

Bauer, Dennis et al.

Article — Published Version

Wie IT die Energieflexibilitätsvermarktung von Industrieunternehmen ermöglicht und die Energiewende unterstützt

HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik

Provided in Cooperation with:

Springer Nature

Suggested Citation: Bauer, Dennis et al. (2020) : Wie IT die Energieflexibilitätsvermarktung von Industrieunternehmen ermöglicht und die Energiewende unterstützt, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, ISSN 2198-2775, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, Vol. 58, Iss. 1, pp. 102-115,
<https://doi.org/10.1365/s40702-020-00679-8>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/288600>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Wie IT die Energieflexibilitätsvermarktung von Industrieunternehmen ermöglicht und die Energiewende unterstützt

Dennis Bauer · Aljoscha Hieronymus · Can Kaymakci ·
Jana Köberlein · Jens Schimmelpfennig · Simon Wenninger ·
Reinhard Zeiser

Eingegangen: 30. Juli 2020 / Angenommen: 12. Oktober 2020 / Online publiziert: 29. Oktober 2020
© Der/die Autor(en) 2020

Zusammenfassung Auf dem Weg zur Erreichung der gesetzten Klimaziele in Deutschland muss der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung stetig ausgebaut werden. Die damit einhergehende zunehmende Fluktuation der Erzeugungsleistung stellt die Stromnetze vor große Herausforderungen. Da knapp 44 %

D. Bauer · C. Kaymakci
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart,
Deutschland

D. Bauer
E-Mail: dennis.bauer@ipa.fraunhofer.de

C. Kaymakci
E-Mail: can.kaymakci@ipa.fraunhofer.de

A. Hieronymus · J. Köberlein · R. Zeiser
Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Am
Technologiezentrum 2, 86159 Augsburg, Deutschland

A. Hieronymus
E-Mail: aljoscha.hieronymus@igcv.fraunhofer.de

J. Köberlein
E-Mail: jana.koeberlein@igcv.fraunhofer.de

R. Zeiser
E-Mail: reinhard.zeiser@igcv.fraunhofer.de

J. Schimmelpfennig
Software AG, Umlandstraße 12, 64297 Darmstadt, Deutschland
E-Mail: Jens.Schimmelpfennig@softwareag.com

S. Wenninger (✉)
Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Hochschule Augsburg, Projektgruppe
Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT, Universitätsstraße 12, 86159 Augsburg, Deutschland
E-Mail: simon.wenninger@fim-rc.de

des Strom- und rund ein Viertel des Wärmeverbrauchs in Deutschland auf die Industrie entfällt, bietet diese signifikantes Potenzial, Schwankungen im Stromnetz durch die Anpassung des Stromverbrauchs an das Stromangebot im Sinne von Demand Response mittels Energieflexibilität auszugleichen. Bislang erschwert neben regulatorischen Rahmenbedingungen insbesondere eine fehlende einheitliche Modellierung & Kommunikation von Energieflexibilität sowie deren Einbettung in bestehende Unternehmens-IT-Infrastrukturen eine optimale und automatisierte Vermarktung. Im Rahmen des Forschungsprojekts SynErgie wurden hierfür informationstechnische Anforderungen erhoben, Datenmodelle zur Beschreibung von Energieflexibilität und eine übergeordnete IT-Architektur entwickelt. Mit Hilfe einer unternehmensspezifischen Plattform und einer zentralen Marktplattform kann der Informations- und Kommunikationsfluss von der Maschine/Anlage bis zur Flexibilitätsvermarktung und wieder zurück abgebildet werden. Eine Vielzahl verschiedener Services unterstützt hierbei ein Unternehmen von der Identifikation bis hin zur automatisierten und standardisierten Vermarktung von Energieflexibilität. Durch die Einsatzmöglichkeiten und Wirkansätze von IT wurden Grundsteine für nachhaltigkeitsbezogene Effekte des industriellen Energieverbrauchs gelegt, welche in den kommenden Monaten in einer Modellregion in und um Augsburg mit Industrieunternehmen, Netzbetreibern und weiteren Serviceanbietern getestet werden.

Schlüsselwörter Nachhaltigkeit · Energiewende · Flexible Produktion · Industrielle Nachfrageflexibilität · IT-Architektur · Sektorenkopplung

How IT Enables Industrial Demand Response and Supports the Energy Transition

Abstract To achieve the climate targets set in Germany, the share of renewable energies in electricity generation must be steadily increased. The associated increasing fluctuation in generation capacity poses major challenges for electricity grids. Since industry accounts for almost 44% of electricity consumption and around a quarter of heat consumption in Germany, it offers significant potential for compensating fluctuations in the electricity grid by adapting electricity consumption to the supply of electricity in the sense of demand response through energy flexibility. Up to now, the lack of a standardized and consistent modeling and communication of energy flexibility and its embeddings in existing corporate IT infrastructures has made automated marketing of energy flexibility difficult. Within the framework of the research project SynErgie, information technology requirements were collected, data models for the description of energy flexibility and a superordinate IT architecture were developed. With the help of a company-specific platform and a central market platform, the flow of information and communication from the machine/plant to the flexibility markets and back can be mapped. A variety of different services support companies from identification to automated and standardized marketing of energy flexibility. The possible applications and approaches of IT have laid the foundation for sustainability-related effects of industrial energy consumption, which will be tested in the coming months in a model region in and around Augsburg with industrial companies, network operators and other service providers.

Keywords Sustainability · Energy Transition · Flexible Manufacturing · Industrial Demand Response · IT Architecture

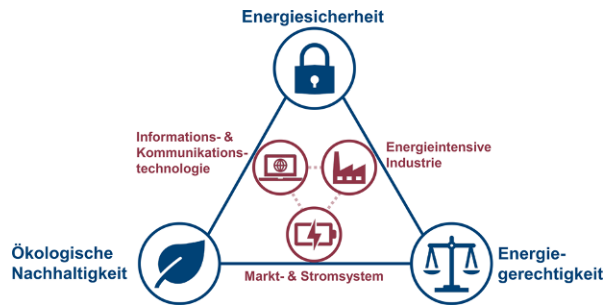
1 Einleitung: Zusammenspiel von IT, Energie, Industrie & Nachhaltigkeit

Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist in vollem Gange und zeigt erste negative Auswirkungen mit weltweiten Herausforderungen für die Politik und Gesellschaft (Brysse et al. 2013). Vor allem die Nutzung fossiler Brennstoffe wie Braunkohle, Steinkohle und Erdöl zur Energieerzeugung setzt enorme Mengen an Treibhausgasen frei und ist somit hauptverantwortlich für die Veränderung des Klimas. Mit dem Klimaabkommen von Paris im Jahr 2015 schufen die ca. 190 beteiligten Staaten einen globalen Rahmen, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Langfristiges Ziel des Klimaabkommens ist es, die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen, um die Risiken und Folgen des Klimawandels zu vermindern (United Nations 2015). Auf Basis internationaler Abkommen bilden die europäischen Energie- und Klimaziele Rahmenbedingungen für die Ziele der EU-Mitgliedstaaten und die Verabschiedung konkreter nationaler Klimaschutzstrategien (European Commission 2014). Mit dem Klimaschutzplan 2050 hat sich Deutschland zum Ziel gesetzt, bis 2050 weitgehende Treibhausgasneutralität zu erreichen und im Zuge dessen den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf mindestens 80% zu erhöhen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2016). Die damit einhergehende notwendige Transformation des Energiesystems zur Erreichung der Klimaziele ist gekennzeichnet von mehreren Herausforderungen, welche im sogenannten Energie-Trilemma dargestellt werden (siehe Abb. 1) (Gunningham 2013):

- **Versorgungssicherheit:** Der weltweite Primärenergieverbrauch steigt weiterhin an. Energie muss in dem Maße bereitgestellt werden, dass die Nachfrage von Wirtschaft und Bevölkerung gedeckt ist.
- **(Soziale) Energiegerechtigkeit:** Der Zugang der Bevölkerung zur Energieversorgung muss sichergestellt sein. Dies umfasst unter anderem bezahlbare Energiepreise.
- **Ökologische Nachhaltigkeit:** Ziel ist ein energieeffizientes Energiesystem und die Transformation zu erneuerbaren Energien.

Zur Lösung dieser Herausforderungen müssen erneuerbare Energien effizient genutzt werden. Um eine stabile und zuverlässige Energieversorgung zu gewährleisten, müssen Schwankungen der Erzeugung – verursacht durch fluktuierende Quellen wie Wind und Sonne – zunehmend durch die Anpassung des Verbrauchs ausgeglichen werden (Helin et al. 2017). Mit einem Anteil von 44% des Gesamtstromverbrauchs (Umweltbundesamt 2019) bieten industrielle Verbraucher enormes Potenzial, um mittels industriellem Demand-Side Management zum Ausgleich dieser Schwankungen und somit zur Netzstabilität beizutragen. Mit (industriellem) Demand Side-Management werden Energieerzeugung und -verbrauch durch die Anpassung des Energieverbrauchs der Industrie synchronisiert (Palensky und Dietrich 2011). Um

Abb. 1 Herausforderungen des Energie-Trilemmas (*blau*) mit dem Zusammenspiel von IT, energieintensiver Industrie und dem Markt- & Stromdesign



den Herausforderungen einer sicheren, gerechten und nachhaltigen Energieversorgung zu begegnen und die vorhandene Flexibilität energieintensiver Industrieprozesse nutzbar zu machen, ist ein Zusammenspiel von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) zur Vermarktung und Steuerung, ein entsprechendes Markt- und Stromdesign und die Fähigkeit von energieintensiven Prozessen zur flexiblen Anpassung an das vorhandene Energieangebot notwendig. Um die Zusammenhänge mit und Potenziale der IT für industrielle Energienachfrageflexibilität mit einem breiten Publikum aus Forschung und Praxis zu teilen, widmet sich dieser Artikel folgender Fragestellung: Wie kann zielgerichtete IT die energieintensive Industrie bei der Vermarktung von Energieflexibilität unterstützen? Dazu ist dieser Artikel in vier weitere Kapitel unterteilt. Nach einer kurzen Beschreibung des Projektrahmens wird der Stand der Technik von IT-Systemen in der Produktion erläutert, bevor eine entwickelte End-to-End-IT-Architektur zur Flexibilisierung des Energieverbrauchs der Industrie vorgestellt wird. Auf Basis dieser Architektur werden Potenziale und Auswirkungen zielgerichteter IT für die energetische Flexibilisierung und Flexibilitätsvermarktung abgeleitet. Der Artikel schließt mit einer Zusammenfassung und Implikationen für Forschung und Praxis ab.

2 Industrielle Nachfrageflexibilität trifft auf IT-Systeme

Die Komplexität der Energiewende spiegelt sich in der Forschungsthematik der industriellen Nachfrageflexibilität wider. Eine integrierte Betrachtung technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aspekte ist daher unerlässlich. Das Forschungsprojekt SynErgie ist Teil der Kopernikus-Projekte, einer der größten deutschen Initiativen im Themenfeld der Energiewende und wurde ins Leben gerufen, um sich dieser Herausforderung der integrierten Betrachtung anzunehmen. In einem interdisziplinären Konsortium aus Wissenschaft, Industrie und Zivilgesellschaft werden Technologien und Lösungen erarbeitet, um den Energiebedarf der deutschen Industrie effektiv mit dem volatilen Energieangebot zu synchronisieren (Sauer et al. 2019). Im Einzelnen sind dies die Untersuchung der technischen Flexibilisierungsmöglichkeit von branchenspezifischen Produktionsprozessen der Industrie sowie der branchenübergreifenden Produktionsinfrastruktur. Darüber hinaus die Erforschung der IT-basierten Automatisierung der Flexibilitätsvermarktung sowie der

dazugehörigen Analyse und Neugestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen des Markt- und Stromsystems zur Schaffung von wirtschaftlichen Anreizen für industrielles Demand-Side Management. Abgerundet wird dies durch die Ermittlung des Flexibilitätspotenzials der deutschen Industrie sowie der Untersuchung ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Auswirkungen innerhalb einer energieflexiblen Modellregion.

Die IT nimmt dabei eine Schlüsselrolle zur Verbindung der Produktion und Produktionsinfrastruktur mit dem Markt- und Stromsystem ein. Dies begründet sich in der Notwendigkeit, Informationsflüsse auch über Unternehmensgrenzen hinweg zu definieren und aufzubauen, also die klassische Automatisierungspyramide zu erweitern (Körner et al. 2019), das Zusammenspiel diverser Optimierungsservices zu koordinieren (Seitz et al. 2019), sowie darauf aufbauend der Automatisierung und Standardisierung des gesamten Prozesses zur Energieflexibilitätsvermarktung (Sauer et al. 2019).

3 Entwicklung einer IT-Architektur zur Energieflexibilitätsvermarktung

Existierende Plattformen In den letzten Jahren sind in vielen Geschäftsbereichen digitale Plattformen entstanden, um Kunden und Anbieter zusammenzubringen und innovative Dienstleistungen anzubieten. Der Begriff Plattform wird in diesem Zusammenhang sehr häufig verwendet, seine Bedeutung ist jedoch nicht klar und einheitlich (Mark de Reuver et al. 2018). Einerseits werden bereits heute IT-Plattformen für die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion genutzt. Dabei kommen digitale Dienste und Services wie Predictive Maintenance oder die Optimierung von Produktionsprozessparametern zum Einsatz (Zhong et al. 2017). Die meisten vorhandenen und kommerziell verfügbaren IT-Plattformen sind jedoch auf die vom jeweiligen Anbieter angebotenen Produkte und Dienstleistungen zugeschnitten. Sie verwenden meist proprietäre statt offener Schnittstellen und Protokolle und bilden damit ein geschlossenes Ökosystem (Wajid und Bhullar 2019). Infolgedessen sind oftmals weder Interaktionen mit externen Systemen noch die Interoperabilität mit anderen Plattformanbietern möglich. Neben den klassischen IT-Plattformen für die Produktion sind Energiemanagementsysteme weit verbreitet. Energiemanagementsysteme werden meist für die Erfassung, Verarbeitung und das Monitoring von Energieströmen innerhalb eines Unternehmens genutzt (Lee und Cheng 2016). Andererseits sind Entscheidungsunterstützungssysteme für die Energiebeschaffung und -optimierung am Markt etabliert. Diese reichen von Strommarktprognosen bis hin zu Lösungen für die Optimierung der PPS unter Berücksichtigung von Strommarktpreisen (Siano 2014).

Zusammenfassend ist eine vollumfängliche Lösung für die Flexibilitätsvermarktung, von der Potenzialanalyse bis hin zur automatisierten Vermarktung, bislang nicht kommerziell verfügbar. Neben unterschiedlichen Herausforderungen bei Industriepattformen hinsichtlich Industrial Demand-Side Management wie Vermeidung von Vendor Lock-In, Interoperabilität, Berücksichtigung von Energieflexibilität, Flexibilitätsmanagement oder Energiesteuerung, fehlt vor allem eine ganzheitliche In-

tegration von Energieflexibilität von der Maschine bis zum Energiemarkt (Rösch et al. 2019).

Energiesynchronisationsplattform Um den im vorherigen Abschnitt identifizierten Defiziten und Herausforderungen zu begegnen, wurde im Rahmen des SynErgie-Forschungsprojekts eine ganzheitliche IT-Architektur, die Energiesynchronisationsplattform (ESP), entwickelt. Die ESP nimmt sich der bestehenden Defizite eines fehlenden End-to-End-Ansatzes und der Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Systemen an. Daher bildet die ESP die Kommunikation von Energieflexibilität von der Maschine bis zur Vermarktung der Energieflexibilität ab. Die ESP gliedert sich dabei in zwei Teilplattformen, die Unternehmensplattform (UP) und die Marktplattform (MP), die über eine Schnittstelle zum Datenaustausch und zur Interaktion befähigt sind (vgl. Abb. 2). Die ESP stellt dabei den übergeordneten Rahmen für die Zusammenarbeit der UP und der MP dar. In diesem globalen Rahmen werden Stakeholder, technische Schnittstellen, Datenflüsse und Regularien für eine erfolgreiche Interaktion der UP und MP definiert. Die Aufteilung der ESP in zwei Plattformen ist dabei notwendig, um deren spezifisches Domänenwissen sowie die Technologien und Methoden sicher zu kapseln, ohne den Betrieb und die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu beeinträchtigen (Schott et al. 2019; Rösch et al. 2019). Damit beschreibt die Energiesynchronisationsplattform das Zusammenspiel mehrerer Unternehmen, also mehrerer UPs, auf einer zentralen MP, um den Prozess des Energieflexibilitätshandels von der Maschine bis zum Energiemarkt transparent und IT-unterstützt durchzuführen. Hierfür bietet die service-orientierte UP die notwendigen Funktionalitäten für die informationstechnische Anbindung und die Ansteuerung von energieflexiblen Produktionsprozessen und -infrastruktur. Die MP kann als eine Meta-Plattform für den Energieflexibilitätshandel gesehen werden. Eine Service-

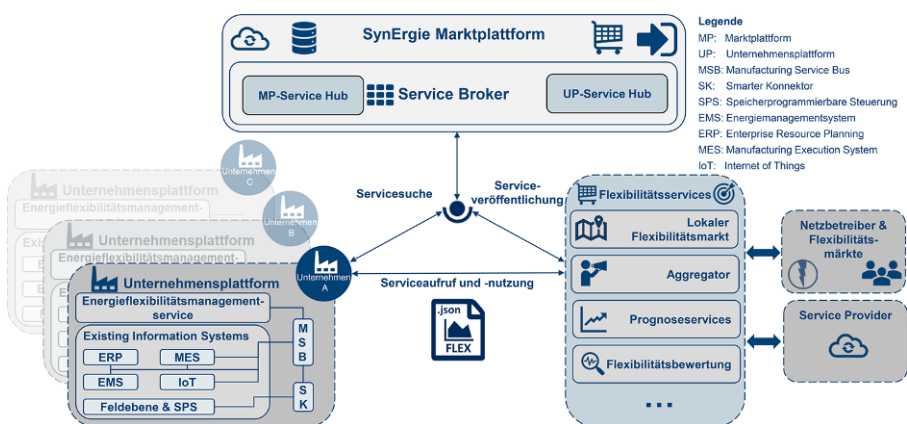


Abb. 2 Architektur der Energiesynchronisationsplattform. *MP* Marktplattform, *UP* Unternehmensplattform, *MSB* Manufacturing Service Bus, *SK* Smarter Konnektor, *SPS* Speicherprogrammierbare Steuerung, *EMS* Energiemanagementsystem, *ERP* Enterprise Resource Planning, *MES* Manufacturing Execution System, *IoT* Internet of Things

Broker-Architektur ermöglicht die Anbindung und Ansteuerung von verschiedenen Services, welche über die MP vermittelt werden.

Um eine durchgängige Kommunikation von Energieflexibilität über beide Plattformen sicherzustellen, wurde ein Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM) entwickelt, mit dem Energieflexibilität generisch beschrieben und modelliert werden kann (Schott et al. 2019). Ein EFDM umfasst dabei mehrere Komponenten, die als flexible Leistungen, Energiespeicher und Abhängigkeiten definiert sind. Während die flexible Leistung und der Energiespeicher als Entitätstypen eines klassischen Datenmodells gesehen werden können, ist die Abhängigkeit ein Relationstyp zwischen diversen flexiblen Leistungen. Schlussendlich werden konkrete zeitabhängige Ausprägung einer flexiblen Leistung als Energieflexibilitätsmaßnahme definiert. Mit Hilfe des EFDMs können beispielsweise die energieflexible Planung der Produktion auf PPS-Ebene, aber auch die energieflexible Optimierung der Prozessparameter von Maschinen oder der Produktionsinfrastruktur (z. B. Wärmeversorgung) modelliert werden. Typische Energieflexibilitätsmaßnahmen in der energieflexiblen Fabrik sind beispielsweise der Einsatz von (Energie)Speichern, das Anpassen von Prozessparametern, Änderungen der Auftragsreihenfolge, die Nutzung von energetisch bivalenten Maschinen oder das Verschieben von Auftragsstarts. Ein Praxisbeispiel für Letzteres ist das Verschieben der energieintensiven spanenden Bearbeitung, wobei vorhandene Materiallager als Puffer genutzt werden können, um die Durchlaufzeit nicht zu beeinflussen aus (Verein Deutscher Ingenieure 2020). Weitere Maßnahmenkategorien, deren Einordnung in die Produktion und Praxisbeispiele können aus Verein Deutscher Ingenieure (2020) entnommen werden. Durch das EFDM als gemeinsamer Nenner sind unterschiedliche Ausprägungen von Energieflexibilität vergleich- und optimierbar.

Unternehmensplattform Die UP als modular aufgebautes informations- und kommunikationstechnisches System ermöglicht Unternehmen die Teilnahme am automatisierten Energieflexibilitätshandel über eine standardisierte Schnittstelle. Dabei kann die UP mit anderen Integrationsplattformen verglichen werden, die bereits bestehende Systeme und Services innerhalb der Produktion mit einer offenen Middleware, dem Manufacturing Service Bus (MSB), verbindet und erweiterbar ist (Schel et al. 2018). Durch die offene Gestaltung des MSB können Vendor Lock-In-Effekte vermieden werden. Zusätzlich können noch nicht vorhandene Services aus dem UP-Service Hub bezogen werden (siehe Abb. 2). In der UP finden einerseits Aufnahme, Aggregation, Analyse und Optimierung von Prozess- und Produktionsdaten der Maschinen mithilfe des sogenannten smarten Konnektors statt. Andererseits ermöglicht der smarte Konnektor die energiesynchrone Steuerung und Regelung der Systeme, Anlagen und Komponenten. Die UP gewährleistet damit einen bidirektionalen energieflexiblen Ablauf der Produktion (Schel et al. 2018). Hierzu werden die Energieflexibilitätsmaßnahmen im Unternehmen über einen Service aggregiert und über die Schnittstelle zur MP an den Energiemärkten platziert.

Das Standard-Betriebskonzept sieht vor, dass die UP als private Plattform im Unternehmen betrieben wird, an die alle energetisch relevanten Maschinen, Anlagen und IT-Systeme angebunden werden (Sauer et al. 2019). Für Unternehmensgrup-

pen oder -verbünde ist es möglich, für einzelne Business Units oder Standorte eine eigene UP zu betreiben, der eine unternehmensweite Plattform oder die Plattform eines Dienstleisters übergeordnet ist. Im dritten möglichen Fall wird die UP durch einen Dienstleister öffentlich betrieben. Zu dieser öffentlichen Plattform können sich mehrere Unternehmen verbinden, wobei die Daten für jedes Unternehmen sicher gekapselt werden. Speziell für KMUs oder Unternehmen mit einem relativ geringen Energieverbrauch und nur wenig vorhandener IT-Infrastruktur kann eine öffentliche, also unternehmensexterne, Plattform die Barrieren für die Teilnahme am Energieflexibilitätsmarkt erheblich senken.

Marktplattform Bereits heute nutzen Unternehmen verschiedene, meist individuelle Services um ihre Energie(-flexibilität) auf unterschiedlichen Märkten zu beschaffen bzw. zu vermarkten. Die zentrale MP integriert die drei Gruppen Flexibilitätsbereitsteller (Unternehmen), Flexibilitätsmärkte und unterstützende Services mit dem Ziel, die bestehende komplexe System-/Servicelandschaft transparenter und effizienter und das bestehende Angebot an Services und Märkten für alle Unternehmen nutzbar und attraktiv zu gestalten (Sauer et al. 2019). Als Abgrenzung zu bestehenden Angeboten ist für die MP hervorzuheben, dass diese einen integrierenden Charakter aufweist und somit nicht in Konkurrenz zu existierenden Lösungen steht. Eine einheitliche Kommunikation über das EFD, sowie die Bereitstellung von Schnittstellen, etwa zu Services oder Aggregatoren mit Hilfe einer Service-Broker-Architektur ermöglicht die Integration der drei relevanten Gruppen. Services auf der MP umfassen z.B. Preisprognosen, marktseitige Optimierungen für den wirtschaftlichen Flexibilitätseinsatz im Sinne einer Flexibilitätsbewertung oder Informationsdienste, welche wiederum auch miteinander interagieren können. Für unternehmensinterne und marktseitige Anwendungen können Services dabei über den UP- bzw. MP-Service Hub auf der MP bezogen werden. Um auf lokale Netzengpässe mit Energieflexibilität reagieren zu können, wird zusätzlich ein lokaler Flexibilitätsmarkt implementiert, an dem Netzbetreiber als Flexibilitätsnachfrager und (Industrie-) Unternehmen als Flexibilitätsanbieter zusammenkommen.

Das Zusammenspiel der Einbindung bestehender Lösungen als auch neuer und zukünftiger Services und Märkte wirkt sich durch die Vergleichbarkeit der Angebote auf die Markttransparenz und damit auch positiv auf einen freien Wettbewerb aus (Schott et al. 2019; Rösch et al. 2019). Durch die oben beschriebene Standardisierung wird deren Wechsel zwischen Service-Anbietern erleichtert und der Vendor-Lock-In auf Unternehmensseite, wie es heute teilweise mit sehr individualisierten Lösungen bei Aggregatoren der Fall ist, vermieden (Rösch et al. 2019).

4 Nachhaltigkeit durch IT: Potenziale und Auswirkungen durch den zielgerichteten Einsatz

Der Einsatz von zielgerichteter IT für die energetische Flexibilisierung und Flexibilitätsvermarktung der Industrie bringt einige Auswirkungen mit sich und bietet gleichzeitig enorme Potenziale. Wie bei vielen IT-Projekten sind klassische Projektmanagementherausforderungen und Kompatibilitätsschwierigkeiten zur Integration

der verschiedensten bestehenden IT-Systeme auch mit der Einführung der ESP nicht vollständig ausgeschlossen. Durch den praxisorientierten Ansatz und die durchgängig offene Gestaltung mit der Unterstützung zahlreicher Industriestandards und offener Schnittstellen zielt die Ausrichtung der UP darauf ab, eine Einführung so simpel wie möglich zu gestalten. Die Einbindung der MP ist ebenso simpel gehalten, da keine weitere separate Schnittstelle – neben der vordefinierten Schnittstelle der UP – implementiert werden muss, um Zugang zu Energiemärkten und Services zu erhalten. Darüber hinaus ergeben sich weitere Auswirkungen und Potenziale durch den Einsatz des End-to-End-Ansatzes der ESP, welche aus strukturierten Interviews und der prototypischen praktischen Anwendung der Systeme abgeleitet wurden:

- **Steigende Transparenz:** Die Grundlage hierfür stellt die Nutzung von (digitalen) Technologien, Sensorik und Aktorik, wie sie im Rahmen von IoT oder Industrie 4.0 Verwendung finden, als auch Expertenwissen über Zusammenhänge und dem Verhalten von Produktionsprozessen dar (Sauer et al. 2019). Durch den Einsatz der ESP gewinnen Unternehmen tiefere und neue Einblicke in ihre Produktionsinfrastruktur und ihren Energieeinsatz. Gerade bei der Identifikation von Energieflexibilitätpotenzialen und dem Modellieren von Flexibilitäten im EFDM lassen sich bisher unentdeckte Zusammenhänge von Produktion, Infrastruktur und Organisation ermitteln. Diese Erkenntnisse kommen nicht ausschließlich der Vermarktung und dem Einsatz von Energieflexibilität zu gute. Vielmehr lassen sich Synergien, beispielsweise mit der Produktion oder organisatorischen Abläufen, heben. So können zum Beispiel Ursachen von Lastspitzen, welche großen Einfluss auf die zu entrichtenden Netzentgelte haben, oder ein energetischer Fußabdruck von einzelnen Produkten und deren Wertschöpfungsstufen identifiziert werden, welche wiederum die Energiebezugskosten senken und eine bessere Kalkulation von Herstellungskosten erlauben (Rösch et al. 2019). Zusätzlich wird durch die gewonnene Transparenz des Energieverbrauchs eine Basis für ein betriebliches Energiemanagement geschaffen, welches wiederum im Produkt Lifecycle Management Optimierungspotenzial bietet (Zhang et al. 2017). Zudem schafft die Architektur der ESP durch die Nutzung von markt-, als auch unternehmensübergreifenden Services zur Informationsbeschaffung weitreichende Transparenz für den Einsatz von marktdienlicher, netzdienlicher und systemdienlicher Flexibilität.
- **Vermeidung von Lock-In-Effekten:** Die ESP verhindert sowohl auf der Unternehmens- als auch Marktseite langfristige Vendor-Lock-In-Effekte (Sauer et al. 2019). Auf der UP können weiterhin proprietäre Produkte, die nicht direkt auf die Integration von Flexibilität und zur Erfüllung klassischer Funktionen der Unternehmensplanung und -steuerung ausgelegt sind, unterstützt und integriert werden. Über die MP wird durch die standardisierte Kommunikation und die Vermarktung von Flexibilität der Wettbewerb zwischen den einzelnen (Service-) Anbietern erhöht, da große Hemmschwellen zum Anbieterwechsel entfallen. Durch den erhöhten Wettbewerb ist eine zunehmend steigende Qualität mit verbessertem Preis-Leistungs-Verhältnis zu erwarten, welche dem Flexibilitätsanbieter bei der Vermarktung nochmals entgegenkommt. Zudem ist basierend auf Netzeffekten der Plattformarchitektur mit einem Wachstum der Anzahl und einer Diversifikation der angebotenen Services zu rechnen, sobald eine kritische Masse an Teilnehmern

erreicht ist (Rösch et al. 2019; Evans und Schmalensee 2010). Dieses Wachstum zieht wiederum neue Kunden an und erweitert das Angebot an Energieflexibilität.

- **Energieflexibilität als Geschäftsmodell:** Unternehmen können Energieflexibilität als eigenständiges Geschäftsmodell betrachten (Haupt et al. 2020). Durch den Einsatz von Flexibilität können neben einer Senkung der Strombeschaffungskosten, z. B. durch die Minimierung von Lastspitzen oder der Verschiebung des Stromverbrauchs hin zu Zeiten mit niedrigeren Strompreisen, weitere Erlöse mit dem Einsatz von Flexibilitäten für beispielsweise Systemdienstleistungen erwirtschaftet werden. Weitere Ziele von Energieflexibilität können aus Verein Deutscher Ingenieure (2020) entnommen werden. Die informationstechnische Unterstützung der ESP mit Services auf der UP und MP ermöglicht, die Wirtschaftlichkeit des Flexibilitätsesatzes auf die individuellen Anforderungen und Gegebenheiten anzupassen und zu optimieren.
- **Interoperabilität der ESP:** Die bestehenden IT-Systeme eines Unternehmens sind geschäftskritisch. Bei der Implementierung der ESP wurde besonderes Augenmerk auf eine offene Gestaltung der Schnittstellen unter Verwendung etablierter Standards gelegt, um diese mit geringem Aufwand in bestehende Systemlandschaften zu integrieren. Durch den integrativen Charakter der ESP werden die Funktionalitäten bestehender IT-Systeme weiterhin verwendet und um die Zielgröße Energieflexibilität erweitert. Dadurch bleiben etablierte Prozesse erhalten, wodurch Kosten und Effizienzseinbußen durch Umrüstungen und Mitarbeiterumschulungen vermieden werden. Mit standardisierten Schnittstellen zwischen UP und MP sowie vermittelten Services reduziert sich der Implementierungsaufwand zur Flexibilitätsvermarktung. Folglich reduziert sich die Kopplung und damit die Komplexität von Informationssystemen zum Handel von Energieflexibilität (Sauer et al. 2019). Zudem lassen sich neue innovative Services, welche den Funktionsumfang der ESP erweitern, durch Unternehmen selbst oder durch Independent Software Vendors unabhängig vom Plattformbetreiber entwickeln und anderen Plattformteilnehmern zur Verfügung stellen. Neben den Vorteilen der ESP ist für zukünftige Produktions-IT-Systeme eine offenere Gestaltung zur vollumfänglichen Integration erstrebenswert. Zwar existieren an unterschiedlichen Stellen Teillösungen zur Automatisierung, insbesondere die übergreifende Vernetzung und Aggregation von Daten und Informationen sind jedoch in Unternehmen oftmals mangelhaft (Vogel-Heuser et al. 2017). Da produzierende Unternehmen und Stromnetzbetreiber Experten in ihren Prozessen sind, und zum Aufbau, zur Weiterentwicklung und zum Betrieb von komplexen IT-Lösungen oftmals die notwendigen Kompetenzen und Ressourcen fehlen, müssen IT-Systeme interoperabel und einfach zu integrieren sein (Murthy Balijepalli et al. 2011; Götz et al. 2018).
- **Stärkung der Organisationsstruktur:** Die Auseinandersetzung mit Flexibilität und der Einführung zielgerichteter IT stärkt die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit und das Rollenverständnis in der Organisation – die häufig vorzufindenden Silostrukturen können aufgebrochen werden. Bei den Prozessen der Flexibilitätsvermarktung sind eine Reihe von Abteilungen, von der technischen Instandhaltung bis hin zur Schichtplanung der Produktion, involviert. Das abteilungsübergreifende Zusammenspiel fördert neben dem Ziel der energieflexiblen Fabrik den

unternehmensinternen Austausch und bietet Potenzial für Prozessoptimierungen in jeglicher Hinsicht.

- **Steigerung der Nachhaltigkeit in der Produktion:** Bei produzierenden Industrieunternehmen gewinnt der Begriff der „Nachhaltigkeit“ zunehmend an Bedeutung. Sowohl ökologische, ökonomische als auch soziale Nachhaltigkeit sind Kriterien, an denen Unternehmen gemessen und von Investoren bewertet werden (Unruh et al. 2016; Birkel et al. 2019). Mit dem Einsatz von Energieflexibilität und damit einhergehender IT werden zu großen Teilen die Aspekte ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit adressiert. Durch die Flexibilisierung des Energieverbrauchs können mit der Verschiebung des Verbrauchs hin zu Zeiten mit erhöhtem Aufkommen von Erneuerbaren Energien die Treibhausgasemissionen gesenkt werden. Gleichzeitig sinken die Strombeschaffungskosten durch eine gezielte Ausnutzung von volatilen Strompreisen (Schott et al. 2019). Nichtsdestotrotz werden auch soziale Aspekte der Nachhaltigkeit, wie beispielsweise im zuvor aufgeführten Punkt – Stärkung der Organisationsstruktur – abgedeckt.

5 Auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft: Implikationen für Forschung und Praxis

Zur Erreichung der Klimaziele und der Bewältigung der Herausforderungen des Energie-Trilemmas ist eine höhere Energieflexibilität der Verbraucherseite insbesondere durch Demand-Side-Management ein wichtiges Schlüsselement. Die (energieintensive) Industrie bietet hierfür großes Potenzial, welches bislang noch nicht ausreichend genutzt wird. Anhand der zentralen Forschungsfrage dieses Artikels, wie zielgerichtete IT die Industrie bei der Vermarktung von Energieflexibilität unterstützen kann, wurde ein möglicher Ansatz mit der ESP vorgestellt und Potenziale sowie Auswirkungen identifiziert. Dabei grenzt sich die ESP von bestehenden Lösungen durch ihre umfangreichen Funktionalitäten, und ihre offene, service-orientierte Architektur mit einem End-to-End-Ansatz, der einen durchgängigen Informationsfluss von der Maschine bis zum Energiemarkt ermöglicht, ab.

Der Einsatz der ESP und die damit verbundene Auseinandersetzung mit der Thematik Energieflexibilität bietet für Unternehmen weitaus mehr Potenzial, als sich durch die Vermarktung von Energieflexibilität an sich ergibt. So steigt die Transparenz im Unternehmen in vielerlei Hinsicht durch das Aufdecken neuer technischer und prozessualer Zusammenhänge, welche Basis für Produktionsplanung, -steuerung und Produktkalkulation und folglich einen effizienteren Betrieb bzw. Produktion bietet. Neben der Minimierung von Vendor-Lock-In-Effekten bietet die ESP die Möglichkeit mit der Vermarktung von Energieflexibilität ein zusätzliches, eigenständiges Geschäftsfeld zu erschließen und weitere Erlöse mit bestehender Infrastruktur, neben den eigentlichen wertschöpfenden Produktionsschritten, zu erzielen. Geringe Einstiegshürden aufgrund der Interoperabilität der ESP ermöglichen eine Erweiterung bestehender IT-Systeme um die Komponente Energieflexibilität. Des Weiteren sind durch die interdisziplinäre und interorganisationale Natur des Energieflexibilitätseinsatzes positive Effekte für die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit, sowie eine nachhaltigere Produktion zu erwarten.

Zusätzlich sind durch den einfacheren Zugang zu Vermarktungsmöglichkeiten von Energieflexibilität positive Effekte für das Energiesystem zu erwarten. Mit der ESP wird eine Plattform geschaffen, auf der Angebot und Nachfrage sowohl produzenten- als auch verbraucherseitig zusammenfinden und damit Herausforderungen des Energie-Trilemmas adressieren. So wird die Energiesicherheit durch die Stabilisierung des Stromnetzes in allen drei Ampelphasen des Netzbetriebs über die dynamische Anpassung des Verbrauchs sichergestellt. Durch die Integration von standortspezifischer Energieflexibilität werden (lokale) Netzengpässe vermieden, der Netzausbau sowie ein folgender Kostenanstieg minimiert und somit die Energiegerechtigkeit gefördert. Mit dem Einsatz von Energieflexibilität im Rahmen des steigenden Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung wird ein wichtiger Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit geleistet.

Die Forschungsarbeit rund um die ESP und deren praktische Anwendung zeigt deutlich, dass mit dem Einsatz zielgerichteter IT die Energieflexibilitätsvermarktung in der Industrie ermöglicht, vereinfacht und unterstützt wird. Die ESP ist derzeit noch kein marktreifes Produkt, sodass weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf für einen Roll-Out in der Breite notwendig ist, welchem mit dem Testbetrieb in der energieflexiblen Modellregion Augsburg nachgegangen wird. Zudem müssen bislang nicht im Detail untersuchte (IT-) Sicherheitsaspekte, Fragestellungen um mögliche Betreibermodelle der MP, sowie die Weiterentwicklung der energiewirtschaftlichen Regulatorik, um die Hürden und Eintrittsbarrieren für die Flexibilitätsvermarktung weiter zu minimieren, im Rahmen weiterer Forschung analysiert werden.

Der dynamische Wandel der Energiewirtschaft in Verbindung mit den klassischen Herausforderungen bei der Integration neuer IT bietet weiterhin ein großes Feld für interdisziplinäre Zusammenarbeit und Forschung. Gleichzeitig stellen die Veränderungen des Strommarkts schon jetzt die Anforderung an Unternehmen, sich zukunftsorientiert zu positionieren.

Danksagung Die Autoren bedanken sich zudem herzlich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung und beim Projektträger Jülich (PtJ) für die Betreuung des Kopernikus-Projektes „SynErgie“.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Birkel H, Veile J, Müller J, Hartmann E, Voigt K-I (2019) Development of a risk framework for industry 4.0 in the context of sustainability for established. *Manuf Sustain* 11:384. <https://doi.org/10.3390/su11020384>
- Brysse K, Oreskes N, O'Reilly J, Oppenheimer M (2013) Climate change prediction: erring on the side of least drama? *Glob Environ Change* 23:327–337. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.008>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2016) Klimaschutzplan 2050; Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzplan-2050/>. Zugegriffen: 2. Juli 2020
- de Reuver M, Sørensen C, Basole RC (2018) The digital platform: a research agenda. *Journal of Information Technology* 33:124–135. <https://doi.org/10.1057/s41265-016-0033-3>
- European Commission (2014) Klima- und energiepolitischer Rahmen bis 2030
- Evans DS, Schmalensee R (2010) Failure to launch: critical mass in platform businesses. *Rev Netw Econ*. <https://doi.org/10.2202/1446-9022.1256>
- Götz B, Schel D, Bauer D, Henkel C, Einberger P, Bauernhansl T (2018) Challenges of production micro-services. *Proc CIRP* 67:167–172
- Gunningham N (2013) Managing the energy trilemma: the case of Indonesia. *Energy Policy* 54:184–193. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.018>
- Haupt L, Körner M-F, Schöpf M, Schott P, Fridgen G (2020) Strukturierte Analyse von Nachfrageflexibilität im Stromsystem und Ableitung eines generischen Geschäftsmodells für (stromintensive) Unternehmen. *Z Energiewirtschaft* 44:141–160. <https://doi.org/10.1007/s12398-020-00279-5>
- Helin K, Käiki A, Zakeri B, Lahdelma R, Syri S (2017) Economic potential of industrial demand side management in pulp and paper industry. *Energy* 141:1681–1694. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.075>
- Körner M-F, Bauer D, Keller R, Rösch M, Schlereth A, Simon P, Bauernhansl T, Fridgen G, Reinhart G (2019) Extending the automation pyramid for industrial demand response. *Proc CIRP* 81:998–1003. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.241>
- Lee D, Cheng C-C (2016) Energy savings by energy management systems: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 56:760–777. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.067>
- Murthy Balijepalli VSK, Pradhan V, Khaparde SA (2011) Review of demand response under smart grid paradigm. *ISGT2011-India*. IEEE:236–243. <https://doi.org/10.1109/ISSET-India.2011.6145388>
- Palensky P, Dietrich D (2011) Demand side management; demand response, intelligent energy systems, and smart loads. In: *IEEE transaction on industrial Informatics*, S 381–388
- Rösch M, Bauer D, Haupt L, Keller R, Bauernhansl T, Fridgen G, Reinhart G, Sauer A (2019) Harnessing the full potential of industrial demand-side flexibility: an end-to-end approach connecting machines with markets through service-oriented IT platforms. *Appl Sci* 9:3796. <https://doi.org/10.3390/app9183796>
- Sauer A, Abele E, Buhl HU (Hrsg) (2019) *Energieflexibilität in der deutschen Industrie; Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt – Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung – SynErgie*. Fraunhofer Verlag, Stuttgart
- Schel D, Henkel C, Stock D, Meyer O, Rauhöft G, Einberger P, Stöhr M, Daxer MA, Seidelmann J (2018) Manufacturing service bus: an implementation. *Proc CIRP* 67:179–184. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.196>
- Schott P, Sedlmeir J, Strobel N, Weber T, Fridgen G, Abele E (2019) A generic data model for describing flexibility in power markets. *Energies* 12:1893. <https://doi.org/10.3390/en12101893>
- Seitz P, Abele E, Bank L, Bauernhansl T, Colangelo E, Fridgen G, Schilp J, Schott P, Sedlmeir J, Strobel N, Weber T (2019) IT-based architecture for power market oriented optimization at multiple levels in production processes. *Proc CIRP* 81:618–623. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.165>
- Siano P (2014) Demand response and smart grids—a survey. *Renew Sustain Energy Rev* 30:461–478. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.022>
- Umweltbundesamt (2019) *Entwicklung des Stromverbrauchs nach Sektoren*
- United Nations (2015) *Adoption of the Paris agreement*
- Unruh G, Kiron D, Kruschwitz N, Reeves M, Rubel H, vom Meyer Felde A (2016) Investing for a sustainable future. *MIT Sloan Manage Rev*:1–29. <https://sloanreview.mit.edu/projects/investing-for-a-sustainable-future/>

- Verein Deutscher Ingenieure (2020) VDI 5207 Blatt 1:2020–07; Energieflexible Fabrik – Grundlagen. Beuth, Berlin
- Vogel-Heuser B, Bauernhansl T, ten Hompel M (2017) Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4. Springer, Berlin, Heidelberg
- Wajid U, Bhullar G (2019) Towards interoperability across digital manufacturing platforms. In: Popplewell K, Thoben K-D, Knothe T, Poler R (Hrsg) Enterprise interoperability VIII. Springer, Cham, S 81–91
- Zhang Y, Ren S, Liu Y, Sakao T, Huisingh D (2017) A framework for Big Data driven product lifecycle management. *J Clean Prod* 159:229–240. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.172>
- Zhong RY, Xu X, Klotz E, Newman ST (2017) Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering* 3:616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>