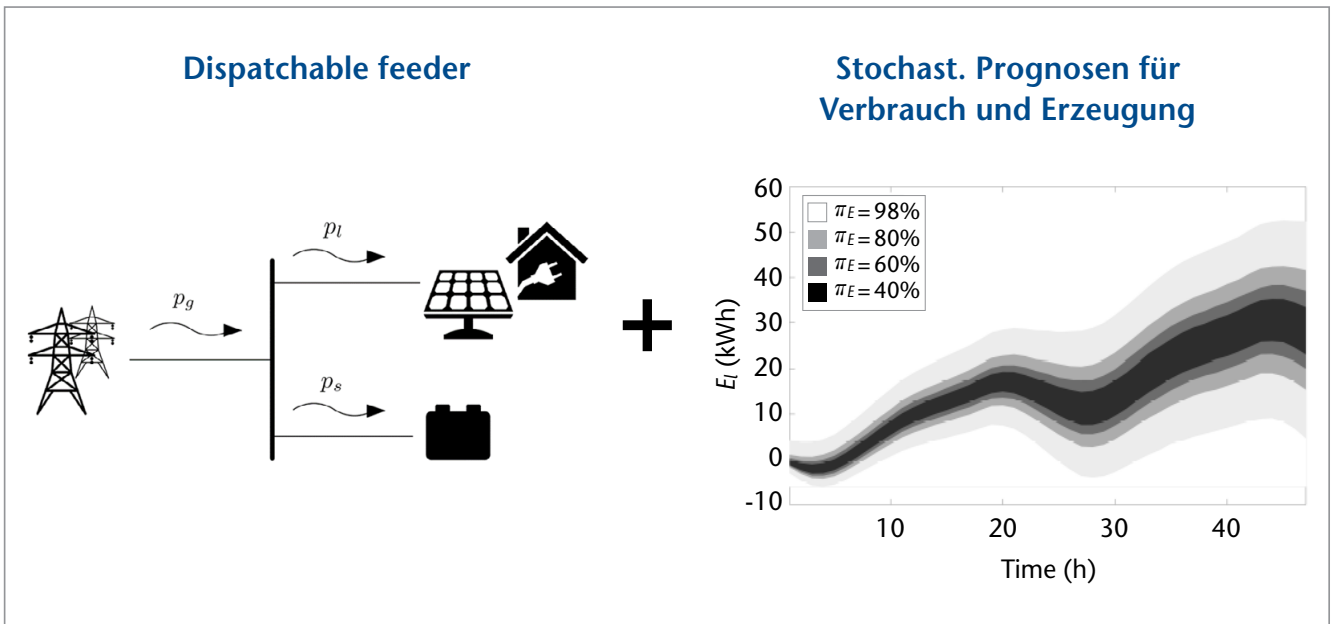


Abbildung 1
optimierungsbasierte Einsatzplanung für Batteriespeicher
(bereitgestellt von R. Appino, KIT-IAI, ©KIT-IAI)

automatisierung des Energiesystems ermöglichen. Eine vielversprechende Lösung ist hierbei ein automatisierter Multi-Agenten-Ansatz (siehe Abbildung 2). Er plant den Einsatz der im System beteiligten Komponenten, wie z. B. Photovoltaikanlagen (PV), Windkraftanlagen (WKA), Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK), Elektrofahrzeuge (EV), Wärmepumpen (WP) und Batteriespeicher (BS). Sogenannte Agenten (auf unterschiedlicher Aggregationsstufen) sammeln und vereinen virtuell die von den Komponenten bereitgestellten Flexibilitäten. In einem weiteren Schritt nutzen Aggregatoren oder Virtuelle Kraftwerke die gebündelten Flexibilitäten und bieten diese auf den Energiemärkten zum Kauf an, wonach sie von Netzbetreibern zur Netzstabilisierung

genutzt werden können. Die Vollautomatisierung dieses Prozesses bedingt allerdings die parallele und hoch-performante Ausführung von Optimierungsrechnungen. Eine mögliche Lösung hierfür ist ein generisches Container- und Microservice-basiertes Framework (Hagenmeyer et al. 2016).

Simulation, Analyse und Konzeption komplexer Energiesysteme

Die Digitalisierung ermöglicht die Virtualisierung komplexer Energiesysteme auf allen Skalen vom Einzelgebäude bis zum internationalen Netzverbund („Digitaler Zwilling“). Die Hauptaufgabe

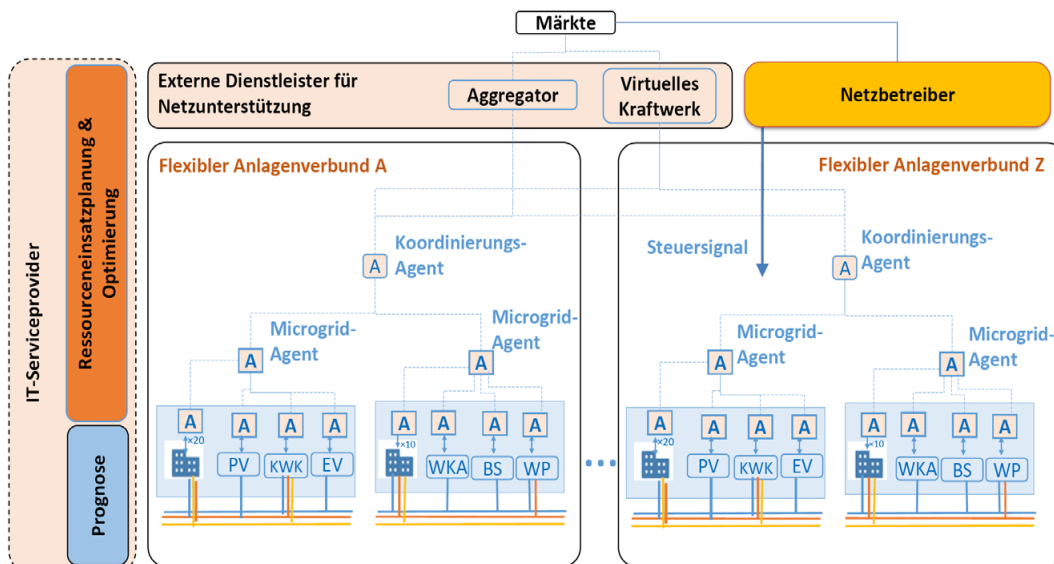


Abbildung 2
automatisierter Multi-Agenten-Ansatz für die Ressourceneinsatzplanung
(bereitgestellt von Dr. C. Düpmeier, KIT-IAI, ©KIT-IAI)
Abkürzungen:
PV – Photovoltaikanlage,
WKA – Windkraftanlage,
KWK – Kraft-Wärme-Kopplungsanlage,
EV – Elektrofahrzeug,
BS – Batteriespeicher,
WP – Wärmepumpe

besteht darin, in einem ganzheitlichen Ansatz alle Energienetze, von klein bis groß, zu modellieren, zu simulieren und verschiedene Energieträger, Energiemeteorologie und verschiedene Energiemärkte zu verbinden. Daher wurde ein umfangreiches Portfolio an Modellen zur Simulation und Optimierung von Niederspannungsstromnetzen bis hin zum paneuropäischen Übertragungsnetz entwickelt (Hagenmeyer et al. 2016).

Zur Berücksichtigung der geografisch verteilten erneuerbaren Energien wurde ein Modell des deutschen Übertragungsnetzes (380 kV/220 kV) um das komplette 110 kV-Verteilnetz sowie einige ausgewählte Mittel- und Niederspannungsnetze erweitert. Zudem wurden neueste, nicht offen verfügbare Topologiedaten der deutschen Übertragungsnetzbetreiber und Verteilernetzbetreiber für diese Modelle genutzt. Die entwickelten Modelle bilden die Grundlage für umfangreiche Lastflussberechnungen für Verteil- und Übertragungsnetze, wobei u. a. das Softwareframework eASiMoV zum Einsatz kommt (Kyesswa et al. 2017).

Komplexe Energiesysteme sind durch energietechnische Anlagen, Gebäude, Energie- und Informationsnetze gekennzeichnet. Sollen diese Energiesysteme simuliert werden, muss u. a. das thermische Verhalten der Gebäude modelliert werden. Am KIT wurden hierzu Verfahren weiterentwickelt, um 3D-Gebäudemodelle einer Liegenschaft automatisiert aus dem Datenaustauschformat CityGML zu erzeugen (Geiger et al. 2018). Die Gebäudemodelle werden in einem weiteren Schritt mit Netzmodellen für Strom und Wärme verknüpft, sodass der Strom- und Wärmebedarf größerer Gebäudegruppen simuliert werden kann.

Eine erfolgreiche Energiewende impliziert auch wesentliche Veränderungen im Wärmesektor. Aus regenerativen Quellen gespeiste Wärmenetze können hier einen entscheidenden Beitrag leisten und sind notwendig, um die angestrebte Reduzierung der Treibhausgasemissionen von 95 % gegenüber 1990 zu erreichen (Fraunhofer IWES/IBP 2017). Digitale Wärmebedarfskarten, die in der Planung von Wärmenetzen eingesetzt werden, identifizieren Wärmequellen und -senken sowie deren räumliche Beziehung und unterstützen somit die Bewertung von standortspezifischen Wärme(netz)-Optionen. Weiterhin können dadurch energieträgerspezifische (z. B. Biomasse) Potenziale quantifiziert und räumlich verortet werden.

Chancen der Digitalisierung für den Verkehr

Der Verkehrssektor steht vor der enormen Herausforderung, trotz wachsender Verkehrsleistungen insbesondere Klimagase (BMUB 2016) und lokale Schadstoffemissionen massiv zu reduzieren (BMVI 2014). Ein wesentlicher Baustein ist dafür die Energiewende im Verkehr und damit einhergehend die möglichen Chancen, die eine fortschreitende Digitalisierung mit sich bringt.

So hat vernetzte Mobilität das Potenzial, den Energieverbrauch – und damit i. d. R. Emissionen – zu reduzieren.

Weiterhin kann die Kopplung der Energiesektoren „Strom“ und „Mobilität“ zur Netzstabilität beitragen. So ist in diesem Zusammenhang der Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen als Stromspeicherelement zu nennen (z. B. unter Ausschöpfung der Synergien, die sich aus dem Bioenergie- und Stromsektor ergeben, in Bezug auf SynBioPTx-Produkte) (Müller-Langer et al. 2016). Diese Kraftstoffe können beispielsweise in Elektrofahrzeugen mit Range-Extendern zur Reichweitenverlängerung zum Einsatz kommen.

Eine weitere erfolgversprechende Kopplung zeigt sich auf Haushaltsebene mit Link zum Smart Home Grid. Teils vielversprechende Ansätze ergeben sich insbesondere im Zusammenhang mit bedarfsgerechter Energiebereitstellung respektive -verwaltung und dem Einsatz von (Range-Extender-)Elektrofahrzeugen als lokale Pufferspeicher. Eine Herausforderung, die es dabei zu bewältigen gilt, ist die Entwicklung und Implementierung eines intelligenten lokalen Lastmanagements, welches das Laden und Rückspeisen im Sinne von bidirektionalem Laden orchestriert.

Multikriterielle Nachhaltigkeitsbewertung

Die Bewertung komplexer Energiesysteme hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit bedarf der Berücksichtigung einer Vielzahl unterschiedlicher Kriterienkategorien (Technologie, Sicherheit, Ökonomie, Gesellschaft & Politik, Ökologie) und beteiligter Akteure (z. B. Erzeuger, Netze, Vertrieb, Verbraucher). Im Rahmen einer multikriteriellen Analyse werden der technische Lebenszyklus sowie die Spannungsfelder bewertet.

Fazit

Der vorliegende Beitrag verdeutlicht, dass die Digitalisierung die Virtualisierung komplexer Energiesysteme ermöglicht und dass die Energiewende nur mit dem „Digitalen Zwilling“ gelingen kann. Denn nur die Digitalisierung führt zu wirtschaftlichem und sicherem Betrieb komplexer Energiesysteme, nur sie führt zu einer verbesserten Netzplanung für ein effizienteres Gesamtsystem, nur sie ermöglicht Berechnung hochkomplexer Szenarien. Die Digitalisierung ist also sowohl Enabler als auch Beschleuniger der Energiewende.

Literaturverzeichnis

- Appino, Riccardo Remo, Jorge Ángel González Ordiano, Ralf Mikut, Timm Faulwasser, and Veit Hagenmeyer. 2018. “On the Use of Probabilistic Forecasts in Scheduling of Renewable Energy Sources Coupled to Storages”. *Applied Energy* 210: 1207–18. doi:10.1016/j.apenergy.2017.08.133.
- Appino, Riccardo Remo, Jorge Ángel González Ordiano, Ralf Mikut, Veit Hagenmeyer, and Timm Faulwasser. 2018. “Storage Scheduling with Stochastic Uncertainties: Feasibility and Cost of Imbalances”. In *Proc., 2018 Power Systems Computation Conference (PSCC)*, 1–7. doi:10.23919/PSCC.2018.8442529.
- Barth, Lukas, Veit Hagenmeyer, Nicole Ludwig, and Dorothea Wagner. 2018. “How Much Demand Side Flexibility Do We Need? – Analyzing Where to Exploit Flexibility in Industrial Processes”. In *9th ACM International Conference on Future Energy Systems (ACM e-Energy)*, 12th–15th June 2018, Karlsruhe, Germany. ACM, New York. doi:10.1145/3208903.3208909.
- BMUB 2016: Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Kabinettsbeschluss vom 14.11.2016.
- BMVI 2014: Verkehrsprognose 2030. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-praesentation.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff: 03.03.2017). 2014.
- Fraunhofer IWES/IBP. Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. 2017.
- Geiger, Andreas, Joachim Benner, Karl-Heinz Häfele, and Veit Hagenmeyer. 2018. “Thermal Energy Simulation of Buildings Based on the City-GML Energy Application Domain Extension”. In *BauSIM2018 – 7. Deutsch-Österreichische IBPSA-Konferenz: Tagungsband*. Hrsg.: P. Von Both, 295–302. KIT, Karlsruhe.
- Hagenmeyer, Veit, Hüseyin Kemal Çakmak, Clemens Döpmeier, Timm Faulwasser, Jörg Isele, Hubert B. Keller, Peter Kohlhepp, et al. 2016. “Information and Communication Technology in Energy Lab 2.0: Smart Energies System Simulation and Control Center with an Open-Street-Map-Based Power Flow Simulation Example”. *Energy Technology* 4 (1). Wiley: 145–62. doi:10.1002/ente.201500304.
- Kyesswa, Michael, Hüseyin Çakmak, Uwe Kühnapfel, and Veit Hagenmeyer. 2017. “A Matlab-Based Dynamic Simulation Module for Power System Transients Analysis in the EAsiMOV Framework”. *11th European Modelling Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation (EMS 2017)*, Manchester, GB, November 20-22, 2017.
- Ludwig, Nicole, Simon Waczowicz, Ralf Mikut, and Veit Hagenmeyer. 2017. “Mining Flexibility Patterns in Energy Time Series from Industrial Processes”. In *Proc., 27. Workshop Computational Intelligence*, Dortmund, 13–32.
- Müller-Langer, Franziska, Ralph-Uwe Dietrich, Roel van de Krol, Karin Arnold, and Falk Harnisch. 2016. “Erneuerbare Kraftstoffe für Mobilität und Industrie”. *FVEE-Themen*, 2016