

Diskussionspapier

DEMONSTRATOREN DER ENERGIE- SYNCHRONISATIONS- PLATTFORM

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Demonstratoren der Energiesynchronisationsplattform

Teil der Reihe „Diskussionspapiere V4 – Konzept der Energiesynchronisationsplattform“

Cluster Informations- und Kommunikationstechnik des Kopernikus-Projekts „SynErgie – Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung

Stand Oktober 2021

DOI: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642373>

Dieses Diskussionspapier wird unter den Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0“ (CC BY-SA 4.0) veröffentlicht.¹



¹ Unter der Bedingung, dass Autor sowie die Lizenz als »Lizenz: CC BY-SA 4.0« einschließlich der Lizenz-URL genannt werden, darf dieses Material vervielfältigt, weitergereicht und auf beliebige Weise genutzt werden, auch kommerziell. Auch die Bearbeitung ist erlaubt unter der zusätzlichen Bedingung, dass das neu entstandene Werk als Bearbeitung gekennzeichnet wird und im Falle einer Veröffentlichung unter derselben Lizenz wie dieses Diskussionspapier freigegeben wird (vollständige Lizenzbedingungen: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>)

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV

Am Technologiezentrum 10
86159 Augsburg
www.igcv.fraunhofer.de

Technische Universität Darmstadt

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt
www.ptw.tu-darmstadt.de

Technische Universität München

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Boltzmannstr. 15
85748 Garching b. München
www.iwb.mw.tum.de

Software AG

Uhlandstraße 12
64297 Darmstadt
www.softwareag.com

GEFÖRDERT VOM



AUTOR:INNEN

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer
Can Kaymakci, Andreas Schlereth

Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV

Prof. Dr.-Ing. Johannes Schilp
Vincent Kalchschmid, Stefan Roth

Technische Universität Darmstadt

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold
Martin Lindner

Technische Universität München

Fakultät für Maschinenwesen, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh
Julia Schulz, Dr.-Ing. Susanne Vernim

Software AG

Jens Schimmelpfennig, Christian Winter

VORWORT UND DANKSAGUNG

Diese Publikation ist Teil der Reihe „Diskussionspapiere V4 – Konzept der Energiesynchronisationsplattform“, welche den Arbeitsstand des Clusters III – Informations- und Kommunikationstechnik im Kopernikus-Projekt SynErgie im Oktober 2021 dokumentiert. In dieser vierten Auflage wurde das Diskussionspapier erstmals in fünf thematisch eigenständige Papiere aufgeteilt und um eine Executive Summary ergänzt, damit wir die Informationen zielgerichtet zur Verfügung stellen können. Die Diskussionspapiere basieren auf den vorherigen Auflagen (Reinhart et al. 2020; Reinhart et al. 2018) sowie insbesondere auch auf Bauernhansl et al. (2019). Die Diskussionspapiere sollen zum Diskurs in Forschung und Praxis anregen, um so die erarbeiteten Lösungen kontinuierlich zu verbessern und weiterzuentwickeln.

Folgende Diskussionspapiere sind erschienen und wurden von den genannten Ansprechpersonen koordiniert:

- Executive Summary: Konzept der Energiesynchronisationsplattform – Diskussionspapiere
DOI: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642368>
Jana Köberlein, jana.koeberlein@iqcv.fraunhofer.de
- Referenzarchitektur der Energiesynchronisationsplattform
DOI: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642369>
Sergio Potenciano Menci, sergio.potenciano-menci@uni.lu
- Das Energieflexibilitätsdatenmodell der Energiesynchronisationsplattform
DOI: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642370>
Martin Lindner, m.lindner@ptw.tu-darmstadt.de
- Optimierung auf der Energiesynchronisationsplattform
DOI: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642371>
Lukas Bank, lukas.bank@iqcv.fraunhofer.de
- IT-Sicherheit der Energiesynchronisationsplattform
DOI: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642372>
Andreas Oeder, andreas.oeder@iis.fraunhofer.de
- Demonstratoren der Energiesynchronisationsplattform
DOI: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642373>
Andreas Schlereth, andreas.schlereth@ipa.fraunhofer.de

Verantwortlich für die Inhalte der einzelnen Diskussionspapiere sind die jeweils genannten Autor:innen.

Wir bedanken uns herzlich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung und beim Projektträger Jülich (PtJ) für die Betreuung des Kopernikus-Projektes SynErgie.

Des Weiteren bedanken wir uns bei allen Kolleginnen und Kollegen aus dem SynErgie-Projektconsortium, die mit Ideen und kritischen Anmerkungen zur Entstehung der in diesem Diskussionspapier dargestellten Konzepte beigetragen haben. Insbesondere bedanken wir uns auch bei denen, die an der aktuellen Auflage des Diskussionspapiers nicht mehr selbst beteiligt waren:

Dennis Bauer, Martin Brugger, Volker Bühner, Eduardo Colangelo, Leon Haupt, Fabian Hering, Robert Keller, Benjamin Meyer, Lena Pfeilsticker, Jaroslav Pullmann, Christian Schmidt, Philipp Seitz, Peter Simon und Thomas Weber

Weitere Informationen zu den Kopernikus-Projekten und SynErgie finden Sie auf folgenden Webseiten:



<https://kopernikus-projekte.de>



<https://synergie-projekt.de>

KURZZUSAMMENFASSUNG

Zur Validierung der entwickelten Konzepte und Lösungen sowie der technischen Machbarkeit des automatisierten und standardisierten Energieflexibilitätshandels werden eine Unternehmensplattform und eine Marktplattform sowohl im Forschungsumfeld als auch im industriellen Umfeld erprobt. Darüber hinaus wird die Energiesynchronisationsplattform als Demonstrationsplattform mit innovativen regionalen Marktmechanismen in einem Testbetrieb in der Energieflexiblen Modellregion Augsburg unter Beteiligung der ansässigen Unternehmen und Netzbetreiber getestet. Das vorliegende Diskussionspapier gibt einen Überblick und fasst die aktuellen Entwicklungen. Dazu werden die in der vorigen 3. Auflage des Diskussionspapiers eingeführten Steckbriefe aufgegriffen und inhaltlich erweitert. Es wird dabei jeweils auf die beteiligten Partner, den Mehrwert und die Zielsetzung, die beteiligten Services und Komponenten, den generellen Aufbau, das Konzept und die Architektur sowie die Herausforderungen und Lessons Learned eingegangen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	EINORDNUNG UND MOTIVATION.....	1
1.2	DAS PROJEKT SYNÉRGIE.....	3
1.3	ZIELE UND VISION DER ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM	4
1.4	DEMONSTRATOREN IN SYNÉRGIE.....	5
2	ÜBERSICHT DER DEMONSTRATOREN.....	6
3	DEMONSTRATOREN DER ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM	8
3.1	NUTZUNG VON INHÄRENTEN SPEICHERN UND BIVALENTEN VERBRAUCHERN IN DER GESAMTKOSTENBASIERTEN PRODUKTIONSSTEUERUNG.....	8
3.2	POOLING UND OPTIMIERUNG VON PRODUKTIONSINFRASTRUKTUR.....	12
3.3	REGELKREIS EINER ALUMINIUMELEKTROLYSE MIT DEM FLEXIBILITÄTSEINSATZPLANUNGSTOOL	16
3.4	INTELLIGENTE BETRIEBSFÜHRUNG EINES SCHMELZOFENVERBUNDS.....	20
3.5	ANBINDUNG EXISTIERENDER IOT-PLATTFORMEN AN DIE ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM	24
3.6	KONZEPTIONELLER TESTBETRIEB DER ENERGIEFLEXIBLEN MODELLREGION AUGSBURG.....	28
4	FAZIT UND AUSBLICK.....	32
	LITERATURVERZEICHNIS.....	33

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AG	Arbeitsgruppe
API	Application Programming Interface
DR	Demand Response
EEG	Eneuerbares-Energie-Gesetz
EFDM	Energieflexibilitätsdatenmodell
EFMS	Energieflexibilitätsmanagementservice
ePPS	Energieorientierte Produktionsplanung und - Steuerung
ESP	Energiesynchronisationsplattform
GUI	Graphical User Interface bzw. Grafische Benutzeroberfläche
HTTPS/TLS	HyperText Transfer Protocol Secure/Transport Layer Security
ICS	IoT Connector Service
IIoT	Industrial Internet of Things
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
MES	Manufacturing Executions System
MIBS	Marktinformationsbeschaffungsservice
MP	Marktplattform
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MSB	Manufacturing Service Bus
MW	Megawatt
OPC-UA	Open Platform Communications-Unified Architecture
REST	Representation-State-Transfer-Paradigma
S4P	Software4Production (Partner)
SP	Service Provider
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SQL	Structured Query Language
TD	Thing Description
UP	Unternehmensplattform
VFK	Virtual Fort Knox
VPN	Virtual Private Network
WoT	Web-of-Things

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Struktur des Kopernikus-Projekts SynErgie.....	3
Abbildung 2: Softwarearchitektur des Service Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung	11
Abbildung 3: Physischer Aufbau des Poolingdemonstrators	13
Abbildung 4: Softwarearchitektur des Poolingdemonstrators.....	14
Abbildung 5: Beispiel des Anlagenbetriebs durch den Poolingoptimierungsservice.....	15
Abbildung 6: Blick in eine der drei Elektrolysehallen (Düssel und Hell 2019)	16
Abbildung 7: Grafischer Aufbau des Trimet-Setups.....	18
Abbildung 8: Ablauf des Trimet-Demonstrators	19
Abbildung 9: Systemarchitektur der Öfen und der UP	21
Abbildung 10: Ablaufdiagramm von Bark.....	22
Abbildung 11: Aufbau des Demonstrators	26
Abbildung 12: Modellregion Augsburg mit Anwendungsfällen für den übergeordneten Testbetrieb	30
Abbildung 13: Konzept des Testbetriebs in der Energieflexiblen Modellregion Augsburg	31

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht der Demonstratoren.....	6
Tabelle 2: Anwendungsfall Druckguss	10

1 EINLEITUNG

1.1 Einordnung und Motivation

Die Eindämmung des Klimawandels gilt als eine der größten globalen Herausforderungen im 21. Jahrhundert (United Nations 2015). Der Anstieg der Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche, insbesondere verursacht durch die zunehmende Konzentration von Kohlenstoffdioxid und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre, hat weitreichende Auswirkungen auf Mensch und Umwelt in allen Regionen der Welt. Es ist wissenschaftlicher Konsens, dass aufgrund des durch menschliche Aktivität verursachten Klimawandels extreme Klimaereignisse wie Hitzewellen, starke Regenfälle und Dürren häufiger und extremer werden (IPCC 2021). Diese Zunahme der extremen Wetterereignisse ist bereits heute deutlich spürbar (Mann et al. 2017). Der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) geht davon aus, dass ohne schnelle und umfassende Verringerung der Treibhausgasemissionen die globale Erwärmung von 1,5°C und 2°C im Laufe des 21. Jahrhunderts überschritten werden wird. Mit einer weiteren globalen Erwärmung werden die Veränderungen, die schon heute spürbar sind, weiter zunehmen, wobei diese bereits bei einer Erwärmung um 2°C im Vergleich zu 1,5°C deutlich häufiger und/oder ausgeprägter sein werden (IPCC 2021).

Dies führt zu hoher gesellschaftlicher Aufmerksamkeit für Klimaschutz und übt Druck auf politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger aus, den notwendigen Rahmen für die Eindämmung des Klimawandels zu schaffen sowie die Anstrengungen für den Klimaschutz zu intensivieren. Da die Nutzung fossiler Brennstoffe wie Braunkohle, Steinkohle und Erdöl zur Energieerzeugung signifikante Mengen an Treibhausgasen freisetzt und somit ein Hauptverursacher für die Veränderung des Klimas ist, zielen Maßnahmen insbesondere auf einen nachhaltigen Energiesektor ab. Die Energieerzeugung hat heute mit knapp 29% den größten Anteil der Treibhausgasemissionen in Deutschland (Uba 2021c). Mit dem Pariser Klimaabkommen im Jahr 2015 wurde erstmals ein globaler Rahmen geschaffen, um den Herausforderungen des Klimawandels zu begegnen (United Nations 2015). Der Deutsche Bundestag hat beschlossen, seine Ziele aus dem Klimaschutzplan 2050 mit einer Novelle des Klimaschutzgesetzes noch einmal zu verstärken und strebt an, in Deutschland bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen. Auch die Zwischen- und Sektorenziele wurden im Rahmen dessen weiter angehoben (BMU 2021). Mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) 2021 plant die Bundesregierung, die Erzeugung und den Verbrauch von Strom in Deutschland nun bereits vor 2050 vollständig zu dekarbonisieren (BMWi 2021). Im Jahr 2020 betrug der Anteil am Bruttostromverbrauch in Deutschland bereits 45,4%² und am Bruttoenergieverbrauch 19,6%² (Uba 2021a). Damit sind die Zielwerte für das Jahr 2020 zwar erreicht, dennoch liegt noch ein weiter Weg vor uns. Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) errechnete, dass das Zwischenziel eines Anteils erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von 65% im Jahr 2030 nicht erreicht werden könne. Dies begründet sich insbesondere in der Annahme eines steigenden Stromverbrauchs, getrieben durch die Sektorkopplung, welcher der prognostizierten Stromerzeugung aus Erneuerbaren gegenübergestellt wurde (Gierkink und Sprenger 2020).

Die notwendige Transformation des Energiesystems geht mit großen Herausforderungen einher. Der Anteil von Wind- und Sonnenenergie an der Bruttostrom- bzw. Bruttoenergieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen betrug im Jahr 2020 bereits über 70%² respektive etwa 40%² (Uba 2021b). Aufgrund der Wetterabhängigkeit der Erzeugung von Wind- und Sonnenenergie unterliegt diese erheblichen Schwankungen. Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken sind diese volatilen erneuerbaren Energiequellen nicht regelbar und stellen das Stromnetz vor die Herausforderung,

² Vorläufige Angabe

Stromangebot und -nachfrage in Einklang zu bringen. Um Netzstabilität zu gewährleisten, unternehmen die Netzbetreiber große Anstrengungen, indem sie Reserven vorhalten und diese bei einem geringen Stromdargebot durch Wind und Sonne vorübergehend aktivieren oder bei einer Überlast treibhausgasintensive Kraftwerke abschalten. Zudem werden zusätzlich immer noch beachtliche Mengen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Rahmen von Einspeisemanagement-Maßnahmen abgeregelt (Bundesnetzagentur 2020).

In der Vergangenheit wurden Veränderungen in der Stromnachfrage durch die Steuerung der Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken ausgeglichen (Papaefthymiou et al. 2018). Aufgrund der Prognoseunsicherheit und der wenig beeinflussbaren Natur erneuerbarer Energien ist dieser Mechanismus auf der Stromerzeugungsseite keine ausreichende Option mehr und erhöht den Bedarf an Flexibilität. Diese Entwicklung wird von Papaefthymiou et al. (2018) als "Flexibilitätslücke" beschrieben. Im Allgemeinen stehen vier Optionen zur Verfügung, um die notwendige Flexibilität im System bereitzustellen (Lund et al. 2015; Müller und Möst 2018)

- Übertragung: Flexibilität durch den Ausbau des Stromnetzes
- Speicherung: Flexibilität durch Speicherung
- Sektorkopplung: Flexibilität durch Energieumwandlung zwischen Energiesektoren
- Nachfrage: Flexibilität durch Demand Response (DR)

Aufgrund der hohen Kosten und mangelnden sozialen Akzeptanz des Netzausbaus (Battaglini et al. 2012; Bertsch et al. 2016), der immer noch sehr hohen Kosten für die Stromspeicherung (Lund et al. 2016) und der langsamen Fortschritte bei der Sektorkopplung, wie Power-to-Gas, Elektromobilität, etc. (Papaefthymiou et al. 2018), ist das sogenannte DR zur Anpassung der Stromnachfrage eine wettbewerbsfähige Flexibilitätsoption. DR ist eine Kategorie von Demand Side Management. Über Anreizzahlungen oder variable Strompreise bewirken DR-Maßnahmen Veränderungen der Stromnachfrage (Albadi und El-Saadany 2008; Markle-Huss et al. 2016). Motiviert durch solche Preissignale entscheiden sich teilnehmende Stromverbraucher selbstständig dafür, ihre Stromnachfrage in Zeiträumen von wenigen Minuten bis zu einigen Stunden flexibel zu gestalten (Palensky und Dietrich 2011). Realisiert wird dies durch Maßnahmen der Lasterhöhung, des Lastverzichts und der Lastverschiebung (Jazayeri et al. 2005). Bei der Automatisierung von DR zum sogenannten Automated Demand Response spielt die Informations- und Kommunikationstechnik eine maßgebliche Rolle (Bauernhansl et al. 2019).

Die Industrie stellt weltweit den größten Stromverbraucher dar, wodurch sich für diesen Sektor ein großes (theoretisches) Potenzial für DR ergibt (European Environmental Agency 2020). Das DR-Potenzial kann durch die Industrie zu vergleichsweise niedrigen Grenzkosten bereitgestellt werden (Steurer 2017). Energieintensive Unternehmen nutzen deshalb bereits DR, wenn auch noch in geringem Umfang (Papaefthymiou et al. 2018; Sauer et al. 2019b). Eine flächendeckende Nutzung in der Industrie erfordert einen neuen Ansatz der Zusammenarbeit zwischen Industrie, Stromversorgern und Netzbetreibern, was vor dem Hintergrund zunehmender Unsicherheit und Volatilität in der Stromversorgung neue Mechanismen und Interaktionsmöglichkeiten für eine wettbewerbsfähige Strombeschaffung erfordert. Um der Industrie die aktive Anpassung des Stromverbrauchs durch vereinfachte Partizipation am Stromhandel zu ermöglichen, müssen die technischen und organisatorischen Voraussetzungen geschaffen und mittels eines geeigneten Plattformökosystems umgesetzt werden, an dem alle relevanten Stakeholder beteiligt sind.

Die beschriebene Komplexität der Energiewende und die damit verbundene Herausforderung zum Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage spiegelt sich deshalb auch in der Forschungsthematik der industriellen DR wider (Seifermann et al. 2019). Eine integrierte Betrachtung technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aspekte ist daher unerlässlich. Im Einzelnen sind dies

- die Untersuchung der technischen Flexibilisierungsmöglichkeit von branchenspezifischen Schlüsselproduktionsprozessen der produzierenden Industrie,
- die Betrachtung der technischen Flexibilisierungsmöglichkeit der branchenübergreifenden Produktionsinfrastruktur,
- die Erforschung einer durchgängigen Verbindung zwischen Maschine und Strommarkt sowie deren Befähigung zur automatisierten Entscheidungsfindung über Informations- und Kommunikationstechnik,
- die Analyse und Neugestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen des Markt- und Stromsystems zur Schaffung von wirtschaftlichen Anreizen für industrielles Demand Response,
- die Bestimmung der Höhe des Flexibilitätspotenzials sowie
- die Untersuchung ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Auswirkungen.

1.2 Das Projekt SynErgie

Das Projekt SynErgie ist Teil der Kopernikus-Projekte, eine der größten deutschen Initiativen im Rahmen der Energiewende. 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. 2019a). Die vorab genannten technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekte für DR betrachtet das Projekt SynErgie in einer analogen Struktur (siehe Abbildung 1), wobei die Informations- und Kommunikationstechnik eine Schlüsselrolle zur Verbindung der Produktion und Produktionsinfrastruktur mit dem Markt- und Stromsystem einnimmt.

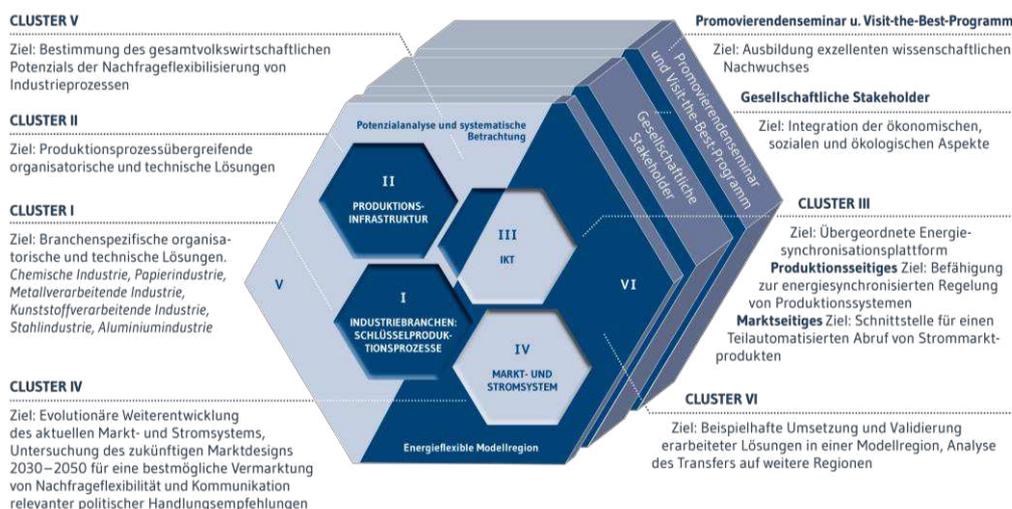


ABBILDUNG 1: STRUKTUR DES KOPERNIKUS-PROJEKTS SYNERGIE

Hierdurch können insbesondere im Bereich des industriellen DR Informationsflüsse auch über Unternehmensgrenzen hinweg definiert und aufgebaut werden. Die klassische Informations- und Kommunikationstechnik in Unternehmen wird also erweitert (Körner et al. 2019), um das Zusammenspiel diverser Optimierungsservices zu koordinieren

(Seitz et al. 2019). Darauf aufbauend wird die Automatisierung und Standardisierung (Schott et al. 2019) des gesamten Prozesses zur Energieflexibilitätsvermarktung möglich (Bauernhansl et al. 2019). Um der Bedeutung logistischer Kennzahlen für produzierende Unternehmen gerecht zu werden, ist es des Weiteren essenziell, Energieflexibilität in die Produktionsplanung und -steuerung und damit in die logistischen Zielgrößen zu integrieren (Pfeilsticker et al. 2019).

1.3 Ziele und Vision der Energiesynchronisationsplattform

Das Ziel der Energiesynchronisationsplattform (ESP) ist es, durch den Aufbau eines Plattformökosystems den gesamten Prozess des Energieflexibilitätshandels von der Maschine bis zum Energiemarkt zu automatisieren und zu standardisieren. Hierfür ist insbesondere auch die Integration von DR in die Produktionsplanung und -steuerung in produzierenden Unternehmen notwendig. Die Vision der ESP sieht deshalb vor, eine branchenübergreifende Plattform zum Energieflexibilitätshandel in Deutschland aufzubauen und damit »die« zentrale Energieflexibilitätsplattform³ zu werden. Die ESP sowie die modular darauf aufbauenden Services zur Flexibilisierung der energieintensiven Industrie und der Flexibilitätsvermarktung ermöglichen der Industrie eine aktive Teilnahme mit möglichst niedrigen Eintrittsbarrieren an den Energiemärkten – einerseits durch eine akkuratere und schnellere Bedarfsplanung (Konsumentenrolle), andererseits durch das Anbieten von Energieflexibilitätspotenzial (Anbieterrolle). Die ESP ermöglicht damit eine ganzheitliche Betrachtung des Stromsystems, um im Sinne von automatisiertem DR eine möglichst effektive und effiziente Synchronisation von Stromangebot und -nachfrage für die Industrie zu realisieren.

Bei der ESP selbst handelt es sich nicht um eine physische Plattform. Sie beschreibt vielmehr als übergeordnetes Konzept die Zusammenarbeit zwischen den Teilplattformen Unternehmensplattform (UP) und Marktplattform (MP), was Rahmenbedingungen, Schnittstellen, Datenmodelle, Stakeholder und Sicherheitsaspekte umfasst und den gesamten Prozess des automatisierten Energieflexibilitätshandels von der Maschine bis zum Energiemarkt abbildet. Abhängig von den Gegebenheiten können die Rollen der Unternehmen jederzeit flexibel angepasst werden (Bauernhansl et al. 2019; Schott et al. 2018; Bauer et al. 2017). Die beschriebenen Eigenschaften bieten einen deutlich höheren Funktionsumfang und ein höheres Informationsangebot als aktuell bestehende Plattformen (Rösch et al. 2019).

Für die ESP wurde ein durchgängiges Konzept, einschließlich des Daten- und Informationsflusses von der Maschine bis zum Energiemarkt, entwickelt (siehe Diskussionspapier „[Referenzarchitektur der Energiesynchronisationsplattform](#)“ (Fridgen et al. 2021)). Hierfür war insbesondere die Identifikation und Entwicklung von Schnittstellen sowie die Definition eines Datenmodells für Energieflexibilität (siehe Diskussionspapier „[Energieflexibilitätsdatenmodell der Energiesynchronisationsplattform](#)“ (Buhl et al. 2021)) erforderlich. Den Kern der ESP stellen Services dar, die Daten verarbeiten, aggregieren, miteinander austauschen und Energieflexibilität bewerten und bereitstellen. Insbesondere wurden für den optimalen Betrieb der Energieflexiblen Fabrik eine Reihe von Optimierungsservices entwickelt (siehe Diskussionspapier „[Optimierung auf der Energiesynchronisationsplattform](#)“ (Schilp et al. 2021)). Das Konzept der ESP sieht dabei Erweiterungsmöglichkeiten für verschiedene Energieträger vor, auch wenn der Fokus eindeutig auf elektrischer Energie liegt. Um den Mehrwert der automatisiert gehandelten Energieflexibilität für Industrieunternehmen sowie Teilnehmer der Energiemärkte aufzuzeigen, werden verschiedene Demonstratoren konzipiert, entwickelt und umgesetzt (siehe Diskussionspapier „[Demonstratoren der Energiesynchronisationsplattform](#)“ (Bauernhansl et al. 2021)). Sie werden im Forschungsumfeld sowie, gemeinsam mit produzierenden Unternehmen und

³ Zentrale Plattform ist an dieser Stelle im Sinne einer Meta-Plattform zu verstehen, welche bestehende Angebote integriert und nicht ablöst.

Netzbetreibern, im industriellen Umfeld und der Energieflexiblen Modellregion Augsburg aufgebaut. IT-Sicherheit muss bei allen Konzeptions- und Umsetzungsschritten eines Systems in adäquatem Maß bedacht werden sowie bei allen logischen und physischen Bestandteilen des Systems entsprechend implementiert und im operativen Betrieb aufrechterhalten werden. Zur Gewährleistung des Sicherheitsniveaus, d. h. insbesondere auch zur Minimierung des Risikos beim Betrieb der Plattformen und aus praktischer Perspektive zur Abwehr von potentiellen Angriffen auf und über die Plattformen, wurden deshalb verschiedene technische und organisatorische Sicherheitsmaßnahmen definiert (siehe Diskussionspapier „[IT-Sicherheit der Energiesynchronisationsplattform](#)“ (Oeder et al. 2021)).

Die technische Umsetzung der ESP bildet die Grundlage für eine echtzeitnahe Synchronisation flexibler Industrieprozesse mit dem volatilen Strom-/Energieangebot und damit volatilen Preisen. Abhängig vom konkreten Ziel der Umsetzung von Energieflexibilität können Unternehmen Einsparungen durch die Reduzierung der Strombeschaffungskosten und/oder der Netzentgelte sowie weiterer Umlagen erzielen oder Erlöse durch das Anbieten von Energieflexibilität für Dritte (bspw. als Systemdienstleistung) generieren. Von zentraler Bedeutung für die Akzeptanz und den Erfolg des erarbeiteten Konzepts sind auf der einen Seite die Wirtschaftlichkeit der Energieflexibilität für die Unternehmen sowie, auf der anderen Seite, die technischen Aspekte des Schutzes sensibler Unternehmensdaten, denen im Rahmen der Konzeption der ESP eine besondere Bedeutung zukommt. Die zentralen Befähiger für eine Akzeptanzhöhung sind die Harmonisierung und Standardisierung eines erforderlichen Datenmodells und einer Schnittstelle zum sicheren Datenaustausch zwischen produzierenden Unternehmen und den Strommärkten.

1.4 Demonstratoren in SynErgie

Zur Validierung der entwickelten Konzepte und Lösungen und der technischen Machbarkeit des automatisierten und standardisierten Energieflexibilitätshandels, werden UP und MP sowohl im Forschungsumfeld als auch im industriellen Umfeld erprobt. Darüber hinaus wird die ESP in Form einer Demonstrationsplattform mit innovativen regionalen Marktmechanismen in einem konzeptionellen Testbetrieb in der Energieflexiblen Modellregion Augsburg unter Beteiligung der ansässigen Unternehmen und Netzbetreiber getestet. Das vorliegende Diskussionspapier gibt einen Überblick und fasst die aktuellen Entwicklungen und Demonstratoren zur IKT zusammen. Dazu werden die in der 3. Auflage des Diskussionspapiers eingeführten Steckbriefe aufgegriffen und inhaltlich erweitert. So können die Ergebnisse detaillierter beschrieben werden und verdeutlichen die Relevanz für SynErgie.

2 ÜBERSICHT DER DEMONSTRATOREN

Die folgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in Entwicklung und Umsetzung befindlichen Demonstratoren sowie den konzeptionellen Testbetrieb in der Energieflexiblen Modellregion Augsburg im Kopernikus-Projekt SynErgie. In Kapitel 3 werden alle Demonstratoren eingehend erläutert. Für eine Übersicht über die eingesetzten Services und Komponenten auf der Energiesynchronisationsplattform (siehe auch die Spalte Bestandteile der ESP) sei an dieser Stelle auf das Diskussionspapier [„Referenzarchitektur der Energiesynchronisationsplattform“](#) verwiesen (Fridgen et al. 2021).

TABELLE 1: ÜBERSICHT DER DEMONSTRATOREN

Name	Kurzfassung	Bestandteile der ESP
Nutzung von inhärenten Speichern und bivalenten Verbrauchern in der gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung	Anhand eines Anwendungsfalls im Forschungsumfeld wird am Demonstrator gezeigt, wie bivalente Verbraucher und inhärente Speicher in Produktionssystemen über ihre Berücksichtigung und gezielte Nutzung in der Produktionsplanung und -steuerung sinnvoll eingesetzt werden können. Zum Nachweis der dadurch erzielbaren Vorteile wird ihre Nutzung durch Anwendung des Service Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung ökonomisch bewertet.	MSB, Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung, Bewertung von Produktionsrisiken, MIBS, Lokale Marktpreisprognosen
Pooling und Optimierung von Produktionsinfrastruktur	Anhand des Demonstrators im Forschungsumfeld kann gezeigt werden, wie Anlagen durch einen gemeinsam optimierten Betrieb in der Produktionsinfrastruktur flexibler und kosteneffizienter zum Einsatz kommen können. Des Weiteren wird aufgezeigt, wie verschiedene Services der Unternehmensplattform miteinander interagieren, um das größtmögliche Potenzial durch den optimierten Anlagenbetrieb zu erreichen.	Poolingoptimierung, Prognoseservice
Regelkreis einer Aluminiuelektrolyse mit dem Flexibilitätseinsatzplanungstool	Der industrielle Demonstrator veranschaulicht an einem einfachen Anwendungsfall mit Trimet Aluminium SE das Zusammenspiel zwischen Unternehmens- und Marktplattform und verdeutlicht dabei die Vorteile, die sich ergeben. Das Tool führt eine energiewirtschaftliche Optimierung durch und	MSB, EFMS, Flexibilitätseinsatzplanungstool, Flex-Desk-Portal, EFDM

	wählt aus verschiedenen Flexibilitätsoptionen diejenige Flexibilität aus, mit der die größten Erlöse erzielt werden können. Das Ergebnis wird dabei wieder an die Unternehmensplattform zurückgespielt und visualisiert.	
Intelligente Betriebsführung eines Schmelzofen-Verbunds	Der industrielle Demonstrator der intelligenten Betriebsführung eines Schmelzofenverbunds soll die energieflexible und optimale Fahrweise der elektrischen Heizelemente ein oder mehrerer bivalenter Öfen darstellen. Dabei sollen durch Services auf der Unternehmensplattform die Lastkurve der Öfen optimiert und Restflexibilitäten identifiziert werden.	MSB, Smarter Konnektor, Evolutionäre Optimierung, ePPS, MIBS, EFDM
Anbindung existierender IoT-Plattformen an die Energiesynchronisationsplattform	In der Praxis finden (Industrial) IoT-Plattformen zunehmend Anwendung. Die damit in Unternehmen bereits vorhandene Konnektivität zu Maschinen und Anlagen kann für eine schnelle Anbindung an die Energiesynchronisationsplattform genutzt werden. Dies wird in diesem Demonstrator im Forschungsumfeld exemplarisch veranschaulicht.	MSB, EFMS, EFDM
Testbetrieb in der Energieflexiblen Modellregion Augsburg	Im konzeptionellen Testbetrieb der Energieflexiblen Modellregion Augsburg wird die Energiesynchronisation im regionalen Kontext unter Einbezug aller relevanten Stakeholder angewandt. Instanzen der Unternehmensplattform werden bei den Energieflexiblen Fabriken implementiert, um über die Marktplattform auf unterschiedliche Services, wie den lokalen Flexibilitätsmarkt, zuzugreifen. Verteilnetzbetreiber haben ebenfalls Zugang zur Marktplattform und den darauf angebotenen Services, um das industrielle Nachfrageflexibilitätsangebot zur regionalen Netzstabilisierung zu nutzen.	Smarter Konnektor, Lokaler Flexibilitätsmarkt, Lokale Marktpreisprognose, Aggregator-Flexibilitätshandel, EFMS, Flexibilitäts-einsatzplanungstool, Nutzenergiebedarfsprognose

3 DEMONSTRATOREN DER ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM

Dieses Kapitel dient der detaillierteren Betrachtung der entwickelten Demonstratoren in SynErgie. Dabei wird jeweils auf die beteiligten Partner, den Mehrwert und Zielsetzung, die beteiligten Services und Komponenten, den generellen Aufbau, das Konzept und die Architektur sowie die Herausforderungen und die Lessons Learned eingegangen.

3.1 Nutzung von inhärenten Speichern und bivalenten Verbrauchern in der gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung

Beteiligte Partner

- Fraunhofer IGCV
- software4production GmbH
- AEP Solutions GmbH

Mehrwert und Zielsetzung

Inhärente Speicher sind in den Produktionsanlagen oder der Produktionsinfrastruktur enthalten und erfordern daher keine ergänzende Investition, wie in beispielsweise Batteriespeicher. Die Einbindung von inhärenten Speichern, wie z.B. vor- und nachgelagerte Materialpuffer, in die Produktionssteuerung erweitert die verfügbaren Flexibilitätspotenziale und so die Möglichkeiten bei der Anpassung an eine volatile Stromerzeugung. Am Fraunhofer IGCV wird ein physisches Modell eines repräsentativen Fertigungsprozesses aufgebaut, welches neben Flexibilitätspotenzialen des Produktionssystems auch inhärente Speicher abbilden kann. Dieses bietet die Möglichkeit, den Service Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung anhand eines realitätsnahen Anwendungsfalls weiterzuentwickeln und hinsichtlich der Anwendbarkeit im betrieblichen Umfeld zu evaluieren sowie gleichzeitig den Einsatz von inhärenten Speichern ökonomisch zu bewerten. Die gesamtkostenorientierte Steuerung weist gegenüber konventionellen Produktionssteuerungssystemen den Vorteil auf, dass kurzfristige Eingriffe in das Produktionssystem anhand ihrer Kostenauswirkungen bewertet werden können und so kostenoptimale Entscheidungen getroffen werden können. Bisher sind Controllingssysteme zur Kostenkalkulation für Analysen und Reporting ausgelegt. Die damit verbundenen Berechnungen sind daher häufig manuell oder teilautomatisiert durchzuführen und erstrecken sich über Stunden oder Tage. Eine moderne Produktionsplanung erfordert dagegen Berechnungen in Echtzeit sowie umfassende Produktkalkulationsfunktionen mit Kopplung der logistischen Planungssysteme.

Der Service bietet daher eine kurzfristige Vorkalkulation von Steuerungseingriffen und kann die Kostenabschätzung wieder an das Manufacturing Execution System (MES) zurückzugeben.

Perspektivisch kann daneben der Service Bewertung von Produktionsrisiken implementiert werden, da er auf eine vergleichbare Infrastruktur der Partner software4production GmbH und AEP Solutions GmbH zugreift. Die Ergänzung des Service soll unerwartete Ereignisse in Form von Risiken abbilden und bewerten, sodass im Vorfeld geeignete Strategien zur Kompensation der Auswirkungen von Risikoereignissen entwickelt werden können.

Ziel des Demonstrators ist die Bereitstellung einer geeigneten Test- und Demonstrationsumgebung mit realen Produktionsprozessen und deren Wechselwirkungen, insbesondere im Hinblick auf inhärente Speicher.

Neben dem physischen Modell wird zusätzlich ein digitaler Zwilling des Demonstrators in Tecnomatix Plant Simulation aufgebaut. Damit sollen wiederum die Abbildungsgenauigkeit und korrekte Funktion des Demonstrators überprüft werden und realistische Szenarien in einer virtuellen Testumgebung vorentwickelt werden.

Beteiligte Services und Komponenten

Die Softwarearchitektur des Service Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung besteht aus einem MES des Partners software4production GmbH und dem Controlling-Tool Solution4 der AEP Solutions GmbH. Die beiden kommerziell verfügbaren Produkte werden durch ein Java-Add-On ergänzt, das neben der Generierung von energiepreisbasierten Restriktionen für das MES auch die Anbindung von weiteren Services der ESP ermöglicht.

Das im Demonstrator abgebildete Produktionssystem wird im S4P-MES auf der Unternehmensplattform (UP) mit allen erforderlichen Stamm- und Betriebsdaten abgebildet. AEP Solutions GmbH bringt die Funktionalitäten zur kurzfristigen Ermittlung der Kostensätze ein und bietet eine Verarbeitung aller Kostensätze des Produktionssystems. Die perspektivische Ergänzung des Service Bewertung von Produktionsrisiken erweitert das Kostenmodell um eine Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von unerwarteten Ereignissen, wie beispielsweise Störungen. Durch die Architektur der Schnittstellen ist es möglich, weitere Services der ESP einzubinden, um beispielsweise Preisprognosen zu berücksichtigen.

Aufbau

Im Forschungsumfeld steht ein Demonstrator zur Verfügung, der es erlaubt, Fertigungsprozessketten flexibel auf Modellebene abzubilden. Der SPS (speicherprogrammierbare Steuerung)-gesteuerte physische Demonstrator setzt sich aus den zwei Teilen „Fertigungsplattform“ und „Montageplattform“ zusammen:

Auf der Fertigungsplattform sind mehrere Komponenten, die Fertigungsstationen und Pufferplätze darstellen, um einen Roboter positioniert. Die Auftragsreihenfolge bzw. der Materialfluss werden entsprechend dem Produktionsplan vom Roboter von Station zu Station gesteuert. Produkte und deren Bauteile werden durch zwei Würfelhälften symbolisiert. Die Montageplattform besteht aus einem Identifikationsmodul zwei Pressenmodulen zur Montage der Würfelhälften sowie dem Modul Lager.

Durch den modularen Aufbau von Fertigungs- und Montageplattform ist der Demonstrator flexibel einsetzbar und zur Abbildung vielfältiger Anwendungsfälle geeignet. Die Darstellung der Fertigungsstationen als Black-Boxen ermöglicht es, jegliche Art der Bearbeitung zu simulieren.

Die gemeinsame Abbildung von Fertigungs- und Montageteil bildet so eine allgemeine Basis für die Simulation von Produktionssystemen zur Demonstration der MES-basierten Services der ESP Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung und Bewertung von Produktionsrisiken sowie von Methoden der Produktionssteuerung im Allgemeinen.

Als exemplarischer Anwendungsfall wird am Demonstrator ein von Experten des Fraunhofer IGCV zusammengestellter fiktiver Aluminium-Druckgussprozess mit zwei Produktvarianten mit unterschiedlichen Dimensionen und drei parallelen Druckgusszellen abgebildet. Das zugrundeliegende Produktionssystem wird den Elementen des Demonstrators

zugeordnet. Die folgende Tabelle 2 zeigt diese Zuordnung von Ressourcen und Prozessschritten beispielhaft für die Montageplattform des Demonstrators. Zwischen den Prozessschritten erforderliche Transportvorgänge werden jeweils vom Roboter des Demonstrators durchgeführt.

TABELLE 2: ANWENDUNGSFALL DRUCKGUSS

	Demonstrator	Ressource	Prozessschritt
	Würfelmagazin	Lager	Rohstoffanlieferung
(Parallel)	Box 1	Induktiver Schmelzofen	Aluminiumleg. aufschmelzen
	Box 2	Gasofen	Aluminiumleg. aufschmelzen
Druckgusszellen (3 Stk.)	Box 3, 5 und 7	Druckgussanlage	Druckguss
	Box 4, 6 und 8	Abschreck-Tauchbecken, Markierungssystem, Stanze	Abschrecken
	Pufferplatz 1-8	Puffer	Ausschleusen
	Box 9	Warmauslagerung	Wärmebehandlung
	Box 10	Richtanlage	Richten
	Box 11 u. 12	Fräsmaschinen 1 und 2	Mechanische Bearbeitung
	Pufferplatz 9-16	Puffer	Puffer
	Magazin 1	Lager	Rohstoffanlieferung
	Magazin 2	Lager	Rohstoffanlieferung

Ein konkretes Beispiel für einen inhärenten Speicher im vorgestellten exemplarischen Produktionssystem ist der induktive Schmelzofen (Box 1 der Fertigungsplattform des Demonstrators). Durch die Regulierung der Auslastung der Schmelzkapazität des Ofens besteht die Möglichkeit, Energieverbräuche zeitlich zu verschieben und Energie in der Schmelze zwischenzuspeichern. Die Modellierung des Prozessschritts Schmelzen mit zwei parallelen Öfen mit den unterschiedlichen Energieträgern Strom und Erdgas bildet den bivalenten Verbrauch ab. Die Pufferplätze ermöglichen durch gezielte Variation der Kapazitätsauslastung die zeitliche Verschiebung und bieten so zusätzliche Flexibilität zur Anpassung des Energiebezugs.

Konzept und Architektur

Die Steuerungsarchitektur des physischen Demonstrators basiert auf insgesamt fünf SPS (eine für die Fertigungsplattform, vier für die Montageplattform) zur Ansteuerung des Roboters und der Aktoren der Fertigungs- und Montageplattform. Die SPS können über OPC-UA-Clients (Open Platform Communications-Unified Architecture) an installierte MES angebunden werden, entweder extern auf Servern oder intern auf dem demonstratoreigenen Haupt-PC. Im Demonstrationsfall des Service Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung liegt hier die Schnittstelle zur Softwarearchitektur des Service und damit auch zum beschriebenen Anwendungsfall. Die OPC-UA-Schnittstelle ermöglicht es, jedes in einem MES über Ressourcen- und Stammdaten hinterlegtes Produktionssystem auf dem Demonstrator abzubilden.

Im konkreten Fall des abgebildeten Service Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung teilt sich die Softwarearchitektur in die Ebene Database mit SQL-Datenservern, den Backend-Server mit dem MES

(software4production GmbH) inklusive Java-Add-On (Fraunhofer IGCV) und Solution4 (AEP Solutions GmbH) sowie eines Frontend für die Anwender auf. Zwischen den Backend-Servern wurde eine REST-Schnittstelle aufgebaut, mittels derer der Datenaustausch durchgeführt werden kann. Das Backend von Solution4 wurde hinsichtlich des Kalkulations- und Deckungsbeitragschemas angepasst und die Schnittstelle anschließend mit Demonstrationsdaten exemplarisch validiert. Im Backend liegt auch die Anbindung des Java-Add-Ons an das MES. Über das Java-Add-On ist via Manufacturing Service Bus (MSB) die Anbindung von weiteren Services der ESP möglich. Konkret wird bei der gesamt-kostenbasierten Produktionssteuerung der Marktinformationsbeschaffungsservice (MIBS) genutzt, um Energiepreis-Prognosedaten vom entsprechenden Service der Marktplattform zu beziehen. Abbildung 2 zeigt eine vereinfachte Übersicht der Softwarearchitektur des Service Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung:

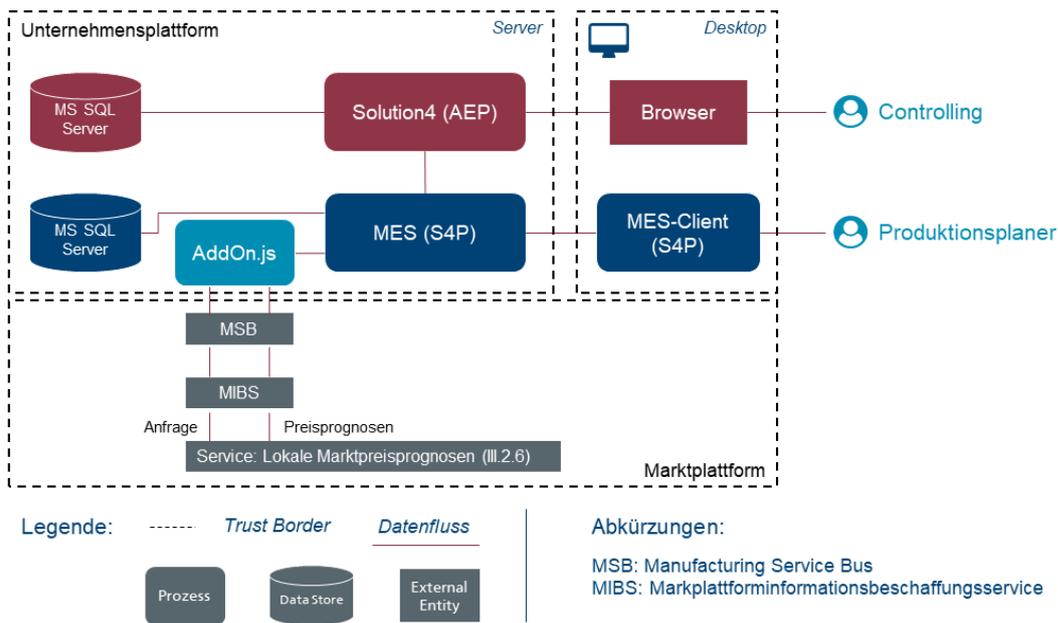


ABBILDUNG 2: SOFTWAREARCHITEKTUR DES SERVICE GESAMTKOSTENBASIERTE PRODUKTIONSSTEUERUNG

Herausforderungen und Lessons Learned

Die Herausforderungen bei der Implementierung der Services werden insbesondere durch die Kombination von Softwarelösungen aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen (Controlling und Produktionssteuerung) sowie die erforderlichen, kurzen Berechnungszeiten durch die Anforderungen der Produktionssteuerung verursacht. Durch den ergänzenden Digitalen Zwilling können in Voruntersuchungen vereinfachte Szenarien erprobt werden, um die Services so für den späteren Betrieb am Demonstrator vorzubereiten. Für die Quantifizierung der Speicherkapazität inhärenter Speicher in Produktionssystemen ist umfassendes Know-how und eine detaillierte physikalische Beschreibung der Prozesse erforderlich, die es ermöglicht, Änderungen logistischer Parameter der Produktionssteuerung einen quantifizierbaren Speichernutzen zuzuordnen.

3.2 Pooling und Optimierung von Produktionsinfrastruktur

Beteiligte Partner

- PTW TU Darmstadt

Mehrwert und Zielsetzung

Anhand des Demonstrators kann gezeigt werden, wie durch einen gemeinsam optimierten Betrieb Anlagen in der Produktionsinfrastruktur flexibler und kosteneffizienter zum Einsatz kommen können. Des Weiteren wird aufgezeigt, wie verschiedene Services der Unternehmensplattform miteinander interagieren, um das größtmögliche Potenzial durch den optimierten Anlagenbetrieb zu erreichen.

Beteiligte Services und Komponenten

Für den Demonstrator kommen die UP-Services Poolingoptimierung sowie der Prognoseservice zum Einsatz (siehe Diskussionspapier „[Optimierung auf der Energiesynchronisationsplattform](#)“ (Schilp et al. 2021)). Dabei werden die einzelnen Services innerhalb der ETA-Fabrik auf einem PC bzw. einem zentralen Server bereitgestellt und verwendet. Des Weiteren werden Maschinenzustände und -schaltbefehle, externe Parameter (z. B. Wetterdaten) sowie historische Daten verwendet, um die Prognosemodelle bzw. die Optimierung durchzuführen.

Aufbau

Die physischen Anlagen des Demonstrators sind Teil der Produktionsinfrastruktur innerhalb der ETA-Fabrik am PTW der TU Darmstadt. Ziel ist es, die optimale Betriebsstrategie für die Gebäudeheizung zu bestimmen. Diese wird mittels zweier Blockheizkraftwerke (CHP) und einem Boiler über das Heißwassernetz der ETA-Fabrik versorgt, welches via Wärmetauscher mit dem Mitteltemperaturnetz verbunden ist (vgl. Abbildung 3).

Hierbei bilden die Blockheizkraftwerke durch ihre Fähigkeit, elektrische Energie und Wärmeenergie zu generieren ein Flexibilitätspotenzial, welches durch die hydraulischen Weichen in den beiden verschiedenen Netzen weiter erhöht wird. Zusätzlich ist in das System als Energiewandler ein Brennwertkessel (Boiler) integriert, welcher ebenfalls als flexible Last fungiert.

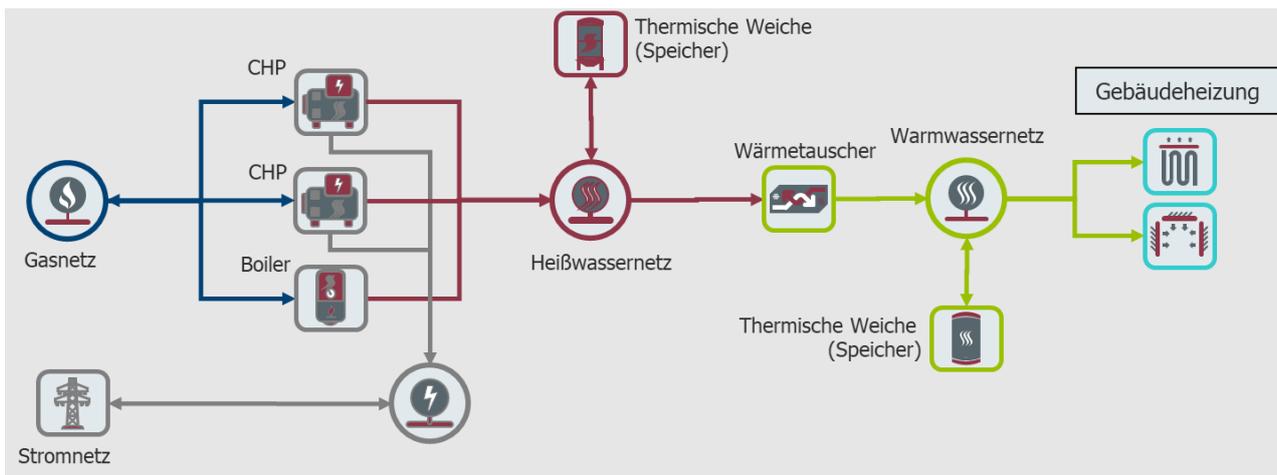
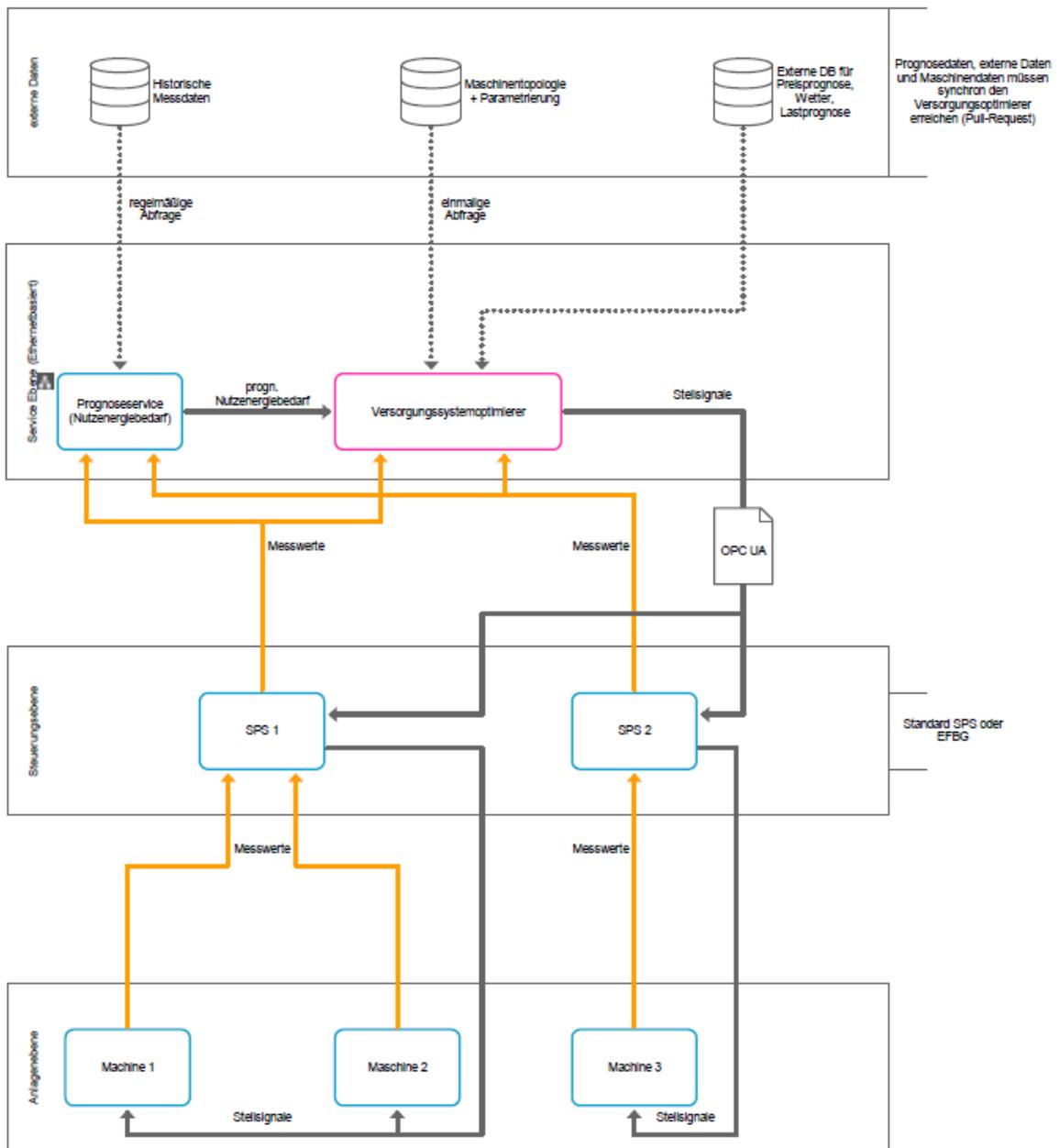


ABBILDUNG 3: PHYSISCHER AUFBAU DES POOLINGDEMONSTRATORS

Konzept und Architektur

Softwareseitig zeigt Abbildung 4 den Informationsfluss zwischen den Anlagen und den verwendeten Services Poolingoptimierer- und Prognoseservice. Zuerst werden Mess- und Zustandswerte von den Anlagen des Systems ausgelesen und auf der SPS ggf. vorverarbeitet. Die vorverarbeiteten Messdaten werden dann vom Prognoseservice bzw. dem Optimierungsservice ausgelesen und intern verarbeitet. Hierbei nutzt der Prognoseservice auch historische Messdaten, um entsprechende Wärmebedarfsprognosen für den Optimierungsservice bereitzustellen. Dieser berechnet dann mit Hilfe eines MILP-Ansatzes (siehe Diskussionspapier „[Optimierung auf der Energiesynchronisationsplattform](#)“ (Schilp et al. 2021)) und auf Basis weiterer Inputdaten (Maschinenparameter, Wetterdaten etc.) die optimale Betriebsstrategie für die Wärmeversorgung des Systems (vgl. Abbildung 3). Diese wird dann in Form von Stellsignalen via OPC-UA-Kommunikation an die maschinenzugehörige SPS (dies kann auch der Smarte Konnektor übernehmen) übermittelt und entsprechend ausgeführt.



Optimierung von Versorgungssystemen in der Produktionsinfrastruktur

ABBILDUNG 4: SOFTWAREARCHITEKTUR DES POOLINGDEMONSTRATORS

Herausforderungen und Lessons Learned

Im Rahmen verschiedener Testbetriebe des Demonstrators konnte die grundlegende Funktionalität der Services Poolingoptimierer zusammen mit dem Prognoseservice aufgezeigt werden. Hierbei waren zur Implementierung hohe Hürden bei dem Aufbau der IKT-Infrastruktur sowie bei der direkten Ansteuerung der Anlagen zu überwinden. Des Weiteren mussten in mehreren Anläufen die Parameter der Optimierungsmodelle schrittweise verbessert werden, um einen sicheren Anlagenbetrieb zu gewährleisten. Die sukzessive Verringerung des Modellfehlers zeigt beispielhaft Abbildung 5, wobei die verbesserte Modellgüte durch die Reduzierung des Optimierungsmodells um ein Verzögerungsglied erreicht werden konnte. Im nächsten Schritt sollen die Services, welche momentan nur gekapselt in der IT-Infrastruktur des PTW laufen, auf der UP integriert werden und via SK den Anlagenzugriff gewährleisten. Darüber hinaus sind weitere Versuche am Demonstrator innerhalb der ETA-Fabrik geplant, mit dem Ziel, die Güte der Modelle und des Optimierers weiter zu verbessern.

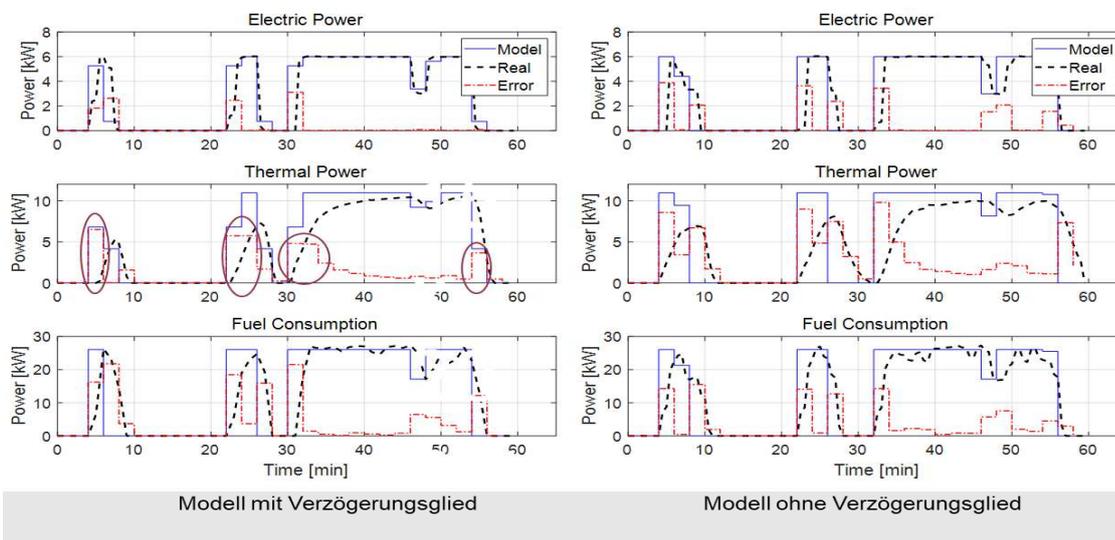


ABBILDUNG 5: BEISPIEL DES ANLAGENBETRIEBS DURCH DEN POOLINGOPTIMIERUNGSSERVICE

3.3 Regelkreis einer Aluminiumelektrolyse mit dem Flexibilitätseinsatzplanungstool

Im Rahmen des Projekts SynErgie arbeitet der Projektpartner Trimet an der sogenannten virtuellen Batterie. Diese entstand aus einer 2018 erfolgten Umrüstung mittels Magnetfeldkompensation (parallel zu einer außerhalb dieses Projektes umgesetzten Maßnahme zur Regelung des thermischen Gleichgewichts der Elektrolysezellen) einer von drei Produktionslinien zur Herstellung von Primäraluminium, um einen flexiblen Betrieb zu ermöglichen. Eine der drei Elektrolysehallen ist in Abbildung 6 zu sehen. Ziel hierbei war es, „...die Nominalleistung der Linie von ca. 90 MW um bis zu 25 % variieren zu können, um je nach Versorgungssituation im Netz bis zu 22,5 MW Leistungsüberschuss aufzunehmen bzw. bei Versorgungsengpässen durch Drosselung der Produktion dem Netz zur Verfügung zu stellen (sogenanntes Load Shifting)“ (Düssel und Hell 2019). Im Rahmen des Demonstrators soll diese Flexibilisierung nun praxisnah aufgezeigt werden.

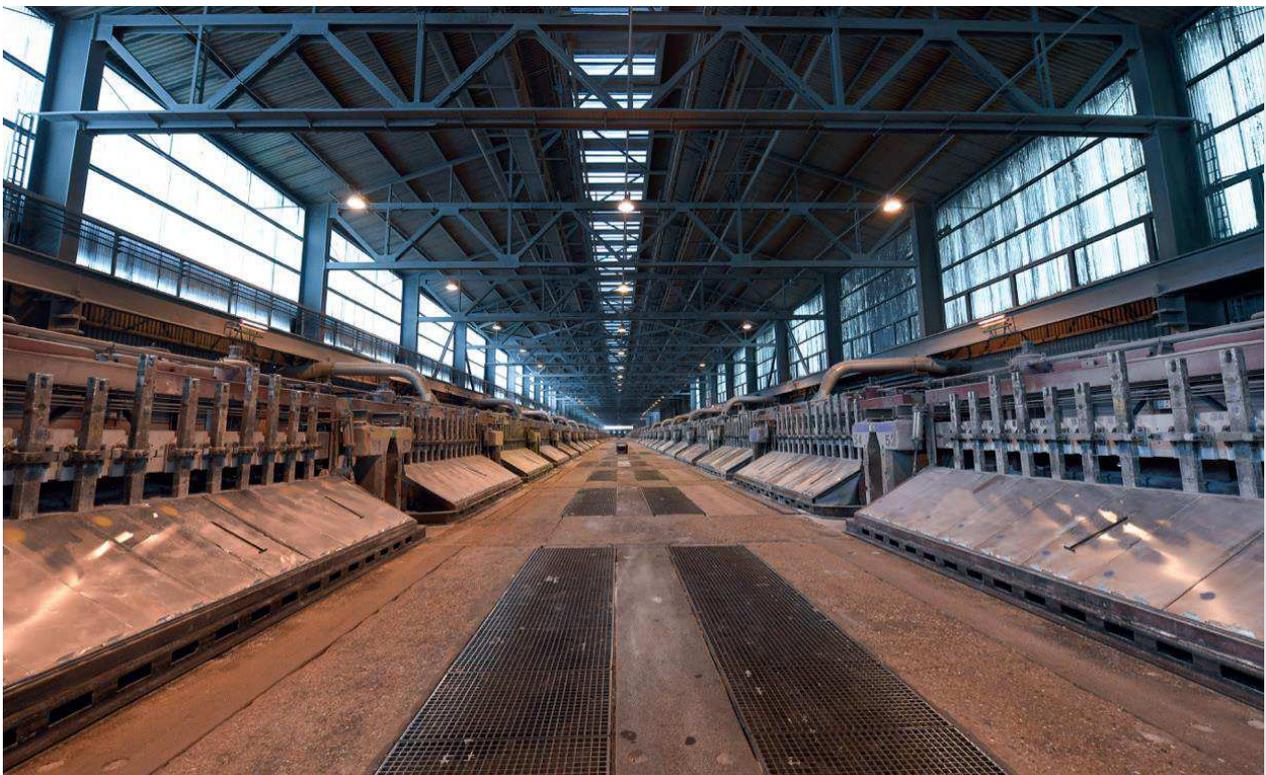


ABBILDUNG 6: BLICK IN EINE DER DREI ELEKTROLYSEHALLEN (DÜSSEL UND HELL 2019)

Beteiligte Partner

- Fraunhofer IPA
- Fraunhofer FIM/FIT
- TRIMET Aluminium SE
- Entelios AG
- Software AG

Mehrwert und Zielsetzung

Durch den Demonstrator kann aufgezeigt werden, wie die energieflexiblen Prozesse von Trimet mit Services auf der Unternehmens- und der Marktplattform funktionieren und in einem Regelkreis interagieren. Dadurch kann der wirtschaftliche Nutzen verdeutlicht werden, der sich sowohl für ein energieintensives Unternehmen als auch den systemverantwortlichen Netzbetreiber durch diese automatisierte Regelung ergibt. Weiter wird das Zusammenspiel mit den entwickelten Services und Komponenten sowie der Unternehmensplattform und der Marktplattform verdeutlicht.

Beteiligte Services und Komponenten

Im Demonstrator kommen auf Seiten der Unternehmensplattform ein Konnektor der Software AG zur Erstellung von Energieflexibilitätsdatenmodellen (EFDM) sowie der Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS) zum Einsatz. Auf Seiten der Marktplattform werden das Flexibilitätseinsatzplanungstool (Flex-Tool) sowie das Flex-Desk-Portal genutzt. Seitens Trimet wird eine virtuelle Maschine auf einem lokalen Server bereitgestellt sowie eine Verbindung zur SQL-Datenbank bzw. Flexys (Trimet-eigenes System zur Verwaltung der Flexibilitäten) und einem Fileserver hergestellt.

Aufbau

Der grafische Aufbau ist in Abbildung 7 dargestellt. Auf einem lokalen Server bei Trimet ist eine virtuelle Maschine eingerichtet, über welche ein von der Software AG entwickelter Flexys Connector installiert ist. Dieser kann auf eine Datenbank von Trimet (Flexys) zugreifen und die energetisch flexibilisierbare Menge auslesen. Außerdem wird über den Zugriff auf einen Fileserver die Nichtverfügbarkeit der Anlage für die kommende Woche ausgelesen. Mittels SSL-Protokoll wird die Verbindung zur Unternehmensplattform bzw. zum Manufacturing Service Bus (MSB) (als Teil der Internet of Things-Plattform Virtual Fort Knox (VFK)) am Fraunhofer IPA etabliert und damit auch der Empfang des EFDMs am EFMS sichergestellt, welcher die Daten an die Marktplattform und damit an den Service Broker und an das Flex-Tool weiterleitet.

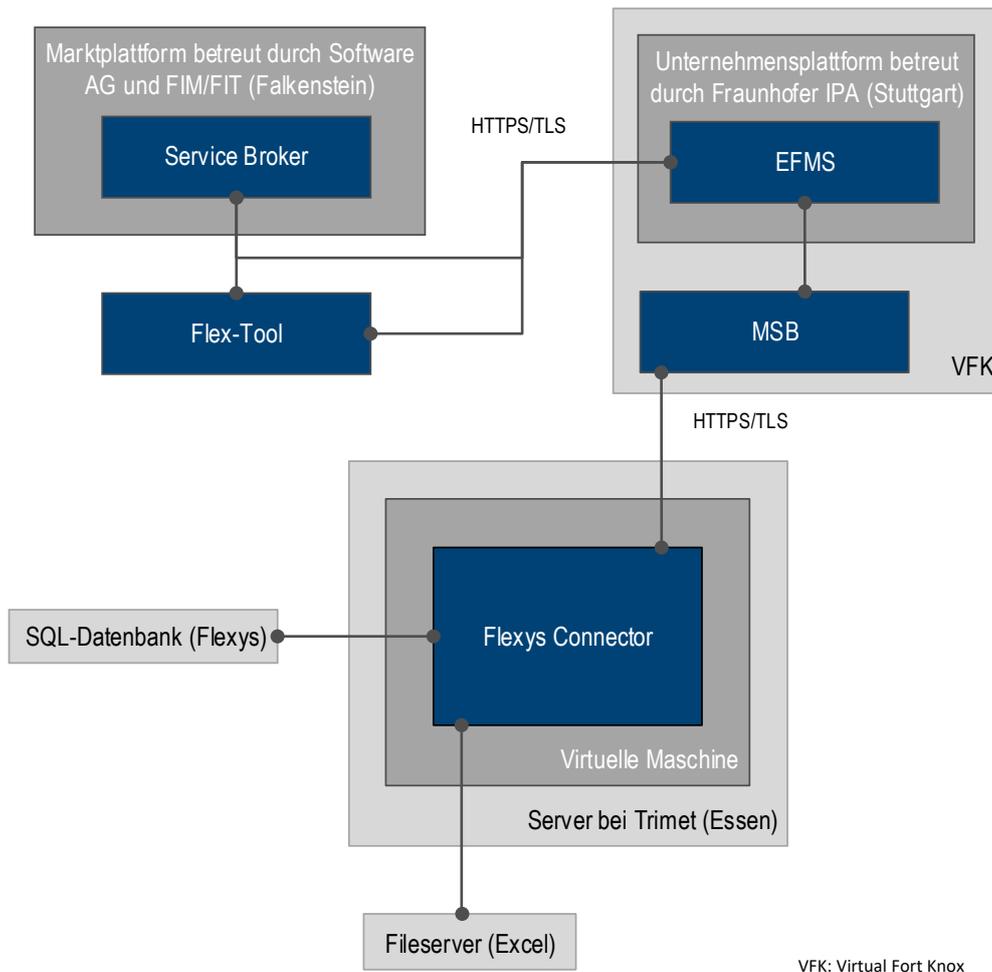


ABBILDUNG 7: GRAFISCHER AUFBAU DES TRIMET-SETUPS

Konzept und Architektur

Der beschriebene Aufbau führt zu dem in Abbildung 8 dargestellten Konzept. Die Produktionsplanung bei Trimet erstellt eine MS-Excel-Liste der geplanten Nichtverfügbarkeit der gesamten Last und stellt sie über ihren Fileserver zur Verfügung. Zusätzlich dazu wird die genaue Flexibilitätsumenge (in MW) bei der Reservierung eines Lastbandes im Trimet-eigenen System Flexys festgelegt und mit der Reservierungsbestätigung speziell für UP und MP an den neu entwickelten Flexys Connector kommuniziert und ausgelesen. Dieser erstellt auf Basis der bereitgestellten Daten ein EFDM und schickt dieses an den EFMS weiter. Es erfolgt die Entscheidung auf der MP für den Zielservice und die Servicebuchung. Das Flex-Tool wird gebucht. Das Flex-Tool wird aufgerufen und das aktualisierte EFDM vom EFMS übermittelt. Im Flex-Tool wird das EFDM optimiert und die optimale Maßnahme bestimmt. Das optimierte EFDM wird wieder an den EFMS der UP übermittelt. Es erfolgt die Entscheidung über den Einsatz der Flexibilität. Dies geschieht durch den Entscheider, welcher die Umsetzung über den EFMS initiiert. Der EFMS propagiert das Signal weiter. Der Flexibilitätseinsatz wird in Form des EFDMs an den Vermarkter kommuniziert (z. B. Aggregator), welcher über die MP gebucht wird. In dieser Rückrichtung wird die vermarktete Flexibilität wieder in Flexys als Reservierung eingetragen. Anschließend erfolgt die (theoretische) Anlagensteuerung, welche hier nur visuell dargestellt wird. Es folgen

nachgelagerte Prozesse des Bilanzkreismanagements (z.B. Aktualisierung des Fahrplans oder der Day-After-Fahrplanmeldung), welche nicht Teil der ESP sind.

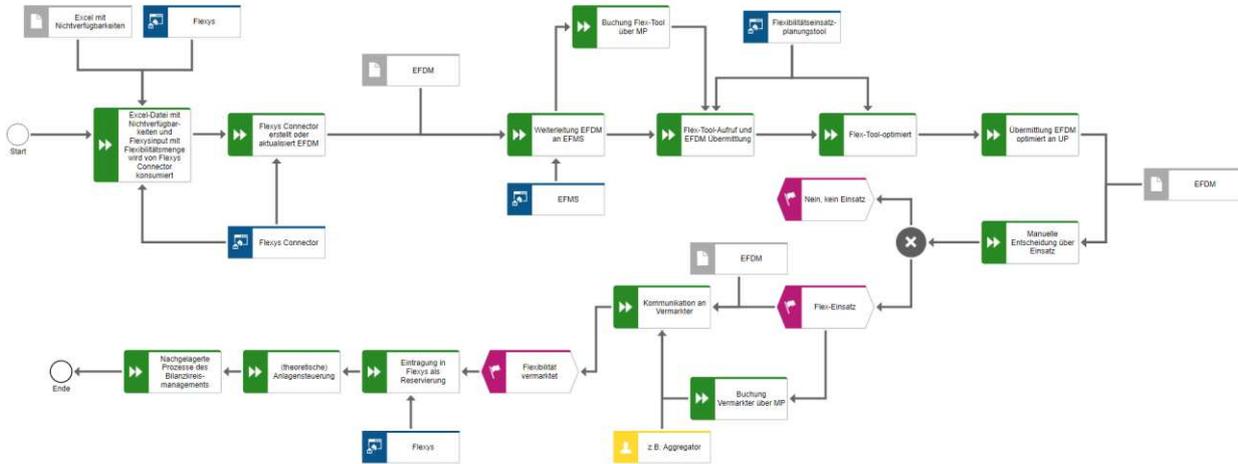


ABBILDUNG 8: ABLAUF DES TRIMET-DEMONSTRATORS

Herausforderungen und Lessons Learned

Die bisherigen Arbeiten zeigten auf, dass sich die Anbindung von Unternehmenssystemen an die Unternehmensplattform herausfordernder gestaltete als angenommen. Ein ausschließlich mittels VPN-Tunnel hergestellter Kommunikationsweg erwies sich als nicht praktikabel und wurde durch den Einsatz von TLS-gesicherten Verbindungen ergänzt. Außerdem war das geführte Ausfüllen des Datenmodells für den weiteren Projektverlauf sehr wichtig. Zuletzt ist das Prozessverständnis für die Zielerreichung von entscheidender Bedeutung.

3.4 Intelligente Betriebsführung eines Schmelzofenverbunds

Die Firma Torun Bark ist ein mittelständisches Unternehmen, welches sich auf die Herstellung von Magnesiumdruckgussteilen für vielfältige Anwendungen konzentriert. Das Produktangebot des Unternehmens umfasst die Bereiche Automobil, Elektronik, Elektrowerkzeuge und Luft- und Raumfahrt. Der hochmoderne Maschinenpark mit Warm- und Kaltkammermaschinen von 40 bis 1.600 Tonnen Schließkraft erlaubt die Fertigung von Bauteilen zwischen 1 Gramm und 5.000 Gramm. Das Druckgussverfahren ist ein Gießverfahren, bei dem die Schmelze unter hohem Druck und hoher Geschwindigkeit in eine metallische Dauerform eingebracht wird. Auf Grundlage der in der ersten Förderphase identifizierten, charakterisierten und bewerteten Energieflexibilitätsmaßnahmen sollen diese durch die in SynErgie entwickelten IT-Werkzeuge umgesetzt werden.

Beteiligte Partner

- Torun Bark
- Fraunhofer IPA
- EEP

Mehrwert und Zielsetzung

Der Demonstrator der intelligenten Betriebsführung eines Schmelzofenverbunds stellt die energieflexible und optimale Fahrweise der elektrischen Heizelemente ein oder mehrerer Öfen dar. Dabei sollen durch Services auf der Unternehmensplattform die Lastkurve der Öfen optimiert und Restflexibilitäten identifiziert werden. Durch das prototypische Platzieren von Flexibilität der Öfen auf den Energie- und Flexibilitätsmärkten (z. B. lokaler Energieflexibilitätsmarkt) kann das Zusammenspiel der Unternehmens- und Marktplattform gezeigt werden. Das Anbieten von Energieflexibilität durch das Energieflexibilitätsdatenmodell ermöglicht eine unabhängige Vermarktung von Energieflexibilität auf unterschiedlichen Energiemärkten wie z. B. dem lokalen Energieflexibilitätsmarkt der Modellregion Augsburg oder dem Intraday-Handel. Sowohl der Eigenverbrauch als auch die Vermarktung von Energieflexibilität können die Kosten für Energie innerhalb des Unternehmens vermindern.

Beteiligte Services und Komponenten

Für den Demonstrator werden unterschiedliche Services aus der UP und MP genutzt. Auf der Unternehmensseite wurde ein Service für die physikalische Modellierung der Ofenprozesse entwickelt, um nach einer energiepreisoptimierten Lastkurve weitere Restflexibilitäten innerhalb eines Temperaturbands zu identifizieren. Der Service der physikalischen Modellierung wurde spezifisch für inhärente thermische Energiespeicher mit konstanten Materialfluss konzipiert und kann auch für andere Prozesse genutzt werden. Zusätzlich soll durch das Flexibilitätseinsatzplanungstool die vorhandene Restflexibilität optimal vermarktet werden. Für die Kommunikation wird hierfür das EFDM genutzt.

Aufbau

In diesem Abschnitt soll der grobe Aufbau der informationstechnischen Systemarchitektur beschrieben werden. In einem ersten Schritt wird die Energieflexibilität mithilfe des Energieflexibilitätsdatenmodells (EFDM) generisch modelliert. Die Informationen für das EFDM sind durch Sensorik erfasst und in das Modell eingearbeitet. Dabei wird für die Anbindung und das Auslesen der Sensordaten der smarte Konnektor genutzt (siehe auch Abbildung 9). Dieser deckt die Anlagenrepräsentation und die Darstellung des EFDMs ab.

Weiter können die ausgelesenen Daten in der Unternehmensplattform mit anderen Services wie der evolutionären Optimierung verbunden werden, um den Flexibilitätsraum in Abhängigkeit von externen Faktoren (organisatorische Restriktionen, Strompreis etc.) einzugrenzen. Es wurden EFDMs und smarte Konnektoren mit historischen Daten von zwei Öfen modelliert. Dabei konnte die Anbindung simuliert werden. Um den Produktionsprozess nicht zu gefährden, ist geplant, zusätzliche Widerstandsthermoelemente zu installieren, welche die Temperatur innerhalb des Ofens messen. Die Leistungsaufnahme wird durch Rogowski-Spulen (Sensoren) erfasst. Sowohl die Leistungsaufnahme als auch die Temperatur werden durch eine Mess-Hardware geloggt und sind mittels eindeutiger IP abrufbar. Diese Daten werden als Anlagenrepräsentation und EFDM erfasst und können von anderen Services (wie bspw. ePPS, MIBS etc.) konsumiert werden.

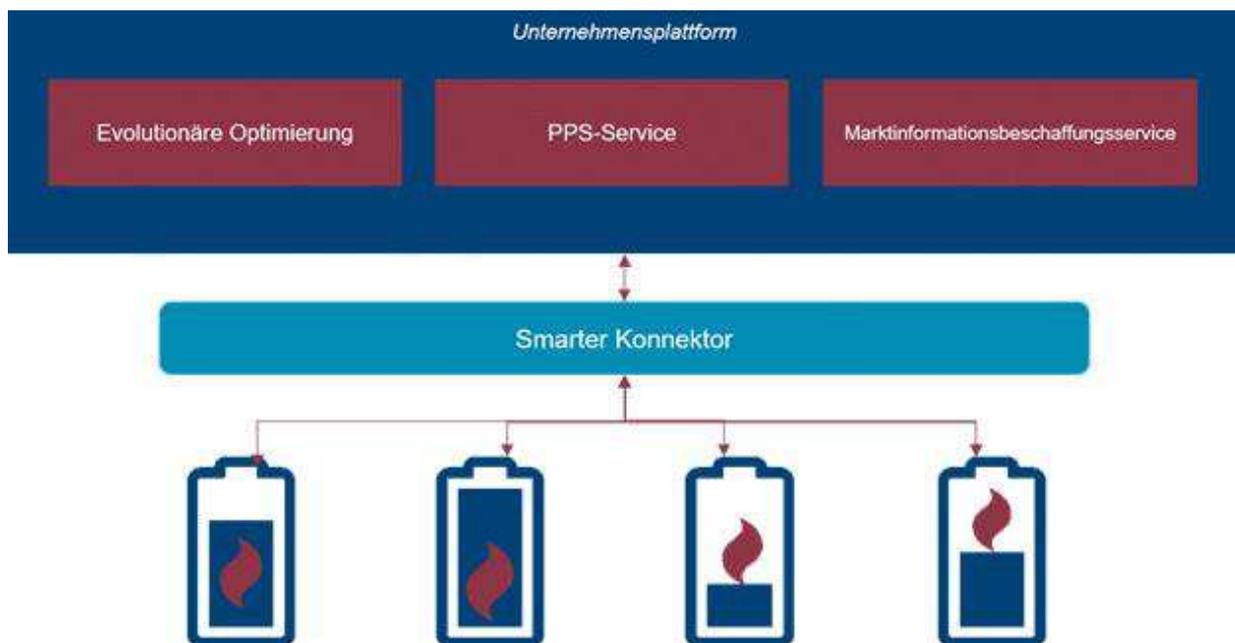


ABBILDUNG 9: SYSTEMARCHITEKTUR DER ÖFEN UND DER UP

Konzept und Architektur

Ziel der Optimierung ist die Bereitstellung eines EFDMs, das eine Energieflexibilisierung der Schmelzöfen in einem gegebenen Zeitintervall ermöglicht. Dabei ist es erforderlich, die unterschiedlichen Öfen als Gesamtsystem zu betrachten und die einzelnen Öfen nur unter Berücksichtigung der Restriktionen der anderen Öfen zu optimieren. Für

ein EFDM der Öfen kommen vor allem zwei unterschiedliche Eingangsparameter des Prozesses in Betracht. Zum einen kann der Prozessparameter „Temperatur“ des Ofens in einem Temperaturband geregelt werden. Hierzu wird durch die elektrischen Heizelemente dem Ofen Energie zugeführt. Die Prozessparameteränderung hinsichtlich der Temperatur ist auch während der Produktion möglich. Zusätzlich existieren Maschinenlaufzeiten, die für die Flexibilisierung der Öfen genutzt werden können. In Abbildung 10 ist der beispielhafte Prozess zur Identifikation von Restflexibilitäten nach einer energieorientierten Optimierung der Lastkurve eines Ofens dargestellt.

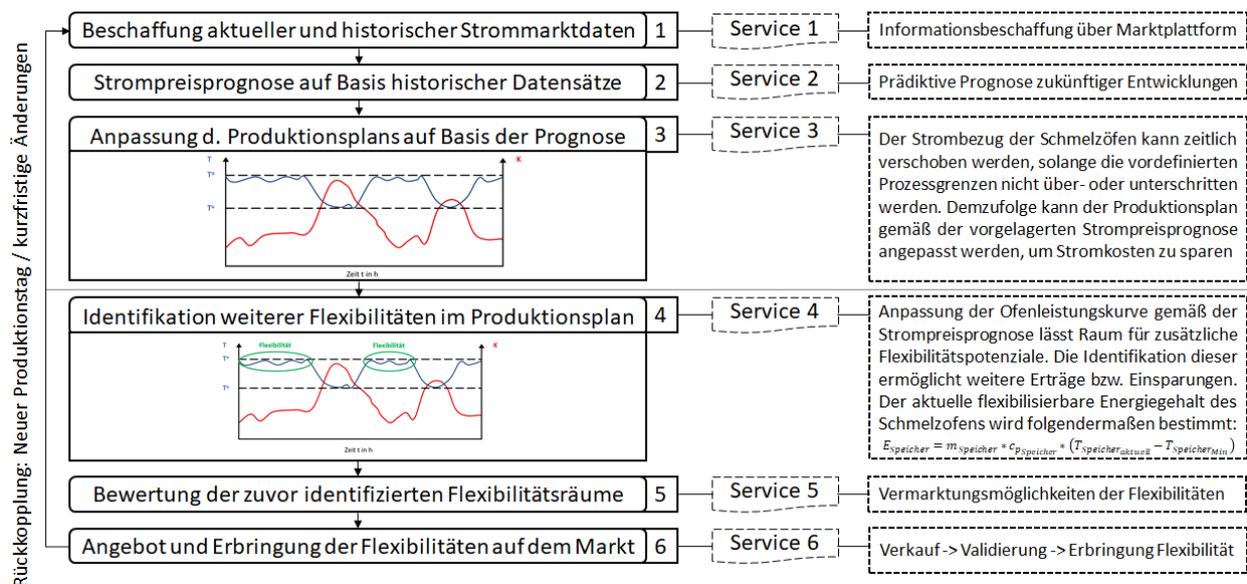


ABBILDUNG 10: ABLAUFDIAGRAMM VON BARK

Im Folgenden wird der konzeptionelle und beispielhafte Prozess (siehe Abbildung 10) der Optimierung und Bereitstellung der Flexibilität beschrieben:

1. Informationsbeschaffung über Marktplattform (Marktplatzinformationsbeschaffungsservice)
2. Prognose zukünftiger Entwicklungen (Lastprognose/Produktionsplan)
3. Der Strombezug der Schmelzöfen kann zeitlich verschoben werden, solange die vordefinierten Prozessgrenzen nicht über- oder unterschritten werden. Demzufolge kann der Produktionsplan gemäß der vorgelagerten Strompreisprognose angepasst werden, um Stromkosten zu sparen
4. Die Anpassung der Ofenleistungskurve gemäß der Strompreisprognose lässt Raum für zusätzliche Flexibilitätpotenziale. Ihre Identifikation ermöglicht weitere Erträge bzw. Einsparungen. Der aktuelle flexibilisierbare Energiegehalt des Schmelzofens wird durch eine eindimensionale physikalische Modellierung der Temperatur in Abhängigkeit der Leistungszufuhr berechnet. Ausgangsparameter der Optimierung ist ein EFDM, das nun auf die Marktplattform übertragen werden kann
5. Durch den Service Flexibilitätseinsatzplanungstool auf der Marktplattform kann die ideale Vermarktungsmöglichkeit für das EFDM identifiziert werden.
6. Ist eine profitable Vermarktungsoption gefunden, kann die Energieflexibilität auf dem Markt angeboten und vom jeweiligen Nachfrager eingekauft werden.

Herausforderungen und Lessons Learned

Eine der großen Herausforderungen bei der Flexibilisierung von Produktionsprozessen ist die Anbindung der unterschiedlichen Datenquellen und Sensoren an die Unternehmensplattform. Hier sollten kontinuierliche Absprachen mit anderen Dienstleistern und Anbietern von Services gemacht werden, um mögliche Abhängigkeiten erkennen zu können. Somit sind die meisten Flexibilisierungsprojekte bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) eher Digitalisierungsprojekte, da oftmals die Verarbeitung von Daten aus der Feldebene im Vordergrund steht. Für die Identifikation und Bewertung der schon vorhandenen IT-Systeme und der jeweiligen Prozesse sollte für die Kommunikation und den Austausch mehr Zeit eingeplant werden. Außerdem sollten vor Projektstart notwendige Rollen der einzelnen Mitarbeitenden und auch Regeltermine festgelegt werden. Die finanzielle und zeitliche Planung zur Beschaffung von notwendiger Sensorik und Anbindung von externen Anbietern ist in den meisten Fällen von KMU erforderlich.

3.5 Anbindung existierender IoT-Plattformen an die Energiesynchronisationsplattform

Beteiligte Partner

- PTW
- Software AG

Mehrwert und Zielsetzung

In SynErgie wurde in der Vergangenheit betrachtet, wie Maschinen und Anlagen über Instanzen des Smarten Konnektors an die Unternehmensplattform angebunden werden können. In der Praxis wird die Konnektivität zu Maschinen und Anlagen zunehmend über Industrial-IoT-Plattformen (IIoT-Plattformen)⁴ umgesetzt (Goodness et al. 2020). Im aktuellen Projektverlauf wird daher untersucht, wie diese – als Ergänzung zu den Konnektivitätsmechanismen der Smarten Konnektoren – direkt mit der Unternehmensplattform verknüpft werden können. Dabei sollen standardisierte Kommunikationsprotokolle und Beschreibungsformate genutzt werden, um eine herstellerunabhängige Konnektivität der ESP zu erreichen und zukünftig eine Vielzahl von IIoT-Plattformen an die ESP anbinden zu können

Neben der Konzeption und prototypischen Implementierung erfolgt eine Erprobung der Lösungsansätze in Form eines Demonstrators in der ETA-Fabrik. Um die Anbindung technisch zu erproben und die Ergebnisse zu demonstrieren, wurde in der ETA-Fabrik eine On-Premises-Installation der kommerziellen IIoT-Plattform Cumulocity installiert sowie ein Use Case zur Validierung des Kommunikationskonzepts definiert.

Beteiligte Services und Komponenten

Die Unternehmensplattform wurde um einen IoT Connector Service (ICS) ergänzt, der in der Lage ist, registrierte Geräte einer IIoT-Plattform zu erkennen (Discovery), zur Bestimmung von Flexibilitätspotenzialen relevante Geräteinformationen auszulesen und für die Erbringung von Flexibilitätsmaßnahmen notwendige Signale an die Geräte zu übermitteln. Ausgelesene Geräteinformationen werden über den MSB kommuniziert und können von UP-Services zur Erstellung von EFDMs genutzt werden. Diese werden – wie bspw. beim Smarten Konnektor – an einen EFMS gesendet. Zu erbringende Flexibilitätsmaßnahmen werden über den MSB an den ICS übermittelt, der die Erbringung, d. h. Ausführung, der Flexibilitätsmaßnahme über die angebundene IIoT-Plattform einleitet. Als exemplarische IIoT-Plattform fungiert eine Instanz von Cumulocity.

⁴ vgl. bspw. <https://bdi.eu/publikation/news/deutsche-digitale-b2b-plattformen/>

Aufbau

Die Anbindung von IIoT-Plattformen an die Unternehmensplattform wird am Klimaraum der ETA-Fabrik demonstriert. Hier kann durch Leistungsanpassung der Kälteanlage im Klimaraum Flexibilität bereitgestellt, vermarktet und bedarfsgerecht abgerufen werden. Dazu wird eine IIoT-Plattform (Cumulocity Edge) lokal betrieben und mit der Steuerung der Kälteanlage verbunden. Die Anbindung der Anlage an die IIoT-Plattform erfolgt dabei über das Kommunikationsprotokoll OPC-UA.

Für den Austausch von Informationen zwischen IIoT-Plattform und dem ICS der Unternehmensplattform wurde der herstellerunabhängige Web-of-Things(WoT)-Standard des W3C⁵ ausgewählt. Darin wird u. a. ein Schema für die Beschreibung von IoT-Objekten inklusive deren Eigenschaften, Interaktionsmöglichkeiten und Ereignisse als sogenannte WoT Thing Description (WoT TD)⁶ spezifiziert.

Im Rahmen des Demonstrators erstellt die IIoT-Plattform eine entsprechende standardisierte Beschreibung der Kälteanlage und stellt diese zum Abruf über einen Service bereit. Der WoT-fähige ICS der Unternehmensplattform verbindet sich mit der IIoT-Plattform und ermittelt alle bereitgestellten Gerätespezifikationen. Diese können vom ICS interpretiert und anschließend zur Herstellung der Konnektivität genutzt werden.

Konzept und Architektur

Die Anbindung der Maschinen an die IIoT-Plattform erfolgt über das Kommunikationsprotokoll OPC-UA. Dabei verbindet sich die IIoT-Plattform mit dem in der ETA-Fabrik betriebenen OPC-UA-Server und erstellt entsprechende Gerätemodelle in der IIoT-Plattform (siehe Abbildung 11).

⁵ <https://www.w3.org/WoT/>

⁶ <https://w3c.github.io/wot-thing-description/>

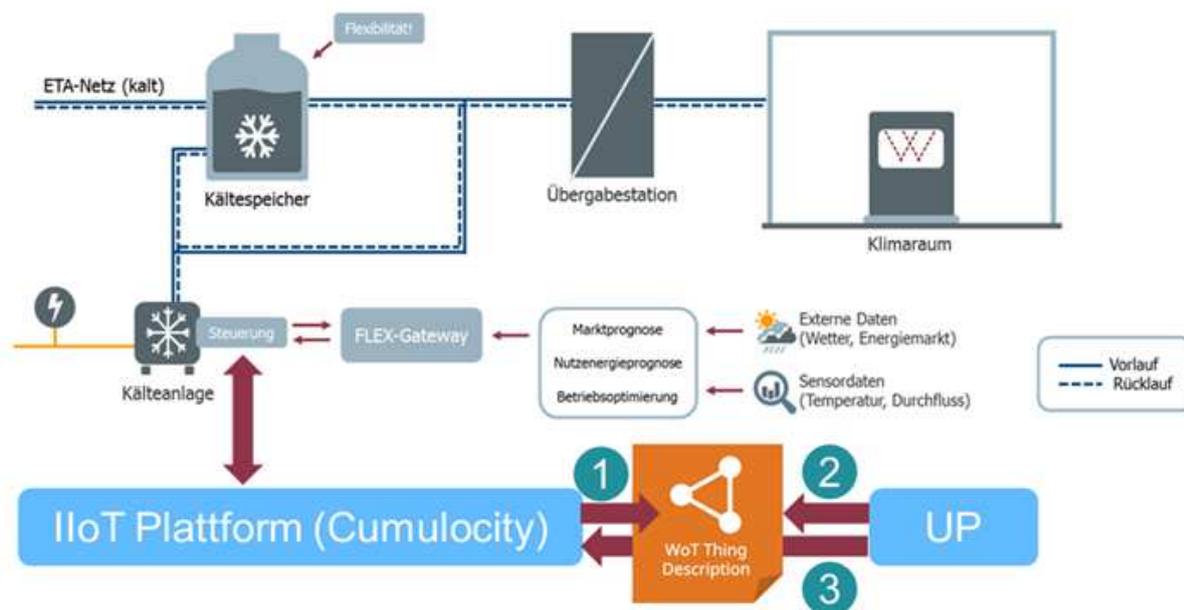


ABBILDUNG 11: AUFBAU DES DEMONSTRATORS

1. Erstellen und Exponieren von Gerätemodellen

Basierend auf den erzeugten Gerätemodellen erstellt ein Service der IloT-Plattform entsprechende WoT TDs. Die WoT TDs beschreiben insbesondere auch, wie Sensorwerte repräsentiert werden und abgerufen werden können und wie Aktionen der Geräte aufgerufen werden können. Dabei werden nicht die direkten Geräteschnittstellen exponiert, sondern stellvertretende, standardisierte und zugriffsbeschränkte Schnittstellen der IloT-Plattform. Damit die WoT TDs gefunden und genutzt werden können, werden diese über einen Service zum Abruf bereitgestellt.

2. Interpretation der Gerätemodelle

Die UP erhält über die in einer WoT-TD genannten Schnittstellen Zugriff auf die Gerätemodelle der IloT-Plattform in dem standardisierten Format der WoT-TD. Die darin beschriebenen Eigenschaften, Ereignisse und Steuerungsmöglichkeiten werden in der Unternehmensplattform zur automatischen Konfiguration eines Adapters genutzt, der anschließend die Verbindung zum Gerät bzw. dessen Repräsentation auf der IloT-Plattform über die beschriebenen Interaktionsmöglichkeiten herstellt.

3. Interaktion UP – IloT-Plattform

Der konfigurierte Adapter stellt über die beschriebenen Kommunikationsprotokolle die Verbindung zu den Geräten her. Dabei können Daten gelesen, Ereignisse abonniert und Operationen der Geräte ausgeführt werden. Die bezogenen Daten können in der Unternehmensplattform zur Erstellung von EFDM genutzt werden, während die Ausführung von Operationen bspw. die Erbringung der Flexibilität auslösen kann.

Im Demonstrator erfolgt die Kommunikation zwischen der IloT-Plattform und der Unternehmensplattform via REST API (HTTPs) und MQTT.

Herausforderungen und Lessons Learned

Über die Abstraktion der anbieterspezifischen Gerätemodelle durch den W3C-WoT-Standard ist es möglich, die Unternehmensplattform mit geringem Aufwand an bestehende IloT-Plattforminstallationen anzubinden und damit die

Inbetriebnahme der Unternehmensplattform zu beschleunigen. In der folgenden Erprobungsphase sollen weitere Erfahrungen gesammelt und Lessons Learned abgeleitet werden.

3.6 Konzeptioneller Testbetrieb der Energieflexiblen Modellregion Augsburg

In der Energieflexiblen Modellregion Augsburg greifen Vorausbildung, Pilotanwendung und Transfer eng ineinander, um eine ganzheitliche Umsetzung industrieller Nachfrageflexibilität zu ermöglichen und das Konzept der Energiesynchronisationsplattform regional gebündelt zu demonstrieren und zu evaluieren. Neben Industrievertretern zahlreicher Branchen sind auch Netzbetreiber beteiligt, um auf lokaler Ebene einen größtenteils automatisierten und standardisierten Energieflexibilitätshandel zu erproben. Im konzeptionellen Testbetrieb in der Modellregion Augsburg wird anhand verschiedener Anwendungsfälle, die unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten von Flexibilität im regionalen Kontext umfassen, die Energiesynchronisation hinsichtlich der technischen, regulatorischen und ökonomischen Umsetzbarkeit getestet. Dabei wird das Zusammenspiel der beteiligten Stakeholder – insbesondere von Netzbetreibern und Industrieunternehmen – auf der ESP erprobt.

Beteiligte Partner

- Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), Technische Universität München
- Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement und Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT
- Fraunhofer IGCV
- Fraunhofer IPA
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE)
- Forschungswende
- Schoeller Technocell
- Alois Müller
- AGCO Fendt
- Steinbacher Consult
- LVN
- Software AG

Mehrwert und Zielsetzung

Durch den kontinuierlichen Zubau von dezentralen, erneuerbaren Stromerzeugungseinheiten in Kombination mit der historisch hierarchisch ausgelegten Netzstruktur steigt die Gefahr von Netzengpässen im Verteilnetz. Um diesen Netzengpässen zu begegnen, bedarf es auch auf regionaler Ebene einer Nachfrageflexibilität, die netztopologisch nah an den auftretenden Netzengpässen verfügbar ist. Das Ziel des konzeptionellen Testbetriebs in der Modellregion Augsburg ist es, zu zeigen, dass verbrauchsseitige Energieflexibilität auch regional unter Einbezug aller relevanten Stakeholder umsetzbar ist. In den Energieflexiblen Fabriken der Modellregion Augsburg wird hierzu jeweils eine Instanz der Unternehmensplattform implementiert. Über einen Zugang zur Marktplattform können die Unternehmen Services, wie den lokalen Flexibilitätsmarkt, aufrufen und beispielsweise Angebote inserieren, welche durch den Verteilnetzbetreiber zur Netzstabilisierung nachgefragt und aufgerufen werden können. Basierend auf dem konzeptionellen Testbetrieb werden Potenziale zur Weiterentwicklung und Verbesserung des Stromsystems auf organisatorischer und technischer Ebene identifiziert und auf ihre Übertragbarkeit und Skalierbarkeit erprobt.

Beteiligte Services und Komponenten

Für die am konzeptionellen Testbetrieb beteiligten Industriepartner wurde in einem schrittweisen Vorgehen zum Setup, zur Registrierung, zur Integration und zur Einrichtung der Unternehmensplattform und der Marktplattform eine Instanz der Unternehmensplattform in Betrieb genommen und der Zugang zur Marktplattform ermöglicht. Auch ein beteiligter Netzbetreiber konnte an die Marktplattform angebunden werden. Für den Testbetrieb werden unter anderem folgende Services und Komponenten der ESP relevant:

- Smarter Konnektor und Grafische Benutzeroberfläche (GUI) zur Abbildung von Flexibilitäten
- Lokaler Flexibilitätsmarkt sowie lokale Marktpreisprognose zur Vermarktung regionaler Flexibilitätspotenziale
- Aggregator-Flexibilitätshandel zur Nutzung verteilter und kleinerer Flexibilitätspotenziale
- Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS)
- Flexibilitätseinsatzplanungstool
- Nutzenergiebedarfsprognose

Aufbau

Der konzeptionelle Testbetrieb in der Modellregion behandelt die übergeordnete Frage, wie produzierende Unternehmen ihre Energieflexibilität regional vermarkten können und umfasst die folgenden Themenfelder:

- Netz vs. Markt
- Regulatorik
- Betriebliche Organisation
- Sektorenkopplung
- Nicht-energieintensive Unternehmen

Die unterschiedlichen Anwendungsfälle adressieren eines oder mehrere der Themenfelder. Zu jedem Anwendungsfall werden Prozessanalysen der aktuell vorherrschenden Ist-Situation im Unternehmen und der Soll-Situation nach Einsatz der SynErgie-Energiesynchronisationsplattform durchgeführt (Abbildung 12).



ABBILDUNG 12: MODELLREGION AUGSBURG MIT ANWENDUNGSFÄLLEN FÜR DEN ÜBERGEORDNETEN TESTBETRIEB

Konzept und Architektur

Abbildung 13 beschreibt den Aufbau der ESP sowie den Ablauf des Testbetriebs aus Sicht der Flexibilitätsanbieter für alle betrachteten Anwendungsfälle in der Energieflexiblen Modellregion Augsburg. Die Flexibilitätsräume der Industrieunternehmen werden mit Hilfe von Energieflexibilitätsdatenmodellen (EFDM) automatisiert über einen unternehmensindividuellen smarten Konnektor oder manuell über eine GUI abgebildet, um im Anschluss auf dem Markt zum lokalen Flexibilitätshandel ein Flexibilitätsangebot zu inserieren oder den Aggregator-Service anzuwenden. Im Fall eines geplanten (z. B. durch Wartungsarbeiten) oder ungeplanten (z. B. durch einen Störfall) Netzengpasses kann der Netzbetreiber eines der inserierten Flexibilitätsangebote aufrufen. Das Erbringungssignal erreicht über die aufgebaute Kommunikationsstruktur der ESP das Industrieunternehmen visuell über die GUI mit anschließender manueller Ausführung oder automatisiert über den Smarten Konnektor. Der Nachweis der Flexibilitätserbringung kann über eine Messeinrichtung oder über die ESP erfolgen.

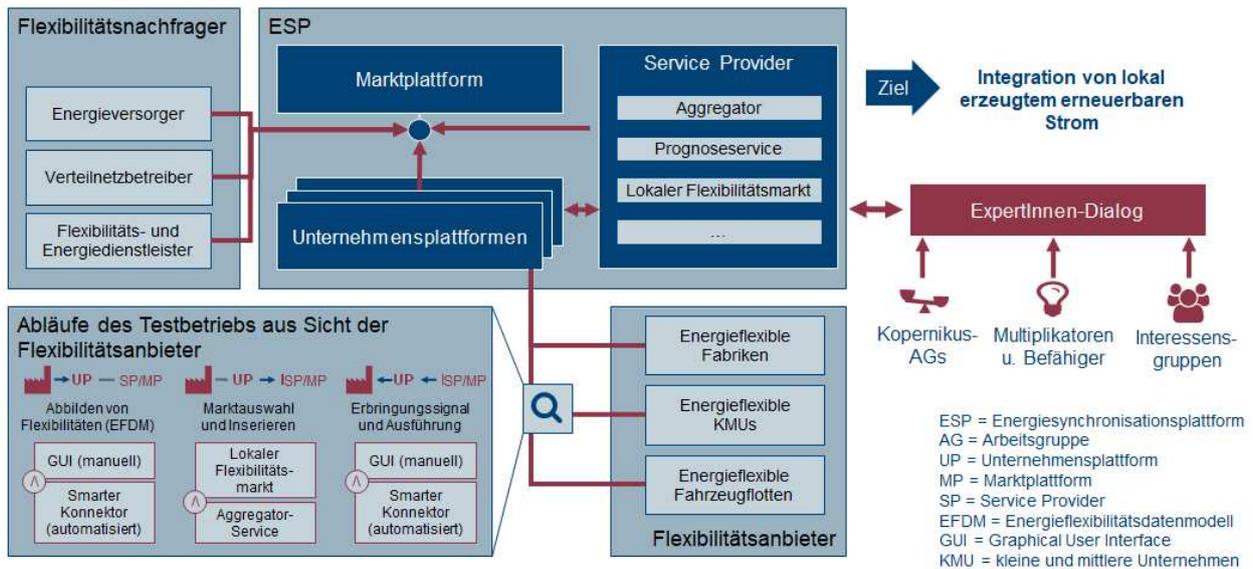


ABBILDUNG 13: KONZEPT DES TESTBETRIEBS IN DER ENERGIEFLEXIBLEN MODELLREGION AUGSBURG

Herausforderungen und Lessons Learned

In der energieflexiblen Modellregion Augsburg kommen erstmalig Funktionen und Akteure der Unternehmens- und der Marktplattform sowie der zugehörigen Services und Infrastruktur zusammen. Die Implementierung der Unternehmensplattformen ist je nach Anwendungsfall mit unterschiedlichen Aufwänden verbunden, die sich durch die in den Unternehmen bestehenden Software-Architekturen und Energieflexibilitätsmaßnahmen ergeben. Zahlreiche Kommunikationsschnittstellen zur Anbindung von beispielweise Anlagensteuerungen oder Leittechnik verschiedenster Hersteller mussten zum Teil aufgebaut werden, was zu einem erheblichen Zeit- und Abstimmungsaufwand führte. Die vorerst manuelle Übermittlung von EFDMs über eine Eingabe-GUI birgt das Potenzial, eine komplexe automatisierte Anbindung und den teils unerwünschten Fremdzugriff zu vermeiden.

Das Zusammenspiel der beteiligten Akteure wird während und nach dem konzeptionellen Testbetrieb analysiert und anhand technischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Kriterien bewertet. Die Ergebnisse aus der Modellregion Augsburg sollen Weiterentwicklungspotenziale zur Verbesserung der ESP aufdecken, die Ableitung von technischen, regulatorischen und organisatorischen Änderungsbedarfen ermöglichen und hinsichtlich der Übertragbarkeit und Skalierbarkeit geprüft werden.

4 FAZIT UND AUSBLICK

Das vorliegende Diskussionspapier beschreibt die in SynErgie bearbeiteten Demonstratoren und gibt einen Überblick über die eingesetzten Konzepte, Architekturen und Herausforderungen. Zusätzlich dazu wird auf die Energieflexible Modellregion Augsburg eingegangen und der konzeptionelle Testbetrieb beschrieben. Die Demonstratoren zeigen die Fülle an Themen und Möglichkeiten in SynErgie und bringen die entwickelten Konzepte, Modelle, Services und Komponenten zur Anwendung.

Zum Veröffentlichungszeitpunkt des Diskussionspapiers sind die Demonstratoren durchgängig in Entwicklung und werden bis zum Ende der Projektlaufzeit fertiggestellt. Zum Gesamtprojekttreffen 2022 ist es geplant, die finalisierten Demonstratoren zu zeigen und zu demonstrieren.

Das Diskussionspapier soll, wie der Name verrät, zur Diskussion anregen, um mit den Autor:innen in Kontakt zu kommen. Sofern Sie konkrete Ideen haben oder sich bei SynErgie beteiligen wollen, scheuen Sie sich nicht, uns zu kontaktieren.

LITERATURVERZEICHNIS

- Albadi, M. H.; El-Saadany, E. F. (2008): A summary of demand response in electricity markets. In: *Electric Power Systems Research* 78 (11), S. 1989–1996. DOI: 10.1016/j.epsr.2008.04.002.
- Battaglini, A.; Komendantova, N.; Brtnik, P.; Patt, A. (2012): Perception of barriers for expansion of electricity grids in the European Union. In: *Energy Policy* 47, S. 254–259. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.04.065.
- Bauer, D.; Abele, E.; Ahrens, R.; Bauernhansl, T.; Fridgen, G.; Jarke, M. et al. (2017): Flexible IT-plattform to Synchronize Energy Demands with Volatile Markets. In: *Procedia CIRP* 63, S. 318–323. DOI: 10.1016/j.procir.2017.03.088.
- Bauernhansl, T.; Bauer, D.; Abele, E.; Ahrens, R.; Bank, L.; Brugger, M. et al. (2019): Industrie 4.0 als Befähiger für Energieflexibilität. In: A. Sauer, E. Abele und H. U. Buhl (Hg.): Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung - SynErgie. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 245–312.
- Bauernhansl, T.; Sauer, A.; Kaymakci, C.; Schlereth, A.; Schilp, J.; Kalchschmid, V. et al. (2021): Demonstratoren der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642373>.
- Bertsch, V.; Hall, M.; Weinhardt, C.; Fichtner, W. (2016): Public acceptance and preferences related to renewable energy and grid expansion policy: Empirical insights for Germany. In: *Energy* 114, S. 465–477. DOI: 10.1016/j.energy.2016.08.022.
- BMU (2021): Novelle des Klimaschutzgesetzes vom Bundestag beschlossen. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/pressemitteilung/novelle-des-klimaschutzgesetzes-vom-bundestag-beschlossen>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.
- BMWi (2021): Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und weiterer energierechtlicher Vorschriften. Gesetzentwurf der Bundesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Service/gesetz-zur-aenderung-des-eeg-und-weiterer-energierechtlicher-vorschriften.html>, zuletzt geprüft am 21.10.2021.
- Buhl, H. U.; Duda, S.; Schott, P.; Weibelzahl, M.; Wenninger, S.; Fridgen, G. et al. (2021): Energieflexibilitätsdatenmodell der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642370>.
- Bundesnetzagentur (2020): Quartalsbericht Netz- und Systemsicherheit - Gesamtes Jahr 2019. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Quartalszahlen_Gesamtjahr_2019.pdf, zuletzt geprüft am 18.09.2020.
- Düssel, R.; Hell, J. (2019): C Ausgewählte Anwendungsfälle aus Wirtschaftszweigen. C.2 Aluminiumindustrie. In: A. Sauer, E. Abele und H. U. Buhl (Hg.): Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung - SynErgie. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 447–467.
- European Environmental Agency (2020): Final energy consumption by sector and fuel. Unter Mitarbeit von Stephanie Schilling. Hg. v. European Environmental Agency. Kopenhagen. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment-4>, zuletzt aktualisiert am 17.01.2019, zuletzt geprüft am 10.07.2019.
- Fridgen, G.; Potenciano Menci, S.; van Stiphoudt, C.; Schilp, J.; Köberlein, J.; Bauernhansl, T. et al. (2021): Referenzarchitektur der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642369>.

Gierkink, M.; Sprenger, T. (2020): Die Auswirkungen des Klimaschutzprogramms 2030 auf den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromnachfrage. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH. Online verfügbar unter https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/07/200106_EWI-Analyse-Anteil-Erneuerbare-in-2030_final.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Goodness, E.; Velosa, A.; Friedman, T.; Berthelsen, E.; Kim, S.; Havart-Simkin, P.; Thielemann, K. (2020): Gartner Magic Quadrant for Industrial IoT Platforms. Hg. v. Inc. Gartner. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/en/documents/3991952/magic-quadrant-for-industrial-iot-platforms>, zuletzt geprüft am 22.11.2021.

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In Press. Unter Mitarbeit von Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Cambridge University Press.

Jazayeri, P.; Schellenberg, A.; Rosehart, W. D.; Doudna, J.; Widergren, S.; Lawrence, D. et al. (2005): A Survey of Load Control Programs for Price and System Stability. In: *IEEE Trans. Power Syst.* 20 (3), S. 1504–1509. DOI: 10.1109/TPWRS.2005.852147.

Körner, M.-F.; Bauer, D.; Keller, R.; Rösch, M.; Schlereth, A.; Simon, P. et al. (2019): Extending the Automation Pyramid for Industrial Demand Response. In: *Procedia CIRP* 81, S. 998–1003. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.241.

Lund, H.; Østergaard, P. A.; Connolly, D.; Ridjan, I.; Mathiesen, B. V.; Hvelplund, F. et al. (2016): Energy Storage and Smart Energy Systems. In: *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 11, S. 3–14. DOI: 10.5278/IJSEPM.2016.11.2.

Lund, P. D.; Lindgren, J.; Mikkola, J.; Salpakari, J. (2015): Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45, S. 785–807. DOI: 10.1016/j.rser.2015.01.057.

Mann, M. E.; Rahmstorf, S.; Kornhuber, K.; Steinman, B. A.; Miller, S. K.; Coumou, D. (2017): Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events. In: *Scientific Reports* 7, 1–10. DOI: 10.1038/srep45242.

Markle-Huss, J.; Feuerriegel, S.; Neumann, D. (2016): Decision model for sustainable electricity procurement using nationwide demand response. In: Tung X. Bui und Ralph H. Sprague (Hg.): Proceedings of the 49th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICCS). 5-8 January 2016, Kauai, Hawaii. Koloa, HI, 1/5/2016 - 1/8/2016. Piscataway, NJ: IEEE, S. 1010–1019.

Müller, T.; Möst, D. (2018): Demand Response Potential: Available when Needed? In: *Energy Policy* 115, S. 181–198. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.12.025.

Oeder, A.; Ronge, K.; Schimmelpfennig, J.; Winter, C.; Ahrens, R. (2021): IT-Sicherheit der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642372>.

Palensky, P.; Dietrich, D. (2011): Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. In: *IEEE Trans. Ind. Inf.* 7 (3), S. 381–388. DOI: 10.1109/TII.2011.2158841.

Papaefthymiou, G.; Haesen, E.; Sach, T. (2018): Power System Flexibility Tracker: Indicators to track flexibility progress towards high-RES systems. In: *Renewable Energy* 127, S. 1026–1035. DOI: 10.1016/j.renene.2018.04.094.

Pfeilsticker, L.; Colangelo, E.; Sauer, A. (2019): Energy Flexibility – A new Target Dimension in Manufacturing System Design and Operation. In: *Procedia Manufacturing* 33, S. 51–58. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.04.008.

Reinhart, G.; Bank, L.; Brugger, M.; Hieronymus, A.; Köberlein, J.; Roth, S. et al. (2020): Konzept der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapier V3. Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-602416.html>.

Reinhart, G.; Bank, L.; Brugger, M.; Roth, S.; Simon, P.; Bauernhansl, T. et al. (2018): Konzeption Der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapier V2.

Rösch, M.; Bauer, D.; Haupt, L.; Keller, R.; Bauernhansl, T.; Fridgen, G. et al. (2019): Harnessing the Full Potential of Industrial Demand-Side Flexibility: An End-to-End Approach Connecting Machines with Markets through Service-Oriented IT Platforms. In: *Applied Sciences* 9 (18), S. 3796. DOI: 10.3390/app9183796.

Sauer, A.; Abele, E.; Buhl, H. U. (2019a): Einleitung. In: A. Sauer, E. Abele und H. U. Buhl (Hg.): *Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung* - SynErgie. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 4–8.

Sauer, A.; Abele, E.; Buhl, H. U. (Hg.) (2019b): *Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung* - SynErgie. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Schilp, J.; Bank, L.; Köberlein, J.; Bauernhansl, T.; Sauer, A.; Kaymakci, C. et al. (2021): Optimierung auf der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642371>.

Schott, P.; Ahrens, R.; Bauer, D.; Hering, F.; Keller, R.; Pullmann, J. et al. (2018): Flexible IT platform for synchronizing energy demands with volatile markets. In: *it - Information Technology* 60 (3), S. 155–164. DOI: 10.1515/itit-2018-0001.

Schott, P.; Sedlmeir, J.; Strobel, N.; Weber, T.; Fridgen, G.; Abele, E. (2019): A Generic Data Model for Describing Flexibility in Power Markets. In: *Energies* 12 (10), S. 1893. DOI: 10.3390/en12101893.

Seifermann, S.; Abele, E.; Sauer, A.; Bauer, D. (2019): Integrierte Betrachtung technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aspekte industriellen Demand-Side Managements. In: *Internationaler ETG-Kongress 2019: Das Gesamtsystem im Fokus der Energiewende. 08. und 09. Mai 2019, Esslingen am Neckar. - Frankfurt am Main.*

Seitz, P.; Abele, E.; Bank, L.; Bauernhansl, T.; Colangelo, E.; Fridgen, G. et al. (2019): IT-based Architecture for Power Market Oriented Optimization at Multiple Levels in Production Processes. In: *Procedia CIRP* 81, S. 618–623. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.165.

Steurer, M. (2017): *Analyse von Demand Side Integration im Hinblick auf eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung*. Univ. Stuttgart, Diss., 2017.

Uba (2021a): Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/de_indikator_ener-04_erneuerbare-energien_2021-03-16.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Uba (2021b): *Erneuerbare Energie in Zahlen*. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Uba (2021c): *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Kategorien der UNFCCC-Berichterstattung*. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/bilder/dateien/2021-03-15_thg_crf_plus_1a_details_ci_1990-2019_vjs2020.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

United Nations (2015): *Transforming our world: The 2030 Agenda for sustainable development*. New York: United Nations. Online verfügbar unter <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>, zuletzt geprüft am 05.08.2019.

