

Diskussionspapier

KONZEPTION DER ENERGIE- SYNCHRONISATIONS- PLATTFORM



Konzeption der Energiesynchronisationsplattform

Diskussionspapier V2

*Cluster III des Projekts „Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung“ (SynErgie),
gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 03SFK3Q0*

Stand September 2018

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

Provinstraße 52
Gebäude B1
86153 Augsburg
www.igcv.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT und Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement

Wittelsbacherring 10
95444 Bayreuth
www.fim-rc.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT

Schloss Birlinghoven
53754 Sankt Augustin
www.fit.fraunhofer.de

Technische Universität Darmstadt

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

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

AUTOREN

Redaktion (*Arbeitspaketleitung III. 1 - Konzeption der Energiesynchronisationsplattform*):

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

Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Lukas Bank, Martin Brugger, Stefan Roth, Peter Simon

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Dennis Bauer, Eduardo Colangelo, Hartmut Eigenbrod, Arthur Grigorjan, Lena Pfeilsticker, Daniel Schel, Fabian Schulz

**Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik
FIT und Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement**

Prof. Dr. Gilbert Fridgen

Fabian Hering, Robert Keller, Paul Schott

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT

Prof. Dr. Matthias Jarke

Raphael Ahrens, Jaroslav Pullmann

Technische Universität Darmstadt

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele

Thomas Weber

KISTERS AG

Dr. Volker Bühner, Benjamin Meyer

DOI: 10.5281/zenodo.1412977

VORWORT UND DANKSAGUNG

Das vorliegende Diskussionspapier in der zweiten Auflage dokumentiert den Arbeitsstand des Clusters III – Informations- und Kommunikationstechnik im Kopernikus-Projekt SynErgie zum Zeitpunkt September 2018. Das Diskussionspapier soll zur Abstimmung und Diskussion der Konzepte anregen, deren Ergebnisse wiederum in die Weiterentwicklung dieser Konzepte einfließen.

Die einzelnen Abschnitte des Diskussionspapiers wurden von folgenden Ansprechpartnern koordiniert:

1 Projektbeschreibung	Dennis Bauer, dennis.bauer@ipa.fraunhofer.de
2 Energiesynchronisationsplattform	Peter Simon, peter.simon@igcv.fraunhofer.de
3 Unternehmensplattform	Dennis Bauer, dennis.bauer@ipa.fraunhofer.de
4 Marktplattform	Paul Schott, paul.schott@fim-rc.de
5 Informationssicherheit	Raphael Ahrens, raphael.ahrens@fit.fraunhofer.de
6 Use Cases	Thomas Weber, weber@ptw.tu-darmstadt.de
7 Ausblick	Dennis Bauer, dennis.bauer@ipa.fraunhofer.de

Die Autoren bedanken sich 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 sich die Autoren bei allen Kolleginnen und Kollegen aus dem SynErgie Projektkonsortium, die mit Ideen und kritischen Anmerkungen zur Entstehung der in diesem Diskussionspapier dargestellten Konzepte beigetragen haben.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VI
1 Projektbeschreibung SynErgie	1
2 Energiesynchronisationsplattform.....	2
2.1 Ziele und Vision	2
2.2 Aufbau und Betreibermodell	3
2.3 Stakeholder	4
2.4 Funktionsweise.....	6
2.5 Datenmodell zur Flexibilitätsbeschreibung	7
2.6 Anwendungsbeispiel	10
3 Unternehmensplattform	13
3.1 Beschreibung und Ziel der Unternehmensplattform	13
3.2 Aufbau der Unternehmensplattform	14
3.3 Services auf der Unternehmensplattform.....	17
4 Marktplattform	23
4.1 Beschreibung und Ziel der Marktplattform	23
4.2 Aufbau der Marktplattform.....	24
4.3 Services auf der Marktplattform	25
5 Informationssicherheit	32
5.1 Anforderungen an die Sicherheit	32
5.2 Schutzziele der Energiesynchronisationsplattform.....	34
5.3 Schutzziele der Unternehmensplattform	34
5.4 Schutzziele der Marktplattform	35
5.5 Umfeldbetrachtung	35
5.6 Sicherheitskonzept	39
6 Use Cases	43
6.1 Flexibilitätsarten.....	43
6.2 Informationsflüsse auf der Energiesynchronisationsplattform	44
6.3 Demonstratoren	47
7 Ausblick	51
8 Begrifflichkeiten	52
9 Literaturverzeichnis.....	55

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Einordnung in die SynErgie-Cluster.....	1
Abbildung 2: Ziele und Vision der Energiesynchronisationsplattform	3
Abbildung 3: Aufbau der Energiesynchronisationsplattform.....	4
Abbildung 4: Funktionsweise der Energiesynchronisationsplattform	6
Abbildung 5: Beispielhafte Anwendung - Ölbad in der Lernfabrik.....	10
Abbildung 6: Mögliche Betriebskonzepte der Unternehmensplattform	13
Abbildung 7: Architektur der Unternehmensplattform.....	14
Abbildung 8: Architektur des Smarten Konnektors	16
Abbildung 9: Energieflexibilitätsmaßnahmen auf den Ebenen der Automatisierungspyramide.....	17
Abbildung 10: Architekturentwurf der Marktplattform	25
Abbildung 11: Use Cases der Energiesynchronisationsplattform	43
Abbildung 12: Informationsflüsse zur IT-Abbildung von Energieflexibilität im Unternehmen	44
Abbildung 13: Informationsflüsse auf der Marktplattform	45
Abbildung 14: Informationsflüsse zur Umsetzung von Energieflexibilität im Unternehmen	47
Abbildung 15: Demonstration des Kühlhausmodells auf der Cebit 2018.....	48
Abbildung 16: Aufbau des Demonstrators in der Aluminium-Elektrolyse	49

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Datenmodell zur Flexibilitätsbeschreibung	8
Tabelle 2: Beispielhafte Anwendung des Datenmodells.....	11
Tabelle 3: Schutzziele der Unternehmensplattform	34
Tabelle 4: Schutzziele der Marktplattform.....	35

1 PROJEKTBSCHREIBUNG SYNERGIE

Das vorliegende Diskussionspapier ist Teil des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekts *SynErgie - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung*. Ziel des Forschungsprojektes ist die Befähigung der energieintensiven Industrie in Deutschland, ihre Stromnachfrage dem zunehmend fluktuierenden Stromangebot anzupassen [1]. In der Vergangenheit waren Stromsysteme meist dahingehend ausgelegt, dass die Erzeugungsseite dem zeitlichen Verlauf des Energiebedarfs auf der Verbrauchsseite angepasst wurde. Bedingt durch den verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien unterliegt die Stromerzeugung jedoch zukünftig vermehrt unkontrollierbaren, beispielsweise wetterabhängigen Schwankungen. Gleichzeitig werden konventionelle Kraftwerke, die bisher den Großteil der Flexibilität bereitgestellt haben, durch erneuerbare Energien zunehmend aus dem System gedrängt. Die Flexibilisierung des Gesamtsystems zur Sicherstellung des Gleichgewichts zwischen Verbrauch und Erzeugung gewinnt deshalb zunehmend an Bedeutung. Hierzu werden in SynErgie Industrieprozesse betrachtet und deren Potenzial ermittelt. Für diese Industrieprozesse werden potenzielle Flexibilisierungsoptionen auf der Nachfrageseite ermittelt und aufgezeigt, die zur Lastanpassung an die schwankende Erzeugung sowie zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen und Entlastung der Netze beitragen können [2]. Mit einem Anteil von 44 Prozent am Bruttostromverbrauch [3] kommt dem Industriesektor bei der Energieflexibilisierung deshalb auch eine maßgebliche Bedeutung zu.

Das Forschungsprojekt SynErgie gliedert sich in sechs Cluster, die avisierte Projektlaufzeit beträgt 10 Jahre, um das Ziel eines energieflexiblen Gesamtsystems erreichen zu können. Das Projekt ist in drei Phasen aufgeteilt, wobei die erste Förderphase Mitte 2019 abgeschlossen wird. Im Fokus des SynErgie-Cluster III "Informations- und Kommunikationstechnik" steht in der ersten Förderphase die Entwicklung einer Energiesynchronisationsplattform, welche das Bindeglied zwischen den industriellen Prozessen (Cluster I) und der Produktionsinfrastruktur (Cluster II) auf der einen Seite sowie dem Markt- und Stromsystem (Cluster IV) auf der anderen Seite darstellt (vgl. Abbildung 1). Ergänzt wird das Projekt durch eine Potenzialanalyse und systemische Betrachtung (Cluster V) sowie durch die Validierung der Ergebnisse in einer energieflexiblen Modellregion (Cluster VI).



ABBILDUNG 1: EINORDNUNG IN DIE SYNERGIE-CLUSTER

2 ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM

2.1 Ziele und Vision

Die Vision ist es, mit der Energiesynchronisationsplattform eine branchenübergreifende Plattform zum Energieflexibilitätshandel in Deutschland aufzubauen und damit "die" zentrale Energieflexibilitätsplattform zu werden (vgl. Abbildung 2). Der Fokus liegt dabei auf den Strommärkten (inklusive der Systemdienstleistungen). Perspektivisch sind modular auch weitere Energieträger, beispielsweise Gas, möglich [4]. Die Plattform sowie die darauf aufbauenden Services ermöglichen der Industrie eine aktive Teilnahme an den Energiemärkten - einerseits durch eine akkuratere und schnellere Bedarfsplanung (Konsumentenrolle), andererseits durch das Anbieten von Energieflexibilitätspotenzial (Anbieterrolle). Abhängig von den situationsbedingten Gegebenheiten können die Rollen der Unternehmen jederzeit flexibel angepasst werden [5]. Die beschriebenen Eigenschaften stellen einen deutlich höheren Funktionsumfang und Informationsangebot dar, als er auf bestehenden Plattformen aktuell implementiert ist.

In einem ersten Schritt soll für die Energiesynchronisationsplattform bis Mitte 2019 ein durchgängiges Konzept einschließlich des Daten- und Informationsflusses von der Maschine bis zu den Strommärkten entwickelt werden. Hierfür sind insbesondere die Identifikation und Entwicklung von Schnittstellen sowie die Definition eines Datenmodells für Energieflexibilität erforderlich. Den Kern der Energiesynchronisationsplattform stellen Services dar, um Daten zu verarbeiten, zu aggregieren, miteinander austauschen und Energieflexibilität bewerten zu können. Das Konzept der Energiesynchronisationsplattform sieht dabei Erweiterungsmöglichkeiten für verschiedene Energieträger vor, auch wenn der Fokus eindeutig auf elektrischer Energie liegt. Ziel in der ersten SynErgie-Förderphase ist es, drei funktionsfähige Demonstratoren umzusetzen. Um den Mehrwert der automatisiert gehandelten Energieflexibilität für Industrieunternehmen sowie Teilnehmer der Energiemärkte aufzuzeigen, werden zwei Demonstratoren im Forschungsumfeld und ein Demonstrator gemeinsam mit einem Anwenderunternehmen im industriellen Umfeld konzipiert und umgesetzt. Neben der Automatisierung sorgt das Konzept der Energiesynchronisationsplattform durch eine einheitliche Schnittstelle zwischen Unternehmen und Märkten außerdem für eine Reduktion von Abhängigkeiten, da keine spezifischen Schnittstellen für einzelne Handelspartner aufgebaut werden müssen.

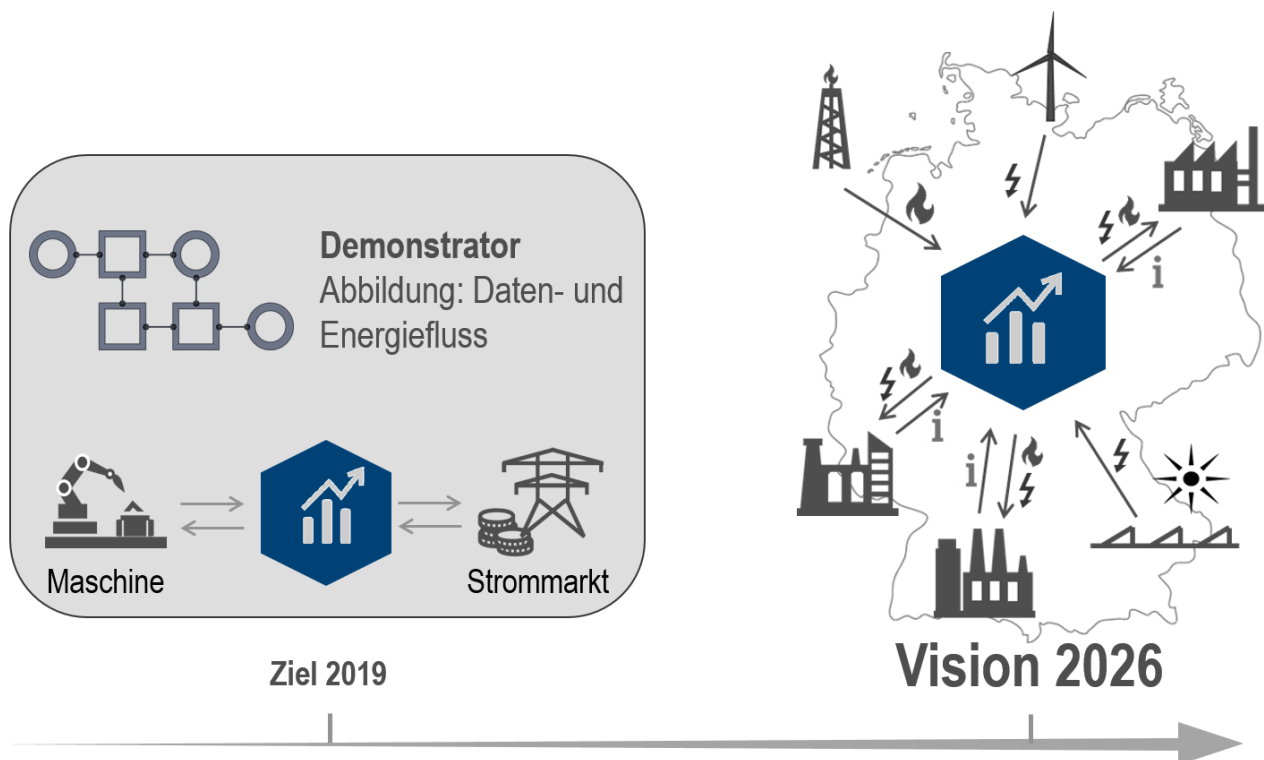


ABBILDUNG 2: ZIELE UND VISION DER ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM

Die technische Umsetzung der Energiesynchronisationsplattform bildet dabei die Grundlage für eine echtzeitnahe Synchronisation flexibler Industrieprozesse mit volatilen Energiemärkten. Von zentraler Bedeutung für die Akzeptanz und den Erfolg des erarbeiteten Konzepts sind insbesondere die Wirtschaftlichkeit der Energieflexibilität für die Unternehmen auf der einen Seite sowie die technischen Aspekte des Schutzes sensibler Unternehmensdaten auf der anderen Seite, denen im Rahmen der Konzeption der Energiesynchronisationsplattform eine besondere Bedeutung zukommt. Parallel stellen die Harmonisierung und Standardisierung eines erforderlichen Datenmodells und einer Schnittstelle die Key-Enabler für eine Akzeptanzerhöhung dar.

2.2 Aufbau und Betreibermodell

Die Energiesynchronisationsplattform gliedert sich in zwei Teilplattformen, die Unternehmensplattform und die Marktplattform (vgl. Abbildung 3), welche über eine Schnittstelle zum Datenaustausch und zur Interaktion befähigt sind (vgl. Datenmodell in Abschnitt 2.5 und Informationsflüsse in Abschnitt 6.2). Dabei stellt die Energiesynchronisationsplattform den übergeordneten Rahmen für die Zusammenarbeit der Unternehmensplattformen und der Marktplattform dar. In diesem globalen Rahmen werden Stakeholder, technische Schnittstellen, Datenflüsse und Regularien für eine erfolgreiche Interaktion und Integration der eigentlichen Softwareplattformen, namentlich der Unternehmensplattform und Marktplattform, definiert. In den folgenden Abschnitten wird zuerst das Konzept der Energiesynchronisationsplattform als Rahmen weiter ausdetailliert, anschließend folgen die Beschreibungen der Unternehmensplattform (vgl. Abschnitt 3) und der Marktplattform (vgl. Abschnitt 4).

Das Betreibermodell der Energiesynchronisationsplattform sieht mehrere parallel existierende Unternehmensplattformen vor, welche die Flexibilität zum Beispiel von angeschlossenen Anlagen und Prozessen bereitstellen. Hierfür sind verschiedene Services auf der Unternehmensplattform notwendig. Demgegenüber steht als Intermediär eine zentrale, mit allen Unternehmensplattformen über eine uniforme Schnittstelle kommunizierende Marktplattform. Damit Unternehmen Flexibilität vermarkten können, werden auch auf der Marktplattform verschiedene Services bereitgestellt und ausgeführt. Diese unterstützen die Unternehmen in verschiedenen Aspekten der Flexibilitätsbereitstellung und des Flexibilitätshandels.

Die Betreiber der Unternehmensplattformen sind die Unternehmen selbst oder Dienstleister, wobei auch hybride Formen möglich sind (vgl. Abschnitt 3.1). Hinsichtlich der Marktplattform soll eine kooperative Organisationsform des Betreibers angestrebt werden, um die Unabhängigkeit von allen Stakeholdern der Energiesynchronisationsplattform sicherzustellen und Interessenkonflikte vermeiden zu können. Auch ein staatlicher Betrieb der Marktplattform, beispielsweise durch die Bundesnetzagentur, ist denkbar.

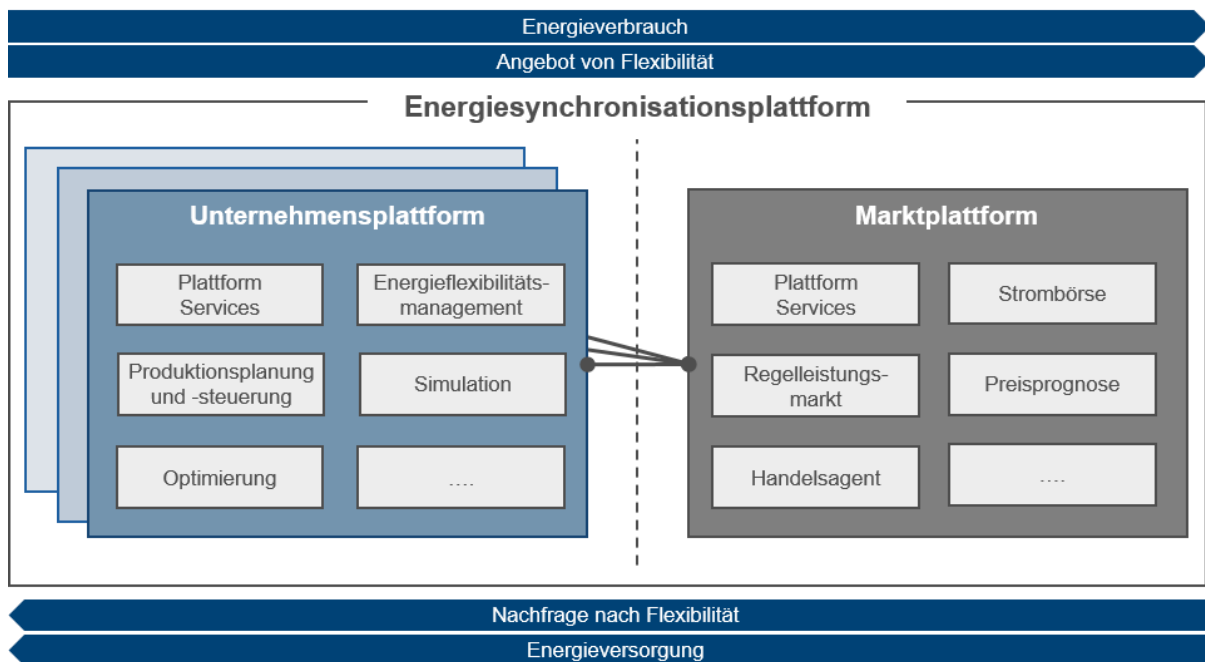


ABBILDUNG 3: AUFBAU DER ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM

2.3 Stakeholder

Nachfolgend werden relevante Nutzergruppen der Energiesynchronisationsplattform unterschiedlichen Bereichen zugeordnet.

1. Erzeuger, Systemdienstleister und Vermarkter von Energie

Dieser Gruppe werden Akteure zugeordnet, die aktiv an der Erzeugung, Verteilung und Vermarktung von Energie beteiligt sind. Ihre Rollen werden u. a. durch Regelwerke für den derzeitigen deutschen [6] und europäischen [7] Energiemarkt sowie den prognostizierten, flexiblen Energiemarkt der Zukunft spezifiziert [8].

Der Transport der elektrischen Energie erfolgt durch den *Übertragungsnetzbetreiber* (ÜNB), die Verteilung durch den *Verteilnetzbetreiber* (VNB) und die Bilanzierung durch den *Bilanzkreisverantwortliche* (BKV). Der ÜNB sorgt dabei u. a. für die Stabilität der (über)regionalen Stromnetze und nutzt die angebotene Flexibilität, um Abweichungen im Netzbereich der Zuständigkeit auszugleichen und so die Netzfrequenz stabil zu halten. *Energiedienstleister* bieten ergänzende Dienstleistungen orthogonal zur Bereitstellung von Energie und Flexibilität. Dazu gehören die Montage, die (Fern)Wartung und der Betrieb von Messanlagen, Demand-Response-Mechanismen und Informationsdiensten, z. B. als Messstellenbetreiber.

Zusätzlich ist die Gruppe der *Aggregatoren* zu nennen. Diese akkumulieren die durch Verbraucher zur Verfügung gestellte Flexibilität. Ihre Bereitstellung und Abrechnung ist vertraglich geregelt und wird durch Dienste der Marktplattform unterstützt. Aggregatoren gleichen die Ausfallrisiken einzelner Anbieter aus, während diese von der Komplexität und den Risiken des Marktes abgeschirmt werden.

2. Produzierende Unternehmen

Verbraucher sind im hier vorliegenden Kontext produzierende Unternehmen, die ihrerseits Flexibilität im Bezug und/oder Angebot von Energie bereitstellen können. Um eine bewertbare Basis zur Verfügung zu haben, müssen Energieflexibilitätpotenziale bzw. Energieflexibilitätsmaßnahmen identifiziert, koordiniert und verwaltet werden, wobei diese Rolle häufig den *Energiemanagern* zufällt [10]. Die übergeordnete Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt im operativen Betrieb oftmals über die *Produktionsplanung und Steuerung*. Diese übernimmt in produzierenden Unternehmen die Abwicklung externer und interner Aufträge aus dem Produktionsprogramm [9] und ist damit ein zentraler Stakeholder. Da eine Umsetzung, vor allem in nicht automatisierten Produktionsbereichen zusätzlich mit Tätigkeiten von *Produktionsmitarbeitern*, wie Produktionsleiter, Meister oder Facharbeiter, durchgeführt wird, sind diese ebenfalls als Stakeholder zu betrachten.

3. Anbieter sowie Nutzer von Software und Informationstechnik

Die Gruppe der Software und Informationstechnik umfasst Akteure, die obige Domänen-Nutzergruppe durch die Erstellung, den Betrieb und die Wartung von Software unterstützen. Ihre Aufgabenbereiche und Rollen werden z. B. durch [11] definiert. *Plattformbetreiber* sind als Dienstleister für den Betrieb, die Laufzeitüberwachung und die Fehlerbehebung der Soft- und Hardwarekomponenten für Unternehmens- und Marktplattform zuständig. *Plattformteilnehmer* sind natürliche bzw. juristische Personen mit Zugangsberechtigung zu Services der Energiesynchronisationsplattform. Der angebotene Funktionsumfang richtet sich nach der Nutzerrolle der Teilnehmer. Ein weiterer Stakeholder sind Softwareentwickler, welche als *Serviceanbieter* Service- und Datenleistungen bzw. Software entwickeln und bereitstellen, um den Funktionsumfang der Energiesynchronisationsplattform zu erweitern. Da diese vom Plattformbetreiber unabhängig sind, werden sie auch als Independent Service Vendor bezeichnet. Die angebotenen Services werden anderen Plattformteilnehmern, die als *Servicenutzer auftreten*, zur Verfügung gestellt.

2.4 Funktionsweise

Dieser Abschnitt skizziert die Verwendung der Energiesynchronisationsplattform durch die vorgestellten Nutzergruppen in Anlehnung an die Phasen des Marktkoordinierungsmechanismus (engl. Market Coordination Mechanism, MCM) von [6]. Ausgehend vom Design bestehender Energiemärkte definiert MCM eine Anzahl von zusätzlichen Betriebsmodi (operating regimes) und Prozessen, in denen Marktteilnehmer durch koordinierte Interaktionen Flexibilität abfragen und zur Stabilisierung des Energienetzes beitragen können. Die feingranularen Abläufe wurden in Phasen unterteilt, die im Folgenden für die SynErgie-Domäne adaptiert wurden.

In der initialen Phase der *Markterschließung und Vertragsbindung* unterstützt die Marktplattform ihre Teilnehmer durch den Abschluss von Verträgen über das Anbieten, Nachfragen und Bereitstellen von Energieflexibilität. Dies erleichtert den Marktzugang auch für Unternehmen, die eine Qualifikation für bestehende Regelleistungsmärkte nicht erbringen können und verringert zugleich das Risiko von Aggregatoren durch einen breiten, heterogen aufgestellten Kundenstamm [2]. Die Verträge können eine langfristige bzw. kurzfristige ad-hoc Bindung beim Geschäftsabschluss abbilden und somit den Handel mit Energieflexibilität dynamisch und bedarfsorientiert unterstützen.

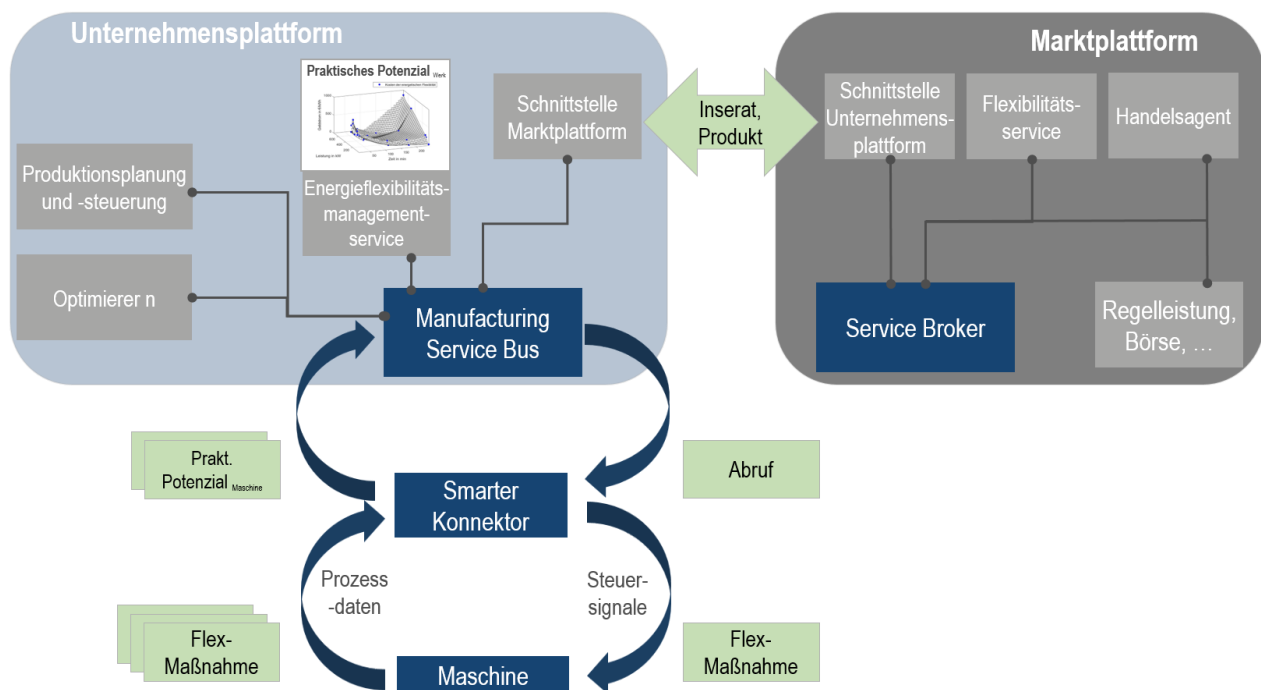


ABBILDUNG 4: FUNKTIONSWEISE DER ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM

In der Phase der Bedarfserhebung, Planung und Prognose nutzen produzierende Unternehmen die Infrastruktur der Unternehmensplattform, um prozessabhängige Verbrauchsdaten zu erheben (Smarter Konnektor, vgl. Abschnitt 3.2), zu integrieren (Manufacturing Service Bus, vgl. Abschnitt 3.2) und Lastpläne und weitere Prognosen zu generieren (Services, vgl. Abschnitt 3.3). Hierzu werden im ersten Schritt (teilweise händisch) Energieflexibilitätsmaßnahmen aufgenommen und auf dem Smarten Konnektor beschrieben. Der Smarte Konnektor ist eine Softwareschnittstelle, die es ermöglicht, Steuerungsdaten mit IT-Systemen und Cloud-Komponenten zu verbinden und damit Steuerungs- und Energiedaten aus unterschiedlichen Quellen zu integrieren. Des Weiteren stellt er eine Laufzeitumgebung für die maschinennahe Datenverarbeitung bereit und gibt die Daten der Energieflexibilitätsmaßnahme als praktisches Potenzial weiter an die Unternehmensplattform. Im Energieflexibilitätsmanagementservice (vgl. Abschnitt 3.3) werden

anschließend die einzelnen Energieflexibilitätsmaßnahmen als praktisches Potenzial auf Unternehmensebene zusammengefasst. Mithilfe des Energieflexibilitätsmanagementservice kann über die Schnittstelle zur Marktplattform eine Energieflexibilitätsmaßnahme unterstützt durch Services auf der Marktplattform vermarktet werden. Diese Services auf der Marktplattform (vgl. Abschnitt 4.3) ermöglichen es beispielsweise, dass ein Handelsagent für ein Unternehmen verschiedene Einsatzmöglichkeiten für vorher definierte Energieflexibilität vorschlägt. Wird dabei eine passende Zuordnung von Angebot und Nachfrage gefunden, erfolgt ein Informationssignal an die Unternehmensplattform. Über die einzelnen Ebenen wird der Abruf bekannt gegeben und mit Hilfe des Smarten Konnektor in Form von Steuersignalen auf Maschinenebene umgesetzt.

Die Marktplattform unterstützt in der *Abrechnungsphase*, indem sie Transaktionen und monetäre Forderungen zwischen den Services nachvollziehbar macht (Clearing), u. a. basierend auf expliziten Vertrags- und Preismodellen sowie der Einbeziehung von Laufzeitdaten wie Transaktionslogs, Messstellendaten etc.. In weiteren Ausbaustufen kann die Marktplattform an Zahlungssysteme zwecks automatischer Abrechnung angeschlossen werden.

2.5 Datenmodell zur Flexibilitätsbeschreibung

Aufbauend auf der Flexibilitätsbeschreibung im SynErgie-Glossar [7] wurde ein generisches Datenmodell entwickelt, welches eine standardisierte Beschreibung von Energieflexibilität ermöglicht [8]. Dieser Abschnitt bietet einen Überblick über den aktuellen Stand des Datenmodells.

Mithilfe des Datenmodells sollen unterschiedlichste Flexibilitäten zur (teil-)automatisierten, informationstechnischen Verarbeitung abgebildet werden können. Finales Ziel ist es, ein umfassendes Datenmodell zu entwickeln, um Flexibilität in realistischer Komplexität abzubilden. Das Datenmodell stellt somit die übergreifende, zentrale Grundlage für alle darauf operierende Services dar. Ausgehend davon können Modelle für spezielle Anwendungsfälle, beispielsweise zur Optimierung, abgeleitet werden, die nur einen Teil der Informationen des zentralen Datenmodells beinhalten. Hierbei ist es von großer Bedeutung, dass die abgeleiteten Modelle ineinander überführbar sein müssen. Nur so kann die Interoperabilität der Unternehmensplattformen und der Marktplattform gewährleistet werden.

Das Datenmodell bildet unterschiedliche Kennzahlen ab, welche die Charakteristika einer Energieflexibilitätsmaßnahme beschreiben. Hierzu gehören unter anderem Freiheitsgrade und Restriktionen bezüglich der Leistungsänderung sowie die zugehörigen Kosten. Das erarbeitete Kennzahlensystem, auf dem das Datenmodell beruht, ist in Tabelle 1 dargestellt. Darin sind jeweils die Kennzahl, der Typ sowie die Einheit berücksichtigt. Kennzahlen sind immer als Funktion definiert, womit Abhängigkeiten zwischen den Kennzahlen modelliert werden können. Prinzipiell können alle Kennzahlen von allen anderen Kennzahlen abhängen, was folgendermaßen beschrieben wird:

$$\Omega := \{c, h_{min}, h_{max}, g, p_c, p_d, r_{rea}, r_{reg}, u_{min}, u_{max}, v_{min}, v_{max}, p_{min}, p_{max}, c, C, c_{min}, c_{max}, e_{cur}, e_{tar_{min}}, e_{tar_{max}}\}$$

Mithilfe der Möglichkeit einer funktionalen Beschreibung der Kennzahlen können so beispielsweise die Kosten quadratisch von der gewählten Leistungsstufe abhängen. Die Definition der Kennzahlen ist in Tabelle 1 dargestellt.

TABELLE 1: DATENMODELL ZUR FLEXIBILITÄTSBESCHREIBUNG

Kennzahlen	Typ	Einheit	Erklärung
validities (V)	$V = [v_{min}; v_{max}]^+ = [f_{v_{min}}(\Omega); f_{v_{max}}(\Omega)]^+$	Date-Time	Gibt in einem Intervall den Zeitraum an, in dem die Flexibilität eingesetzt werden darf.
system-id (i_{sys})	String	—	Dient der eindeutigen Zuordnung von Flexibilitätsmaßnahmen zu einer systemischen Einheit.
flexibility-id (i_{flex})	String	—	Dient der eindeutigen Identifikation von Flexibilitätsmaßnahmen und ermöglicht die Rückverfolgung bis hin zu einzelnen Maschinen.
power-states (P)	$P = [p_{min}; p_{max}]^+ = [f_{p_{min}}(\Omega); f_{p_{max}}(\Omega)]^+$	kW	Beschreibt mögliche Leistungsstufen durch eine Menge von Intervallen. Jedes Intervall kann entweder kontinuierlich oder diskret sein. Ein kontinuierliches Intervall ist durch eine Minimums- und Maximums-, ein diskretes Intervall durch eine nichtleere Folge von Funktionen definiert.
holding-duration (H)	$H = [h_{min}; h_{max}]_g = [f_{h_{min}}(\Omega); f_{h_{max}}(\Omega)]_g$	min	Gibt in einem Intervall an, wie lange die Flexibilität minimal und maximal eingesetzt werden darf. Die optionale granularity ermöglicht es, Prozesse abzubilden, bei denen nur diskrete Werte innerhalb des Intervalls gewählt werden dürfen, z.B. um Werkstücke vollständig zu bearbeiten. Ohne granularity handelt es sich um ein kontinuierliches Intervall. Umfasst nur den Zeitraum, in dem der angestrebte power-state erreicht ist.
power gradient charge (p_c)	$p_c = f_c(\Omega)$	kW/min	Beschreibt den Leistungsgradienten bei einer Erhöhung der Leistung.
power gradient discharge (p_d)	$p_d = f_d(\Omega)$	kW/min	Beschreibt den Leistungsgradienten bei einer Verringerung der Leistung.
reaction duration (r_{rea})	$r_{rea} = f_r(\Omega)$	min	Beschreibt die Zeitdauer, bis die Leistung anfängt sich zu verändern.
regeneration-duration (r_{reg})	$r_{reg} = f_r(\Omega)$	min	Beschreibt, wie lange nach Ende der holding-duration einer Flexibilitätsziehung dieselbe Flexibilität nicht erneut gezogen werden darf. Das Ende der holding-duration bezieht sich auf den Zeitpunkt, zu dem die deactivationduration beginnt.
usage-number (U)	$U = [u_{min}; u_{max}] = [f_{u_{min}}(\Omega); f_{u_{max}}(\Omega)]$	—	Gibt in einem Intervall an, wie oft die Flexibilität minimal und maximal eingesetzt werden darf.

Kennzahlen	Typ	Einheit	Erklärung
storage-id (i_{sto})	<i>String</i>	—	Dient der eindeutigen Identifikation von Speichern und ermöglicht deren eindeutige Referenzierung innerhalb einer einzelnen Flexibilität.
capacity (c)	$c = f_c(\Omega)$	kWh	Beschreibt die (Nenn-)Kapazität des zugrundeliegenden Speichers der Flexibilität. Bei physischen kann der Wert auf das Energieäquivalent umgerechnet werde. Der Ladezustand des Speichers darf den angegebenen Wert nicht unterschreiten.
current energy content (e_{cur})	$e_{cur} = f_{e_{cur}}(\Omega)$	kWh	Beschreibt den zu Beginn vorliegenden Ladestand des zugrundeliegenden Speichers der Flexibilität, falls diese von allen gezogenen Maßnahmen die erste ist, die den vorliegenden Speicher referenziert.
usable capacity (C)	$C = [c_{min}; c_{max}]$ $= [f_{c_{min}}(\Omega); f_{c_{max}}(\Omega)]$	kWh	Beschreibt den Bereich des Ladezustands, der eingenommen werden darf.
target energy content (e_{tar})	$e_{tar} = [e_{tar_{min}}; e_{tar_{max}}]$ $= [f_{e_{tar_{min}}}(\Omega); f_{e_{tar_{max}}}(\Omega)]$	kWh	Gibt in einem Intervall die Zielkapazität des zugrundeliegenden Speichers der Flexibilität an. Dabei sind die Intervallgrenzen als Funktionen in allen anderen Größen gegeben. Der Ladezustand des Speichers muss nach dem Ende der holding-duration innerhalb der Intervallgrenzen liegen, falls es sich um die letzte gezogene Flexibilität handelt, die den aktuellen Speicher referenziert.
power-loss (L)	$L = f_L(t)$	kW	Beschreibt den Bedarf der Nutzenergie für jeden einzelnen Zeitpunkt innerhalb der validity.
dependencies (D)	$\subseteq F \times \{\rightarrow, \nrightarrow\} \times [t_l; t_r] =$ $flexibility-ids \times \{\rightarrow, \nrightarrow\} \times$ $[f_{t_{d1}}(\Omega); f_{t_{d2}}(\Omega)]$	($\leftarrow, \rightarrow, \min$)	Beschreibt Abhängigkeiten in Form von Implikationen zwischen verschiedener Flexibilität. Der binäre Operator $\rightarrow$ bzw. $\nrightarrow$ definiert dabei, ob die referenzierte bei Ziehung der aktuellen Flexibilität gezogen werden muss ($\rightarrow$) bzw. nicht gezogen werden darf ($\nrightarrow$). Ein pro Abhängigkeit definiertes Zeitintervall beschreibt, ob die Ziehung der referenzierten Flexibilität nur innerhalb eines bestimmten Zeitraums erfolgen darf bzw. nicht erfolgen darf.
costs (c)	$c = f_c(\Omega)$	€	Umfasst sämtliche Kosten, die durch die Ziehung der Flexibilität entstehen, exklusive Stromkosten. Beispiele sind zusätzliche Gehälter und Verschleiß.

Mit den erläuterten Informationen des Kennzahlensets wird zunächst eine Lasterhöhung oder Lastabsenkung beschrieben. Ein eventuell bestehender Lastnachholbedarf [7] wird über eine zweite Instanz des Kennzahlensets abgebildet. Die Abhängigkeit des Nachholens zu der Ausprägung der vorangegangenen Maßnahme wird über die Kennzahl „dependencies“ abgebildet. Wird z. B. in der ersten Lasterhöhung die höchste einstellbare Leistungsstufe sowie die längste einstellbare Haltedauer gewählt, kann dies Einfluss auf den Lastnachholbedarf haben, da die maximale Energiemenge verschoben wurde. Die Verknüpfung der Kennzahlensets kann u. a. über eine AND-Verknüpfung („und“, zwei Sets müssen gemeinsam aktiviert werden) oder eine XOR-Verknüpfung („exklusives oder“, nur eines der beiden Sets wird aktiviert) erfolgen. Zudem wird in den Abhängigkeiten über das Intervall angegeben, in welchem Zeitraum die verknüpfte Maßnahme aktiviert werden muss. In weiterführenden Untersuchungen muss überprüft werden, ob sich das Datenmodell auch für eine komplette Optimierung des Produktionsplans eignet. Dies würde dann den kompletten Verbrauch und nicht nur die Flexibilität eines Unternehmens abbilden.

2.6 Anwendungsbeispiel

Für einen Bearbeitungsprozess muss ein Ölbad mit Hilfe eines Heizstabs erhitzt werden (vgl. Abbildung 5). Dabei kann der Heizstab stufenlos alle elektrischen Leistungen zwischen 0 kW und 10 kW aufnehmen. Der Leistungsgradient zur Lasterhöhung sowie zur Lastminderung liegt bei 100 kW/s mit einer konstanten Reaktionszeit von 0,5 s. Das Ölbad soll von der Ausgangstemperatur 20 °C auf 100 °C aufgeheizt werden. Der Aufheizvorgang soll nach 2 Stunden abgeschlossen sein. Bei 100% Leistung des Heizstabs wäre der Prozess allerdings bereits nach 1 Stunde abgeschlossen. Die Flexibilität liegt dementsprechend in der Überkapazität des Heizstabs sowie der thermischen Trägheit des Ölbad. Nachfolgend wird das Kennzahlensystem auf das beschriebene Beispiel angewandt und anschließend erläutert. (vgl. Tabelle 2).



Elektrische Heizstäbe zur Erwärmung des Ölbad

Mit Wasser durchflossene Rohre zur Kühlung des Ölbad

- Eigentlich wird das Bad nur einmal aufgeheizt und dient dann zur Abkühlung der Bauteile. Für den Anwendungsfall Energieflexibilität soll über die Kühlrohre ein Bedarf simuliert werden und das Bad ständig wieder elektrisch aufgeheizt werden
- Smarter Konnektor sollte Temperatur im Ölbad + Volumenstrom des Kaltwassers kennen und daraus berechnen, wie lange die Heizstäbe noch an/ausgeschaltet bleiben können

ABBILDUNG 5: BEISPIELHAFTE ANWENDUNG - ÖLBAD IN DER LERNFABRIK

TABELLE 2: BEISPIELHAFTE ANWENDUNG DES DATENMODELLS

Kennzahlen	Typ	Einheit	Erklärung
validities (V)	$V = [15.05.2018\ 10:22:32, 15.05.2018\ 10:42:12]$	Date-Time	Die genannte Flexibilitätsmaßnahme bezieht sich auf den Zeitraum zwischen dem 15.05.2018, 10:22:32 Uhr und dem 15.05.2018, 10:42:12 Uhr
system-id (i_{sys})	Ölbad1	—	Das Ölbad trägt die eindeutige Bezeichnung ‚Ölbad1‘
flexibility-id (i_{flex})	Flex1	—	Flex1 entspricht der eindeutigen Kennung dieses Kennzahlensets.
power-states (P)	$P = [0; 10]$	kW	Der Heizstab des Ölbad kann alle Leistungen zwischen 0 und 10 kW annehmen. Aus diesem Grund dient die 0 als untere Intervallgrenze, während 10 als obere Intervallgrenze fungiert.
holding-duration (H)	$H = [1/60; inf]$	min	Eine gewählte Leistungsstufe muss für mindestens 1 Sekunde gehalten werden, um die Elektronik des Heizstabs nicht zu überlasten. Aus technischer Sicht besteht ansonsten keine Beschränkung bezüglich einer maximalen Haltedauer, weshalb die obere Intervallgrenze auf ‚unendlich‘ gesetzt wird.
power gradient charge (p_c)	$p_c = 6000$	kW/min	Die Leistung des Heizstabs kann mit einem Leistungsgradienten von 6000 kW/min variiert werden.
power gradient discharge (p_d)	$p_d = 6000$	kW/min	Die Leistung des Heizstabs kann mit einem Leistungsgradienten von 6000 kW/min variiert werden.
reaction duration (r_{rea})	$r_{rea} = 1/120$	min	Der Heizstab kann innerhalb von einer halben Sekunde angesteuert werden.
regeneration-duration (r_{reg})	$r_{reg} = 0$	min	Nach einem Abruf muss kein Zeitintervall pausiert werden, bis die Maßnahme wieder gezogen werden darf.
usage-number (U)	$U = [0; inf]$	—	Bezüglich der Nutzungshäufigkeit gibt es keine Einschränkungen für das ausgewählte Beispiel.
storage-id (i_{sto})	Speicher1	—	Der Speicher des Ölbad trägt die eindeutige Bezeichnung ‚Speicher1‘
capacity (c)	$c = 10$	kWh	Die (Nenn-)Kapazität des Speichers beträgt 10 kWh.

Kennzahlen	Typ	Einheit	Erklärung
current energy content (e_{cur})	$e_{cur} = 0$	kWh	Zu Beginn der Gültigkeit des Kennzahlensets beträgt der Ladestand des Speichers 0 kWh.
usable capacity (C)	$C = [0; 10]$	kWh	Der Speicher darf Ladezustände zwischen 0 und 10 kWh annehmen.
target energy content (e_{tar})	$e_{tar} = [10; 10]$	kWh	Der Speicher soll am Ende des Gültigkeitsintervalls den vollen Ladezustand erreichen.
power-loss (L)	$a * e_{curr}$	kW	Der Nutzenergiebedarf beträgt in dem genannten Beispiel lediglich die aufzuwendenden Wärmeverluste, da prozessbedingt keine Wärme aus dem System genommen wird. Diese Wärmeverluste sind dabei ladestandsabhängig. Der Faktor a soll den Wärmeübergang zwischen dem Ölbad und der Umgebung beschreiben.
dependencies (D)	—	(—, —, min)	Für das ausgewählte Beispiel bestehen keine Abhängigkeiten zu einer anderen Flexibilität.
costs (c)	0	€	Neben den Stromkosten treten für das ausgewählte Beispiel keine zusätzlichen Kosten auf.

Da ein Kennzahlenset bzw. eine Kombination verschiedener Kennzahlensets viele verschiedene Maßnahmen beinhalten kann, werden diese als praktisches Potenzial bezeichnet. Dieses entspricht der Menge aus möglichen Energieflexibilitätsmaßnahmen, die mit einem Kennzahlenset beschrieben werden. Ein Entscheider – dies kann entweder eine Person oder ein automatisches Entscheidungssystem sein – legt dann fest, was über die Unternehmensplattform (vgl. Abschnitt 3) auf der Marktplattform (vgl. Abschnitt 4) gehandelt wird.

3 UNTERNEHMENSPLATTFORM

3.1 Beschreibung und Ziel der Unternehmensplattform

Die Unternehmensplattform als ein Teil der Energiesynchronisationsplattform (vgl. Abschnitt 2.2) stellt das modulare, service-orientierte, sichere und nach außen gekapselte informations- und kommunikationstechnische System innerhalb eines Unternehmens dar [5]. Sie ist der Befähiger für Unternehmen zum automatisierten Energieflexibilitätshandel über eine standardisierte Schnittstelle mit auf der Marktplattform verfügbaren Angeboten. In der Unternehmensplattform finden einerseits die Aufnahme, Aggregation, Analyse und Optimierung von Prozess- und Produktionsdaten sowie andererseits die energiesynchrone Steuerung und Regelung der Systeme, Anlagen und Komponenten statt. Die Unternehmensplattform ermöglicht damit einen energieflexiblen Ablauf der Produktion. Hierzu werden die Energieflexibilitätsmaßnahmen im Unternehmen über einen Service aggregiert und mittels der Schnittstelle zur Marktplattform an den Energiemärkten platziert.

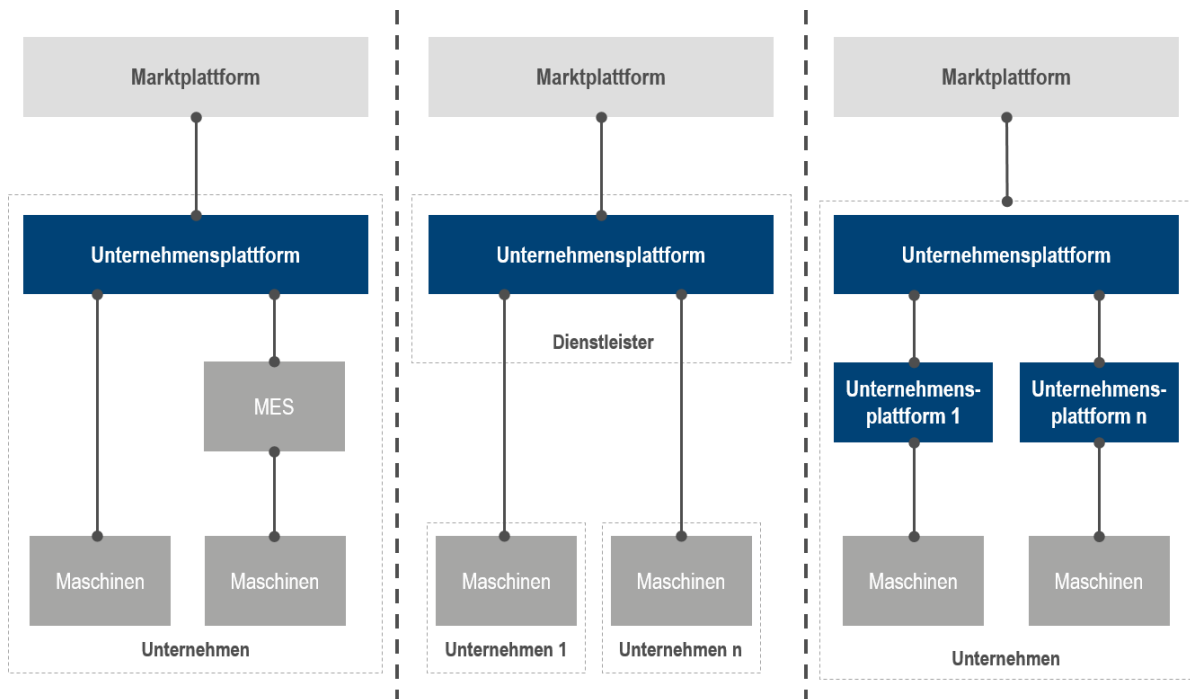


ABBILDUNG 6: MÖGLICHE BETRIEBSKONZEPTE DER UNTERNEHMENSPLATTFORM

In Anlehnung an [9] sind je nach Anforderungen der Unternehmen verschiedene Betriebskonzepte für die Unternehmensplattform vorgesehen. Das Standard-Betriebskonzept (vgl. Abbildung 6, links) sieht vor, dass die Unternehmensplattform als private Plattform im Unternehmen betrieben wird, an die alle energetisch relevanten Maschinen, Anlagen und IT-Systeme angebunden werden. Für Unternehmensgruppen oder -verbünde ist es auch möglich, für einzelne Business Units oder Standorte eine eigene Unternehmensplattform zu betreiben, welcher eine

unternehmensweite Plattform übergeordnet ist (vgl. Abbildung 6, rechts). Im dritten möglichen Fall wird die Unternehmensplattform durch einen Dienstleister öffentlich betrieben (vgl. Abbildung 6, Mitte). Zu dieser Plattform können sich mehrere Unternehmen verbinden, wobei die Daten für jedes Unternehmen sicher gekapselt werden.

3.2 Aufbau der Unternehmensplattform

Kernkomponenten der Unternehmensplattform sind die zugrunde liegende Infrastruktur sowie die darauf aufbauenden Services, welche in Abbildung 7 dargestellt sind und nachfolgend erläutert werden.

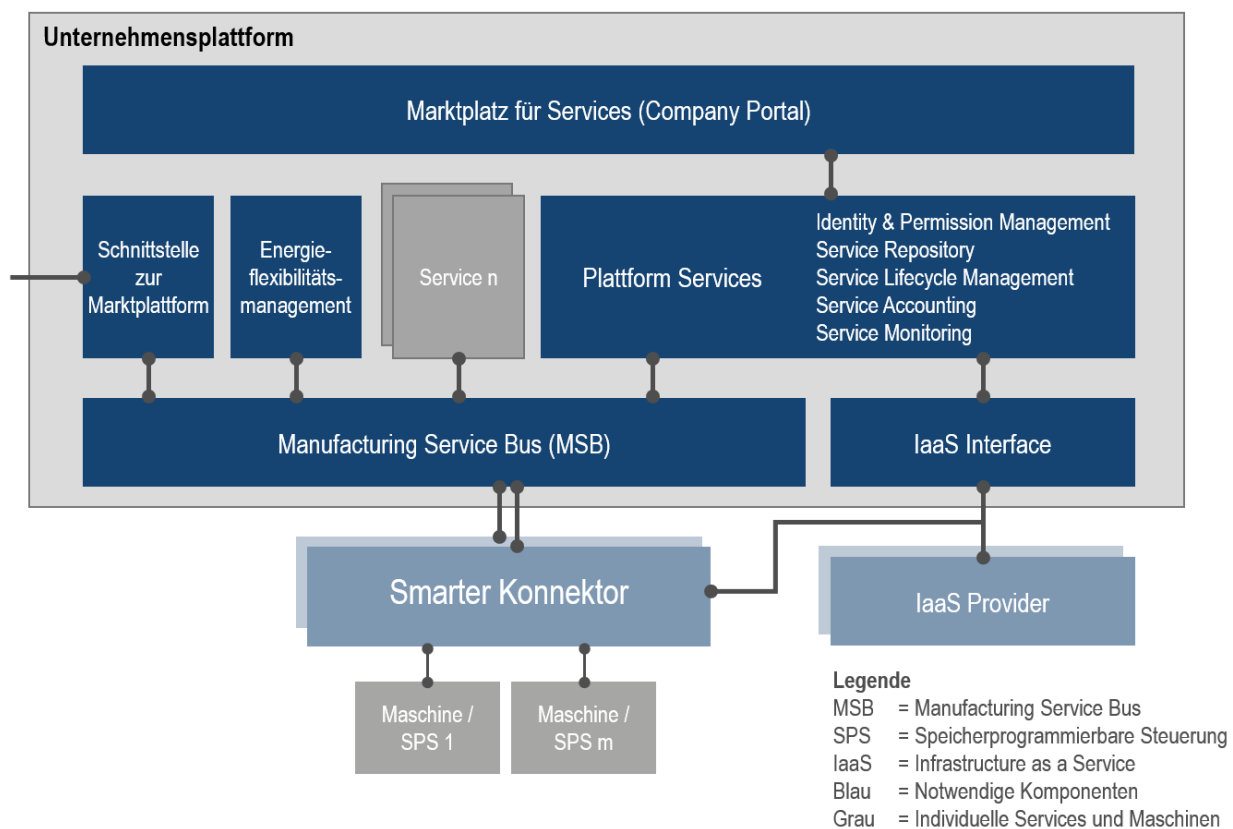


ABBILDUNG 7: ARCHITEKTUR DER UNTERNEHMENSPLATTFORM

Der **Marktplatz für Services** (Company Portal) stellt den Einstiegspunkt für Benutzer in die Nutzung der Produktions-IT dar. Ähnlich zum bekannten Konzept des AppStores auf Smartphones ist hier eine Übersicht aller im Unternehmen verfügbaren Services zu sehen. Aus diesen Services können dann die für die jeweilige Aufgabenstellung passenden Services ausgewählt werden, welche alle notwendigen Funktionalitäten abdecken.

Die **Plattform Services** ermöglichen das automatisierte Bereitstellen der über den Marktplatz (Company Portal) ausgewählten Services sowie das Erzeugen der für die Bereitstellung notwendigen Automatisierungsroutinen. Sie stellen somit einen Teil der „Platform as a Service“ Schicht der Unternehmensplattform dar, auf deren Basis „Software as a Service“ realisiert wird. Diese Plattform Services sind in mehrere Module nach ihrem Funktionsumfang wie folgt aufgeteilt:

- Identity & Permission Management - für die Verwaltung von Benutzern und Organisationen sowie das damit verbundene Rollen- und Rechtemodell.
- Service-Repository - verwaltet die verfügbaren Services mit ihrer fachlichen und technischen Beschreibung für eine automatisierte Instanziierung.
- Service Lifecycle Management - verwaltet den Lebenszyklus einer Service-Instanz.
- Service Accounting - stellt sicher, dass genutzte Leistungen eines Service abgerechnet werden können.
- Service Monitoring – überwacht die Einhaltung der vereinbarten Service Level Agreements hinsichtlich der Verfügbarkeit von Services, aber auch der Servicequalität.

Der **Manufacturing Services Bus** (Manufacturing Service Bus) ist eine einheitliche Integrationsschicht für alle Sensoren, Aktoren, Maschinen, Anlagen, IT-Systeme und Services im Unternehmen. Mittels sogenannter Integration Flows kann definiert werden, welche Daten und Informationen an welche angemeldeten Komponenten weitergeleitet werden. Zur herstellerunabhängigen Integration werden offene Schnittstellen und Standards genutzt. Diese umfassen einerseits industrielle Kommunikationsprotokolle (OPC UA, ROS, etc.), andererseits Protokolle aus der Informationstechnik (REST, Websocket, MQTT, etc.). Durch den modularen Aufbau können weitere Standards aufwandsarm integriert werden [10].

Der **Smarte Konnektor** ist eine Softwareschnittstelle, die es ermöglicht, Steuerungsdaten mit IT-Systemen und Cloud-Komponenten zu verbinden und damit Steuerungs- und Energiedaten aus unterschiedlichen Quellen zu integrieren (vgl. Abbildung 8). Hierzu werden SPS-Kommunikationsprotokolle und Web-/Netzwerkprotokolle möglichst echtzeitnah übersetzt. Während „echtzeitnah“ auf der SPS bereits heute in Millisekunden (Zykluszeit) abgebildet werden kann, stellt insbesondere die Kommunikation mit Cloud-Applikationen noch eine Herausforderung dar. Mittelfristige technische Lösungsansätze hierfür bietet beispielsweise das Time-Sensitive Networking, welches garantierte Antwortzeiten ermöglicht und auch mit weiteren Standards wie OPC UA integriert werden kann [11]. In wie weit die Implementierung eines solchen Netzwerkes den Aufbau des Smarten Konnektors beeinflussen würde, ist zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht im Detail absehbar. Durch den modularen Aufbau des Smarten Konnektors können neue SPS-Protokolle aufwandsarm integriert werden, was eine herstellerunabhängige Anbindung existierender Anlagen, sogenannter Brownfield-Anlagen, ermöglicht. Des Weiteren können auf dem Smarten Konnektor Services ausgeführt werden, weshalb dieser die Basis für Edge Computing bildet. Im Hinblick auf den Energieflexibilitätshandel bietet der wichtigste Service auf dem Smarten Konnektor die Möglichkeit, Energieflexibilitätsmaßnahmen in Form eines Datenmodells (vgl. Abschnitt 2.5) zu definieren. Diese werden anschließend an den Manufacturing Service Bus der Unternehmensplattform kommuniziert. Damit Energieflexibilitätsmaßnahmen auf dem Smarten Konnektor hinterlegt werden können, müssen diese bereits auf Grundlage der Prozessfähigkeiten identifiziert und definiert sein.

Der **Infrastructure-as-a-Service-Schnittstelle** (IaaS Schnittstelle) stellt das Bindeglied zwischen der Unternehmensplattform und der Hardware dar, auf welcher die Unternehmensplattform bereitgestellt wird (IaaS Provider). Je nach Betriebskonzept kann die Hardware hier entweder in Form eines unternehmenseigenen Rechenzentrums genutzt oder als Cloud-Angebot, beispielsweise Microsoft Azure oder Amazon WebServices, angemietet werden. Auch auf dem Smarten Konnektor können Services zur Datenverarbeitung in Anlagennähe ausgeführt werden (Edge Computing).

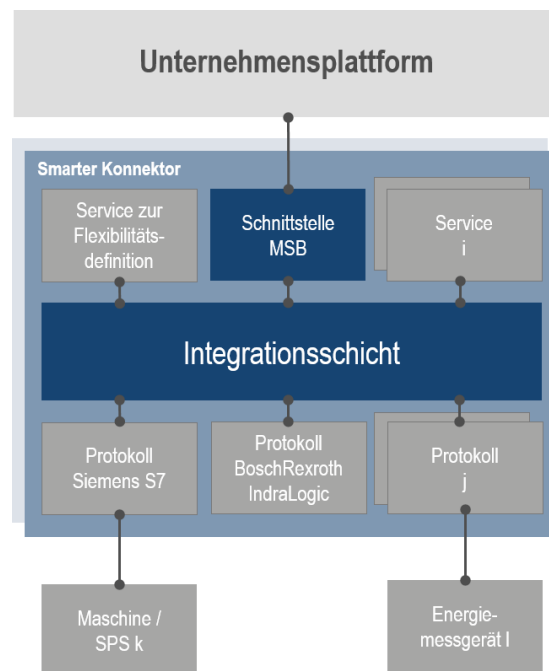


ABBILDUNG 8: ARCHITEKTUR DES SMARTEN KONNEKTORS

Services und Apps sind die grundlegenden Bausteine von Cloud-Applikationen, die als Teil von definierten Integration Flows mittels des Manufacturing Service Bus mit anderen Services und Apps interagieren können. Insgesamt lassen sich fünf Typen von Services und Apps auf der Unternehmensplattform unterscheiden [12], die je nach Ausgestaltung auch Ansätze des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz beinhalten können. *Integration Services* dienen der Anbindung von Maschinen, Anlagen und IT-Systemen an den Manufacturing Services Bus. Sie laufen üblicherweise direkt auf der SPS einer Maschine oder aber auf einem Smarten Konnektor. *CPS Services* stellen eine Kombination aus intelligenter Software mit Sensoren und Aktoren dar und dienen zur Abbildung hochflexibler Prozesskomponenten. Diese Services laufen üblicherweise direkt auf der Hardware des cyber-physischen Systems. Als *Backend Services* werden jene Services bezeichnet, die klar definierte und beschriebene Funktionen ohne grafische Benutzeroberfläche anbieten (z. B. Schnittstelle zur Marktplattform) und üblicherweise auf Cloud-Plattformen ausgeführt werden. Darauf bauen *Web Apps* auf, also betriebssystemunabhängige Anwendungen im Browser, die eine Kombination aus einem oder mehreren Backend Services mit einer grafischen Benutzeroberfläche umfassen (z. B. Dashboard). Web Apps laufen üblicherweise ebenfalls auf Cloud-Plattformen. Unter *Native Apps* werden betriebssystemspezifische Anwendungen verstanden, die ebenfalls eine Kombination aus einem oder mehreren Backend Services mit einer grafischen Benutzeroberfläche darstellen, jedoch oftmals hardwarenahe Szenarien abbilden (z. B. Datenerfassung mittels Sensorik). Entsprechend werden diese Native Apps direkt auf den jeweiligen Geräten der Benutzer ausgeführt. Nachfolgend werden die wichtigsten Services auf der Unternehmensplattform dargestellt.

Die **Schnittstelle zur Marktplattform** ist ein grundlegender Service der Unternehmensplattform und wird deshalb bereits an dieser Stelle beschrieben. Das Ziel der Schnittstelle ist es, Energieflexibilität im Unternehmen nach einer manuellen oder automatischen Entscheidung über die Marktplattform zu vermarkten. Dabei läuft die Schnittstelle ohne Benutzeroberfläche im Hintergrund und wird aus Sicherheitsgründen nur durch den nachfolgend beschriebenen Energieflexibilitätsmanagementservice aufgerufen. Andere Services auf der Unternehmensplattform kommunizieren dann über den Energieflexibilitätsmanagementservice mit der Schnittstelle zur Marktplattform.

3.3 Services auf der Unternehmensplattform

Neben den bereits beschriebenen Plattform Services, welche zum grundlegenden Betrieb der Unternehmensplattform notwendig sind, werden die Funktionalitäten zum automatisierten Energieflexibilitätshandel über verschiedene Services abgebildet. Grundvoraussetzung ist die in Abschnitt 3.2 beschriebene Schnittstelle zur Marktplattform sowie der Energieflexibilitätsmanagementservice.

Die Ausgestaltung weiterer Services kann zwischen verschiedenen Unternehmen jedoch sehr stark variieren. Grundsätzlich adressieren die Services dabei eine oder mehrere Ebenen der traditionellen Automatisierungspyramide und damit auch deren umsetzbare Energieflexibilitätsmaßnahmen (vgl. Abbildung 9). Auch wenn sich die Automatisierungspyramide zukünftig eventuell auflösen und vollständig über einzelne Services abgedeckt werden [12], ist sie heute noch in den meisten Unternehmen in ähnlicher Form vorzufinden.

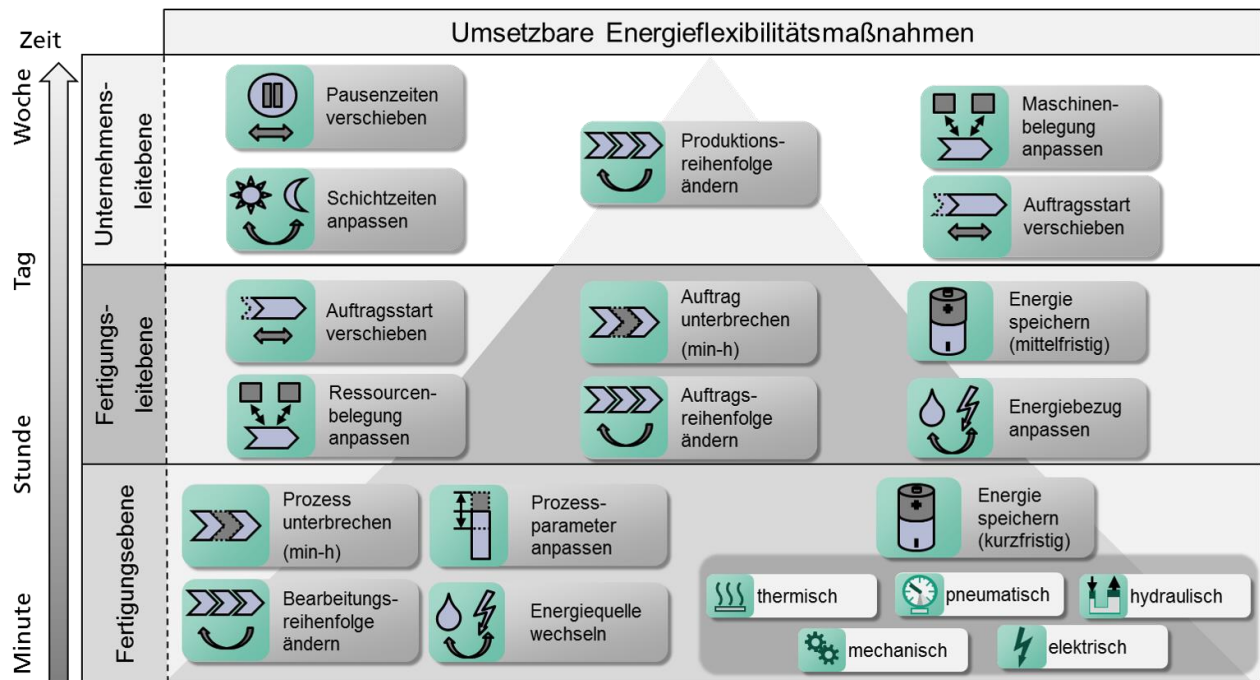
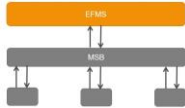


ABBILDUNG 9: ENERGIEFLEXIBILITÄTSMAßNAHMEN AUF DEN EBENEN DER AUTOMATISIERUNGSPYRAMIDE [13]

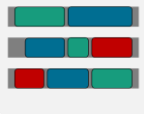
Energieflexibilitätsmanagementservice

	SERVICE: ENERGIEFLEXIBILITÄTSMANAGEMENT (EFMS)	
ZIEL Das übergeordnete Ziel des EFMS ist es, die im Unternehmen vorhandene Energieflexibilität zu verwalten und die Realisierung eben dieser zu orchestrieren. FUNKTIONSWEISE Alle „Erzeuger“ von Energieflexibilität (Smarter Konnektor, Optimierungsservices etc.) reichen ihre Energieflexibilitätsmaßnahmen an den EFMS. Dieser verwaltet alle Energieflexibilitätsmaßnahmen im Unternehmen. Der EFMS fungiert auch als Broker, der den Erzeuger einer Energieflexibilität speichert und bei einem Abruf eben dieser den Erzeuger zur Realisierung der Energieflexibilitätsmaßnahme auffordert. Hierzu werden über die Manufacturing Service Bus-Schnittstelle Events und Funktionen angeboten, die es anderen Services erlauben, Energieflexibilitätsmaßnahmen zu registrieren, auszulesen, zu ändern, zu vermarkten oder zu realisieren.	STAKEHOLDER • Produzierende Unternehmen: Produktionsplanung und -steuerung sowie Energiemanager • Software und Informationstechnik	
	INPUT • Kennzahlenset von Energieflexibilität (von einem Smarter Konnektor) • Abruf einer Energieflexibilitätsmaßnahme (von der Schnittstelle zur Marktplattform)	
	OUTPUT • Kennzahlenset von (aggregierter) Energieflexibilität (zu einem Optimierer auf der Unternehmensplattform oder der Schnittstelle zur Marktplattform) • Delegierter Abruf einer Energieflexibilitätsmaßnahme (zu einem Smarten Konnektor)	
ANWENDUNGSBEISPIEL Es sind zwei Ölbäder in der Produktion vorhanden, die jeweils über einen Heizstab erwärmt werden und die jeweils mit einem Smarten Konnektor an die Unternehmensplattform angebunden sind. Beide Smarte Konnektoren senden ihre hinterlegten Energieflexibilitätsmaßnahmen an den EFMS, welcher sie speichert und an alle weiteren Services propagieren kann (Broadcast). Nun kann ein Optimierungsservice beispielsweise zwei Energieflexibilitätsmaßnahmen zu einer neuen zusammenfassen und wiederum an den EFMS propagieren, der diese speichert. Vermarktet werden kann nun entweder manuell über den EFMS oder wiederum automatisiert durch einen Optimierungsservice. Wird die Realisierung einer vermarkteten Energieflexibilität von der Marktplattform abgerufen, identifiziert der EFMS den Erzeuger der Energieflexibilitätsmaßnahme (z.B. ein Optimierungsservice) und ruft darüber die Umsetzung in der Produktion auf. Besteht die Energieflexibilitätsmaßnahme aus zwei zusammengesetzten, so wird deren Abruf an die Smarten Konnektoren wiederum über den EFMS angestoßen, da dieser die zugehörigen Smarten Konnektoren kennt.		

Universeller Optimierungscontroller

	SERVICE: UNIVERSELLER OPTIMIERUNGSCONTROLLER	
ZIEL Der Universelle Optimierungscontroller koordiniert eingesetzte Optimierungsservices, sofern die Ergebnisse der einzelnen Optimierungen sich beeinflussen und die Optimierungen nicht unabhängig voneinander sind. Je nach Unternehmen kann diese Koordination verschiedene Planungs- und Ausführungsebenen von der Fertigungsebene bis zur Unternehmensleitebene umfassen. Die Ablaufsteuerung und der Datenaustausch zwischen den unterschiedlichen Optimierungsservices erfolgt über den Manufacturing Service Bus. Darauf aufbauend können durch komplexere Koordination und Kommunikation zwischen Einzeloptimierungen weitere Optimierungen durchgeführt werden. Der Universelle Optimierungscontroller ist an den EFMS als eigene Instanz angebunden.	STAKEHOLDER • Produzierende Unternehmen: Produktionsplanung und -steuerung, Produktionsmitarbeiter sowie Energiemanager	INPUT • Kennzahlenset von Energieflexibilität mit aktuellen Prozessdaten (aus einem Smarten Konnektor) • Gegebenenfalls MES- oder PPS-Daten der Optimierer • Energiemarktdaten, insbes. Preisprognosen (von der Marktplattform)
FUNKTIONSWEISE • Ergebnisse der Optimierungsservices werden über den Manufacturing Service Bus der Unternehmensplattform entgegengenommen • Abhängige Einzeloptimierungen werden koordiniert und Daten für Einzeloptimierungen bereitgestellt • Erzeugung von Varianten und deren Bewertung sowie Rückmeldung des Optimierungsergebnisses an den EFMS	OUTPUT • Koordinierte, gebündelte Ergebnisse aus den Einzeloptimierungen (zum EFMS) • Energieoptimierte Auftragslisten • Prognostizierte Energiekurven	
ANWENDUNGSBEISPIEL In der Produktion ist ein zentrales Ölbad vorhanden, das von zwei verschiedenen Produktionsprozessen zur Temperierung verwendet wird. Sofern es für beide Produktionsprozesse bereits Einzeloptimierungen gibt, wird durch wechselseitigen Aufruf der Einzeloptimierungen sichergestellt, dass die Produktionsanforderungen für beide Prozesse eingehalten werden können. Der Optimierungscontroller ermöglicht zudem eine einfache Skalierung des Produktionsprozesses, indem dynamisch weitere Produktionsprozesse an das Ölbad angeschlossen bzw. abgekoppelt (z.B. aufgrund von Wartung) werden können. Der universelle Optimierungscontroller generiert auf diese Weise neue Optimierungsvorschläge, die er an den EFMS übermittelt.		

Produktionsplanung und -steuerung (PPS)

	SERVICE: PRODUKTIONSPLANUNG UND –STEUERUNG (PPS)	
ZIEL Mit der PPS werden im Hinblick auf den Energieflexibilitätshandel zwei Ziele verfolgt: Einerseits die Ermittlung von Energieflexibilitätpotenzialen in Fertigungsalternativen und deren Bewertung hinsichtlich der logistischen Zielgrößen. Andererseits die Gestaltung von Fertigungsalternativen hinsichtlich optimierter logistischer und energetischer Zielgrößen auf Unternehmensleitebene. FUNKTIONSWEISE • Energiemarktdaten werden ausgelesen • PPS-Daten und Produktionsparameter werden ausgelesen • Der PPS-Optimierer (Service) legt die Feinplanung der Fertigungsalternative (auf der Fertigungsleitebene) unter Berücksichtigung der Parameter (inkl. Energiemarktdaten) und der gewichteten logistischen und energetischen Zielgrößen fest • Die PPS-Simulation (einer oder mehrere Services mit unterschiedlicher Granularität im Fokus) bewertet die Fertigungsalternative und kommuniziert die erwartete Erreichung der logistischen Zielgrößen und die Einschätzung des Potenzials bzgl. Energieflexibilität		STAKEHOLDER • Produzierende Unternehmen: Produktionsmitarbeiter • Software und Informationstechnik INPUT • Energiemarktdaten, z.B. Preise, Lastverlauf (von der Marktplattform) • Produktionsparameter, z.B. Maschinen, Anlagen, usw. (aus dem MES) • PPS-Daten (Fertigungsaufträge, Stücklisten, Arbeitspläne, usw.) OUTPUT • Logistik- und Energieoptimierte Fertigungsalternative (zum EFMS) • Logistische und energetische Bewertung der Fertigungsalternative (zum PPS-Optimierer)
ANWENDUNGSBEISPIEL Ein wesentlicher Anteil der Produkte eines beispielhaften Herstellers erfordert die Anwendung eines Ölbadess zum Erwärmen der Teile. Die Nutzung dieser Arbeitsstation wird dann charakterisiert durch eine lange Anlaufzeit zur Erhitzung des Bades sowie die Absicht, dieses aufgrund des erheblichen Strombedarfs kapazitätsoptimal zu nutzen (z.B. durch große Losgrößen). Der PPS-Optimierer entscheidet die Aufgaben des Ölbadess auf den Beginn der zweiten Schicht zu verschieben, um Energiekosten zu sparen. Die PPS-Simulation zeigt, dass diese Fertigungsalternative die logistischen Zielgrößen einhalten würde, ermittelt aber noch weiteres Flexibilitätspotenzial durch Verschiebung der Aufträge zum Ende des Tages. Dieses Potenzial wird zum PPS-Optimierer kommuniziert, dieser entscheidet dennoch, dass es nicht möglich ist, dieses Potenzial zu realisieren, da die Termintreue beeinträchtigt wird. Demzufolge wird die Fertigungsalternative akzeptiert.		

Manufacturing Execution System (MES)

	SERVICE: EINBINDUNG INS MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM (MES)		
ZIEL Das Ziel ist die Konzeption einer Architektur für die zielgerichtete Bereitstellung und Nutzung von relevanten Daten über Energieverbrauch und Energieangebot in bestehenden betrieblichen MES. Berücksichtigt werden vier MES-relevante Maßnahmen (Auftragsstart verschieben, Auftrag unterbrechen, Auftragsreihenfolge ändern und Maschinenbelegung anpassen) auf Fertigungsleitebene.		STAKEHOLDER • Produzierende Unternehmen: Produktionsplanung und -steuerung, Produktionsmitarbeiter • Software und Informationstechnik	
FUNKTIONSWEISE • Aus Maschinendaten werden Lastprofil und Verfügbarkeit ausgelesen. • Generierung möglicher Lastprofile unter Nutzung der identifizierten Energieflexibilitätsmaßnahmen (z. B. Vermeidung von Spitzen). • Bei der Generierung der Lastprofile fließen Erfahrungswerte der Vergangenheit mit ein. • Kommunikation der Lastprofile an die Marktplattform • Prüfung der eingegangenen Bewertungen der Lastprofile • Anpassung der Auftragsliste entsprechend des Lastprofils bzw. der betreffenden Energieflexibilitätsmaßnahme		INPUT • Maschinendaten z.B. Störungsdaten, Informationen über Prozessparameter • Zustandsdaten • PPS-Daten • Bewertete Lastgänge	
		OUTPUT • Energieoptimierte Auftragslisten • Prognostizierte Leistungskurven	
ANWENDUNGSBEISPIEL Beispielhaft werden Aufträge rund um die Prozesskette des Ölbad betrachtet. Die Lastprofile der unterschiedlichen Prozessschritte werden aggregiert und zur Bewertung aufbereitet. Nach einer simulierten Bewertung durch die Marktplattform werden die einzelnen Energieflexibilitätsmaßnahmen nach Bedarf umgesetzt. Dabei sollte die Umsetzung simulativ verifiziert werden.			

Evolutionäre Optimierung

	SERVICE: EVOLUTIONÄRE OPTIMIERUNG		
ZIEL Grundlage der Evolutionären Optimierung ist die Nutzung der Zusammenhänge zwischen Produktionsparametern und Energieverbrauch. Im Rahmen der Optimierung werden eine Vielzahl von Produktionsvarianten generiert, die sich in konkreten Produktionsparametern unterscheiden. Basierend auf evolutionären Prinzipien werden gute Produktionsvarianten weiter verbessert. Die Evolutionäre Optimierung kann auf verschiedenen Ebenen der Automatisierungspyramide zum Einsatz kommen: Auf Fertigungsebene wird sie zur optimalen Einstellung von Produktionsparametern verwendet. In einfachen Produktionen ohne MES übernimmt sie die Planung der Produktionsreihenfolge. In Produktionen mit vorhandenem MES kann die Evolutionäre Optimierung unterstützend auf der Fertigungsleitebene wirken. FUNKTIONSWEISE • Hinterlegen von analytischen bzw. statistischen Zusammenhängen zwischen Produktionsparametern und Energieverbrauch aus den Schlüsseltechnologien. • Abfrage erlaubter Änderungen der Produktionsparameter. • Generierung verschiedener Produktionsvarianten. • Abstimmung mit EFMS, ob Produktionsvarianten die Anforderungen / Angebote des Energiemarktes bedienen.	STAKEHOLDER • Produzierende Unternehmen: Produktionsplanung und -steuerung, Produktionsmitarbeiter sowie Energiemanager • Software und Informationstechnik		
	INPUT • Analytische und statistische Zusammenhänge zwischen Produktionsparametern und Energieverbrauch aus Schnittstelle EFMS • Aktuelle Maschinendaten z.B. aus Smarten Connector/OPC-UA (Zustand aus Manufacturing Service Bus) • Energiemarktdaten aus Schnittstelle EFMS		
	OUTPUT • Optimierte Produktionsparameter hinsichtlich konkreter Anforderungen / Angebote des Energiemarkts für Schnittstelle Universeller Optimierungscontroller • Prognostizierte Energiekurven		
ANWENDUNGSBEISPIEL Die Temperierung des Ölbads ist nicht nur rein elektrisch, sondern zusätzlich über Prozessabwärme von benachbarten Produktionsprozessen möglich. Die Temperierung des Ölbads kann steuerungs-basiert über mehrere Parameter dynamisch an geänderte Rahmenbedingungen (Energieverfügbarkeit, Heizbedarf, Umgebungstemperatur) angepasst werden. Zu den Parametern zählt beispielsweise die Pumpendrehzahl in den Primär- und Sekundärkreisläufen des Wärmetauschers. Die Evolutionäre Optimierung generiert verschiedene verbesserte Parametersätze, die als Energieflexibilitätsmaßnahmen vom EFMS mit dem Energiemarkt abgeglichen werden.			

4 MARKTPLATTFORM

4.1 Beschreibung und Ziel der Marktplattform

Das Ziel der Marktplattform ist die Anbindung von Unternehmen mittels einer Unternehmensplattform, von Flexibilitätsmärkten sowie Services, die die Vermarktung von Flexibilität unterstützen. Im Gegensatz zu den Unternehmensplattformen und den Services auf der Unternehmens- und Marktplattform, die in ihrer Anzahl auf der Energiesynchronisationsplattform (vgl. Abschnitt 2.2) grundsätzlich unbeschränkt oft vorkommen können, ist in der ersten Projektphase eine zentrale Marktplattform vorgesehen. Die Marktplattform ist dabei eine sogenannte multi-sided Platform, was bedeutet, dass die Plattform zwei bzw. mehrere unabhängige Parteien verbindet [14]. Eine multi-sided Platform muss einerseits die Anbindung jeder Partei mit der Plattform und andererseits die Kommunikation und Interaktion der Parteien ermöglichen [14]. Mit der Marktplattform sind prinzipiell zwei Gruppen verbunden: Unternehmensplattformen und Services. Auf der einen Seite dienen die Unternehmensplattformen primär dazu, die Flexibilität eines Unternehmens zu erfassen, um sie anschließend vermarkten zu können (siehe Kapitel 3). Durch die Anbindung der Unternehmensplattform an die Marktplattform können die notwendigen Informationen für den Flexibilitätshandel ausgetauscht werden. Auf der anderen Seite wird durch die angebotenen Services der Handel von Flexibilität unterstützt. Die in der ersten Förderphase vorgesehenen Services auf der Marktplattform umfassen die Strombörse, Regelleistungsmärkte, Prognose für Märkte und Netze sowie einen Handelsagenten. Die Marktplattform fungiert dabei als Intermediär, d.h. der Handel von Flexibilität bzw. die Verwendung von Services wird vermittelt und nicht direkt über die Marktplattform abgewickelt. Für die Angebots- und Nachfrageliste bedeutet dies, dass Unternehmen hier Flexibilitätsinserate einstellen können, wobei der Handel von Flexibilität immer auf dem in Abschnitt 2.5 beschriebenen Datenmodell basiert. Sobald ein Flexibilitätsabnehmer dieses Inserat kaufen möchte, wird über die Marktplattform der Kontakt hergestellt. Die Abwicklung des Kaufes erfolgt dann bilateral. Neben den oben genannten Services wird in enger Abstimmung mit Cluster IV ein Optimierungsservice entwickelt, der die durch den Einsatz von Flexibilität erzielbaren Erlöse an verschiedenen Flexibilitätsmärkten unter den gegebenen Rahmenbedingungen maximiert. Es ist jedoch vorgesehen, dass die Services interagieren können, sodass beispielsweise der Optimierungsservice auf die Preisprognosen eines anderen Services zurückgreift. Die Service-Broker-Architektur der Marktplattform ermöglicht dabei die dynamische Registrierung verschiedener Service- und Datenanbieter und damit die standortunabhängige Integration verschiedener Arten von Services. Im weiteren Verlauf kann diese Umgebung für die Implementierung zusätzlicher Services genutzt werden. Dadurch wird ein neuer Marktplatz für innovative Energiedienstleistungen bereitgestellt und freier Wettbewerb zwischen den Anbietern von Services geschaffen [5].

Die Entwicklung einer zentralen Marktplattform mit den Charakteristika einer multi-sided platform hat folgende Vorteile: die Marktplattform, als „single source of truth“, ist effizient hinsichtlich der verfügbaren Informationen und ermöglicht den Teilnehmern mithilfe der unterstützenden Services auf der Plattform eine bessere Entscheidungsgrundlage [14]. Zudem führt eine multi-sided platform zu geringeren Transaktionskosten [14]. Aktuell müssen Unternehmen aufwendige Prozesse durchlaufen, um an Märkten für Flexibilität teilnehmen zu können. Für den Regelleistungsmarkt ist beispielsweise ein Präqualifikationsprozess notwendig, der die Eignung der technischen Einheit belegt. Für die Marktplattform ist es denkbar, dass diese die Zugangsberechtigungen der Teilnehmer zu den angebotenen Märkten überprüft und den Zugang entsprechend steuert.

Um ihre Flexibilität zu bestimmen und zu vermarkten, können Unternehmen entweder auf eigene Daten zugreifen und diese zu entscheidungsrelevanten Informationen aufbereiten oder hierfür teilweise oder vollständig Serviceleistungen Dritter sowohl über die Unternehmens- als auch über die Marktplattform beziehen. Unternehmen können ihre Flexibilitätsmaßnahmen in einem standardisierten Datenmodell auf der Marktplattform zur Verfügung stellen. Bei den Stromverbrauchs- und Energiekostendaten eines Unternehmens handelt es sich um sensible Daten. Im Haushaltssektor wurde bereits gezeigt, dass anhand des Stromlastgangs Rückschlüsse auf einzelne Geräte gezogen werden können. [17] Eine auf der Marktplattform angebotene Flexibilität könnte beispielsweise dazu verwendet werden, Rückschlüsse auf die Auftragslage eines Unternehmens zu ziehen. Aus diesem Grund sieht die Marktplattform Sicherheitsmechanismen wie u. a. eine Filterfunktion oder Einstellungen, mithilfe derer Flexibilitätsangebote für bestimmte Zielgruppen nicht auffindbar sind, vor. So kann beispielsweise für konkurrierende Unternehmen die Sichtung der eigenen angebotenen Flexibilitätsmaßnahme deaktiviert werden. Andere Marktplattformteilnehmer wie Verteil- und Übertragungsnetzbetreiber, Verbraucher sowie Erzeuger, bei denen der tatsächliche vom prognostizierten Last-/Erzeugungsplan abweicht, können aus diesen Angeboten Flexibilitätsmaßnahmen auswählen, was die Beschaffung ihres Energiebedarfs mithilfe der Marktplattform ermöglicht.

Folgende zentrale Anforderungen an die Marktplattform sollen erfüllt werden:

- Im Zentrum der Marktplattform und der angebundenen Services steht die Vermittlung des standardisierten Handels von Flexibilität.
- Über die Marktplattform bieten Unternehmen ihre Flexibilität auf verschiedenen Märkten an. Es erfolgt kein Flexibilitätsclearing durch den Service Broker.
- Zur Kontrakt-/ Lastoptimierung können über die Plattform spezialisierte Services bezogen werden.
- Die Marktplattform vermittelt dezentral Service- und Datenleistungen zwischen Anbietern und Nutzern.
- Die Marktplattform muss eine Vielzahl miteinander kombinierbarer Use Cases abbilden können.
- Die Marktplattform bietet geeignete Sicherheitsmechanismen für ihre Teilnehmer, sowohl in Bezug auf Zugriffsrechte innerhalb der Plattform, als auch durch Angriffe von außen.

4.2 Aufbau der Marktplattform

Innerhalb der Marktplattform bündelt der Service-Broker als zentral vermittelnde Instanz die Kommunikation zwischen den Flexibilitätsanbietern und -nachfragern und wahrt so die Funktion als „single source of truth“ für die auf der Marktplattform gehandelte Energieflexibilität [5]. Die Marktplattform ist dementsprechend das vermittelnde und verbindende Glied im Flexibilitätshandel einerseits und andererseits bei der Vermittlung von Dienstleistungen zwischen Services, Datenanbietern und Unternehmensplattformen im Kontext der Energiesynchronisationsplattform. Auf der Marktplattform wird eine Laufzeitumgebung bereitgestellt, mittels derer externe Services direkt auf der Marktplattform gehostet werden können. Die zentralen Services ermöglichen die Vermarktung von Nachfrageflexibilität. Abbildung 10 zeigt die Architektur der Marktplattform.

Auf der Seite der Flexibilitätsnehmer sollen insbesondere die Netzbetreiber aller Spannungsebenen, Stromhandelsplätze und Regelleistungsmärkte angebunden werden. Des Weiteren sind in der ersten Projektphase Handelsagenten, Prognosedienste für Märkte und Netze sowie marktseitige Optimierungsdienste als Services vorgesehen. Im Zuge der Anforderungsanalyse wurden Aggregatoren, Versicherungen, Wetterdienste, regionale Marktplätze, Preisprognosedienste und Programmierdienstleistungen als weitere essentielle Services identifiziert. Die Marktplattform ist als digitaler Marktplatz konzipiert, d.h. dass sich das Funktions- und Serviceangebot nachfrageabhängig über die Zeit ändert.

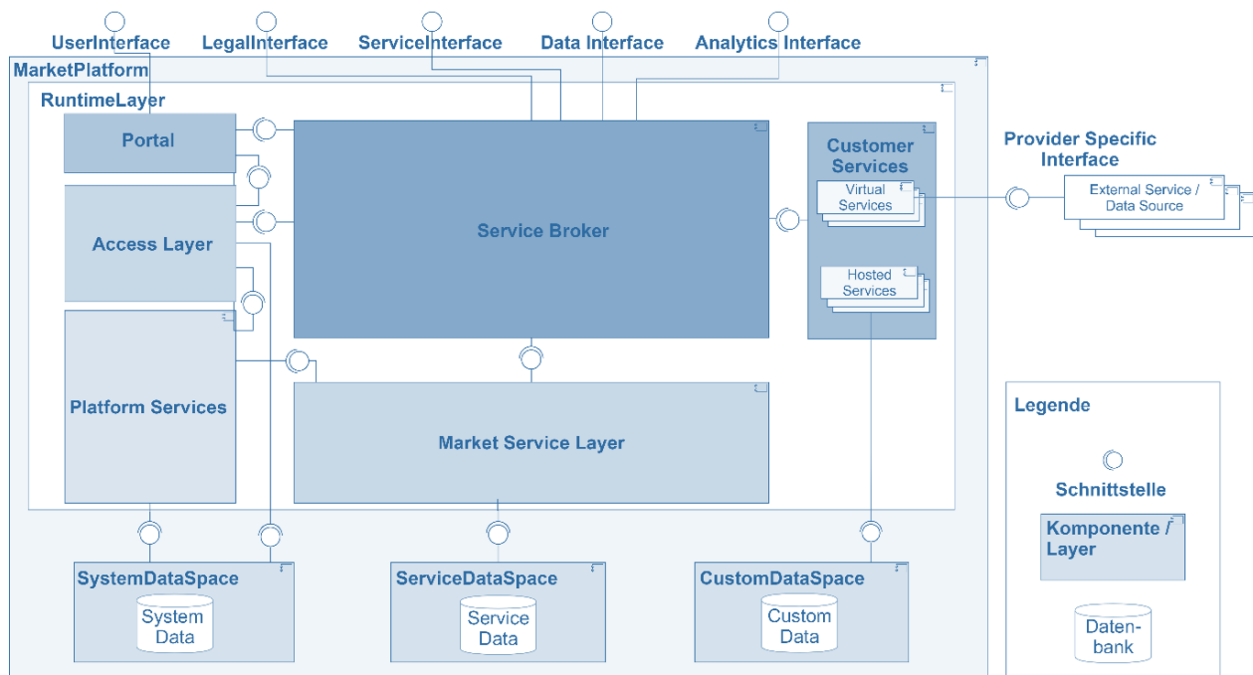


ABBILDUNG 10: ARCHITEKTURENTWURF DER MARKTPLATTFORM

4.3 Services auf der Marktplattform

In Anlehnung an das „Representation State Transfer“ Paradigma [18] und der resultierenden Trennung von prozeduralen und ressourcenorientierten Schnittstellen wird auf der Marktplattform zwischen der Vermittlung von Services und Daten unterschieden.

Services ermöglichen den Nutzern der Marktplattform mit anderen Teilnehmern und externen Dienstleistern zu interagieren. Sie decken einen breiten Funktionsumfang ab, von der Datenverarbeitung bis hin zum Handel mit Flexibilität und Energieprodukten. Verglichen mit dem uniformen Austausch von Daten können die proprietären Schnittstellen je nach Anbieter stark variieren. Ihr Aufruf kann zu Seiteneffekten führen und Veränderungen in der realen Welt nach sich ziehen. Eine semantische Annotation erleichtert ihre Auffindbarkeit und fördert den freien Wettbewerb zwischen Anbietern von vergleichbaren Services.

Der Austausch von Daten lässt sich dank der kleinen Menge an benötigten Operationen über eine standardisierte einheitliche Schnittstelle erfassen. Gegenüber dem Aufruf von Services hat der reine Datenaustausch im besten Fall keine unmittelbare Auswirkung auf die reale Welt und lässt sich unbegrenzt wiederholen. Weiter unterscheidet sich die Beschreibung von Daten wesentlich, indem sie u. a. deren raum-zeitlichen Kontext, Struktur, Qualität, Dynamik und Bereitstellung berücksichtigen muss. Beispielsweise können Zeitreihen von Wettervorhersagen oder Börsenpreisen, aber auch verfügbare Flexibilitätsmengen in einem bestimmten Netzgebiet angefragt werden.

Um Unternehmen bei der Vermarktung von Flexibilität zu unterstützen, können diese eine Vielzahl an Services nutzen, die ihnen dabei behilflich sind. Dieser Services werden im Folgenden in Form von kurzen Steckbriefen vorgestellt.

Abgesehen von den im Folgenden vorgestellten Services werden für die Zukunft bereits weitere Services geplant; beispielsweise ein Aggregations- und Wetterprognoseservice. Der Aggregationsservice wird dazu dienen, einzelne Flexibilitätspotenziale kleinerer Unternehmen zu bündeln, sodass diese die Mindestgröße zum Handel auf den verschiedenen Energiemärkten erreichen. Der Wetterprognoseservice findet indirekt Verwendung bei der Vermarktung von Flexibilitätspotenzialen, da sich mit ihm Rückschlüsse auf die weitere Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien (und damit z.B. auf den Einsatz von Regelleistung) ziehen lassen.

Darüber hinaus stellt die Marktplattform im aktuellen Release Angebots- und Nachfragelisten zur Verfügung, um eine Übersicht der bereitgestellten Flexibilität zu ermöglichen. Es handelt sich hierbei lediglich um eine für Demonstrationszwecke notwendige Funktionalität, durch welche die Benutzer mit der Marktplattform interagieren können. Aus Sicht des Service Brokers wird diese Funktionalität wie ein normaler Service behandelt.

Strombörse

	SERVICE: STROMBÖRSE	
ZIEL Der vorliegende Service soll zur Anbindung der Strombörse an den Service-Broker einen bidirektionalen Informationsaustausch ermöglichen. Es ist notwendig, dass Optimierungsservices, Handelsagent oder Prognoseservice laufend mit Preisinformationen der verschiedenen börsenseitig gehandelten Produkte versorgt werden. FUNKTIONSWEISE • Datenbeschaffung von den Quellen der Strombörse Die Funktionen können durch die Implementierung von Wrappern für die bereits existierenden APIs der Strombörse umgesetzt werden.		STAKEHOLDER • Produzierende Unternehmen als Konsumenten des Service • Andere Services der Marktplattform INPUT • Zeitpunkte und Produktarten, für die Informationen übertragen werden sollen (Marktplattformteilnehmer) OUTPUT • Preisinformationen (Marktplattformteilnehmer) • Transaktionen (Marktplattformteilnehmer)
ANWENDUNGSBEISPIEL Flexibilitätsnehmer sehen einen angebotenen, flexiblen Heizstab in Form eines anonymen Energieflexibilitätsinserats und können diesen bei Bedarf nach einem Energieflexibilitätsprodukt anfragen und die entsprechenden Transaktionen zum Kauf an der Strombörse vornehmen.		

Regelleistungsmärkte

	SERVICE: REGELLEISTUNGSMÄRKTE	
ZIEL Für einen sinnvollen Betrieb der Marktplattform ist neben der Anbindung der Strombörse auch ein Service für Datengewinnung und Handel mit dem Regelleistungsmarkt wichtig. Da der Regelleistungsmarkt aktuell das wichtigste Vermarktungsinstrument für Nachfrageflexibilität ist, kann über die Marktplattform auf diesen zugegriffen werden. FUNKTIONSWEISE Fällen von rechtlich bindenden Entscheidungen in Stellvertretung für ein Unternehmen Es können zunächst nur Anbieter mit einer entsprechenden Präqualifizierung am Regelleistungsmarkt handeln. Daher werden die meisten Handelsagenten zunächst nur indirekt Zugang zu diesem Service über einen Aggregationsservice erhalten. Weiterhin wird neben den verschiedenen Produkten am Regelleistungsmarkt für die Sekundärregelleistung und Minutenreserve auch zwischen dem Leistungspreis und dem Arbeitspreis unterschieden. Hierfür muss das zweistufige Vergabeverfahren für Regelleistung berücksichtigt werden.	STAKEHOLDER - Produzierende Unternehmen als Konsumenten des Service - Andere Services der Marktplattform	
	INPUT Zeitpunkte und Produktarten, für die Informationen übertragen werden sollen	
	OUTPUT - Preisinformationen - Transaktionen	
ANWENDUNGSBEISPIEL Ein energieflexibler Heizstab wird in einem vorgeschalteten Schritt durch den verantwortlichen Übertragungsnetzbetreiber für die Regelleistung präqualifiziert. Danach wird ein entsprechendes Flexibilitätsinserat erstellt, das für die Erbringung von Regelleistung in dem entsprechenden Vergabeverfahren ausgewählt wird.		

Prognosedienste für Märkte und Netze

	SERVICE: PROGNOSEDIENT FÜR MÄRKTE UND NETZE	
ZIEL Das übergeordnete Ziel des Dienstes besteht in der Bereitstellung von Prognosedienstleistungen für alle Teilnehmer der Energiesynchronisationsplattform, die eine Voraussage über den Marktwert und gegebenenfalls die Markttiefe verschiedener auf der Börse handelbarer oder öffentlich ausgeschriebener Standardprodukte im Bereich der Flexibilitätsvermarktung benötigen. FUNKTIONSWEISE • Auswahl eines Produktes, sowie gegebenenfalls eines Zeitraums, für den die Preisprognose benötigt wird • Senden einer entsprechend parametrisierten Anfrage an die API der Marktplattform, über die der Prognosedienst bereitgestellt wird • Rückgabe der Prognosedaten in Form von Preis- und gegebenenfalls Leistungszeitreihen über die Plattform Der Prognosedienst wird extern gehostet und stellt eine in die Marktplattform eingebundene API zur Verfügung. Der Dienst kann durch Nutzung eines entsprechend parametrisierten Service-Aufrufs an die Marktplattform angesprochen werden.		STAKEHOLDER • Anbieter und Nachfrager von Flexibilität auf der Energiesynchronisationsplattform • Optimierungsservices auf der Markt- und Unternehmensplattform • Handelsagenten auf der Marktplattform • Aggregatoren auf der Marktplattform INPUT • Parametrierter Aufruf über das angeforderte Prognoseprodukt und gegebenenfalls den geforderten zeitlichen Horizont der Prognose OUTPUT • Preisprognosen für auf der Börse handelbare / öffentlich ausgeschriebene Standardprodukte • Prognosen für die Markttiefe auf der Börse handelbarer / öffentlich ausgeschriebener Standardprodukte
ANWENDUNGSBEISPIEL Preisprognose für den Day-Ahead-Stromhandel. Ein Unternehmen möchte durch proaktive Flexibilitätsvermarktung seine Strombezugskosten minimieren, indem die Produktionsplanung so angepasst wird, dass der sich aus der Prozessführung ergebende Elektrizitätsbedarf umgekehrt proportional zu den erwarteten Preisen der Day-Ahead-Auktion verhält. Um bei der Auktion limitierte Gebote (Menge/Preis) sinnvoll platzieren zu können, ist eine möglichst gute Preisprognose für die erwarteten Zuschlagspreise unabdingbar, die vom Prognosedienst für Märkte und Netze bereitgestellt werden kann.		

Marktseitige Optimierung

	SERVICE: MARKTSEITIGE OPTIMIERUNG	
ZIEL Der Service der Marktseitigen Optimierung ist einer der wesentlichen Services, den es als Mindestangebot für den Betrieb der Marktplattform bedarf. Ziel dieses Services ist, ausgehend von Marktinformationen als Input zu ermitteln, an welchen Strommärkten und mit welchen Produkten mit einer gegebenen Flexibilität sich am meisten Ertrag für die Unternehmen erzielen lässt. FUNKTIONSWEISE • Optimierung basierend auf Preiszeitreihen und Verwertung von Flexibilitätspotenzialen auf verschiedenen Märkten wie Strombörse und Regelleistungsmarkt • Flexibilitätspotenziale verfügen über Freiheitsgrade wie Haltedauer und Leistungsstufe, die entsprechend den Marktinformationen angepasst werden Es gilt insbesondere zu berücksichtigen, dass sich der Aufgabenbereich der Marktseitigen Optimierung über mehrere, strukturell unterschiedliche Märkte erstreckt. Davon abhängig werden verschiedenartige Marktmodelle gestaltet, um den Anforderungen an die Optimierung gerecht zu werden.	STAKEHOLDER • Produzierende Unternehmen, die Flexibilität anbieten • Händler	
	INPUT • Marktdaten wie Preiszeitreihen • Flexibilitätsinserterate	
	OUTPUT • Konfiguration des zuvor spezifizierten Flexibilitätsinserterats • Markt • Anlagezeitpunkt • Angebotspreis	
ANWENDUNGSBEISPIEL Ein energieflexibler Heizstab wird in Form eines anonymen Energieflexibilitätsinserterats angeboten. Zur automatischen Vermarktung durch den Handelsagenten wird auf die marktseitige Optimierung zurückgegriffen, um die Unternehmensstrategie in Form eines größtmöglichen Erlöses zu erreichen.		

Handelsagent

		SERVICE: HANDELSAGENT	
ZIEL Die Rolle des Handelsagenten-Services besteht darin, automatisiert für die teilnehmenden Unternehmen an der Marktplattform Entscheidungen zu treffen. Zu diesem Zweck fragt er Informationen von anderen relevanten Services wie z.B. der marktseitigen Optimierung auf der Marktplattform ab. Für den Handelsagenten kann es in einem späteren Stadium möglich sein, verschiedene Unternehmensstrategien zu hinterlegen, um beispielsweise die Risikoaffinität des Unternehmens zu berücksichtigen.		STAKEHOLDER • Marktplattformteilnehmer	
FUNKTIONSWEISE • Fällen von rechtlich bindenden Entscheidungen in Stellvertretung für ein Unternehmen • An- und Verkauf von auf der Marktplattform angebotener Flexibilität Durch den Handelsagenten wird sichergestellt, dass das Entscheidungsverhalten der Unternehmen beim Handel mit Nachfrageflexibilität auch am Markt umgesetzt wird. Dabei liegt der Innovationsgehalt vor allem in der Abbildung des abstrakten Entscheidungsverhaltens in konkrete Regeln und Algorithmen.		INPUT • Ergebnisse der marktseitigen Optimierung • Flexibilitätsinserterate	
		OUTPUT • An- und Verkauf von Flexibilität zu den jeweils günstigsten Bedingungen (gem. Unternehmensstrategie)	
ANWENDUNGSBEISPIEL Ein energieflexibler Heizstab wird in Form eines anonymen Energieflexibilitätsinserterats angeboten und mithilfe des Handelsagenten automatisch auf einem passenden Markt vermarktet.			

5 INFORMATIONSSICHERHEIT

In den 1970er Jahren, als die Basistechnologien für das Internet entwickelt wurden, existierte kein Sicherheitskonzept. Als Konsequenz daraus mussten Erweiterungen wie beispielsweise Transport Layer Security (TLS) entwickelt werden, die sich bis heute nicht flächendeckend durchgesetzt haben [17]. Am Beispiel des Internets verdeutlicht sich, wie wichtig es ist, die Risiken einer neuen Entwicklung richtig einzuschätzen, die nötigen Gegenmaßnahmen zur Minderung dieser Risiken zu entwickeln und zu einem angemessenen Zeitpunkt umzusetzen sowie diese Maßnahmen zu testen.

Für die Energiesynchronisationsplattform wird die Komplexität dieser Fragestellungen durch die Diversität der im Forschungsprojekt betrachteten Industriesektoren und durch stetige Erweiterungen der Anforderungen potenziert. Weiterhin unterscheiden die Gegebenheiten und das Gefährdungspotenzial einzelner Unternehmen sich stark voneinander. Sie hängen von internen (Umsatz, Produktionsprozess, Konkurrenz etc.) wie auch externen Faktoren (z.B. den Betreiberszenarien einer selbst bzw. fremd-gehosteten Unternehmensplattform) ab. Auch wegen der nicht unerheblichen Investitionskosten sollten die Abwehrmaßnahmen eines Unternehmens dem individuellen Gefährdungspotenzial (gemäß einer Risikoanalyse nach beispielsweise BSI-Standard 200-3) angepasst sein.

Als Schlüsselkomponente stellt die Marktplattform einen zentralen Angriffspunkt für jede der angeschlossenen Unternehmensplattformen dar. Deren Fehlfunktion könnte, sofern keine Gegenmaßnahmen getroffen wurden, die Stabilität des Versorgungsnetzes und der Produktion angeschlossener Unternehmen beeinträchtigen. Somit sollten dezentral Gegenmaßnahmen an einzelnen Unternehmensplattformen implementiert sein, die ihre Fehlbedienung und eine missbräuchliche Nutzung verhindern. Basierend auf einer Gefahrenanalyse von öffentlichen gewordenen Vorfällen und den Angaben einiger Projektteilnehmer wurden mögliche Risiken identifiziert, denen die Energiesynchronisationsplattform, die Unternehmensplattformen und die Marktplattform ausgesetzt sein könnten. Sie dienen dazu, die nötigen Mindestmaßnahmen besser einzuschätzen zu können.

5.1 Anforderungen an die Sicherheit

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Anforderungen an die Sicherheit formuliert. Diese Aspekte müssen von der Sicherheitsarchitektur durch definierte Maßnahmen umgesetzt werden, um die im nächsten Abschnitt definierten Schutzziele zu erreichen.

Vertraulichkeit

In der Energiesynchronisationsplattform werden vertrauliche Informationen zwischen den Unternehmensplattformen, der Marktplattform und den auf der Marktplattform angebotenen Services ausgetauscht. Die Vertraulichkeit dieser Informationen muss gewährleistet werden, d.h. die Informationen dürfen nicht von unberechtigten Parteien eingesehen werden. Das gleiche gilt auch für Informationen, die innerhalb der Plattformen (Unternehmensplattform und Marktplattform) ausgetauscht, verarbeitet und gespeichert werden.

Integrität

Die Integrität aller kommunizierten und gespeicherten Informationen in den beiden Teilplattformen und der dazwischenliegenden Schnittstelle muss sichergestellt werden. Dies gilt insbesondere für Situationen, in denen ein Schaden für die Unternehmen, den Marktplattform-Betreiber oder andere entstehen kann.

Verfügbarkeit

Damit die Energiesynchronisationsplattform ihren Zweck erfüllen kann, müssen die Unternehmensplattform und die Marktplattform eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Dadurch, dass nur eine Marktplattform existiert, muss ein eventueller Ausfall durch den Einsatz geeigneter Gegenmaßnahmen abgesichert werden.

Auf der Unternehmensplattform muss mit höchster Priorität die Verfügbarkeit der Produktion eines Unternehmens sichergestellt werden. Sobald ein Unternehmen nicht mehr produziert, ist dessen primäre Einnahmequelle gefährdet. Zusätzlich muss aber auch die Verfügbarkeit der Unternehmensplattform sichergestellt werden, damit der Energieflexibilitätshandel des Unternehmens ausfallfrei stattfinden kann und somit keine Strafzahlungen anfallen.

Identität

Die Identität aller Teilnehmer der Energiesynchronisationsplattform muss zu jeder Zeit von berechtigten Teilnehmern festgestellt werden können. Dies trifft insbesondere auf Situationen zu, in denen nachvollzogen werden muss, warum und durch wen eine Aktion durchgeführt wurde. Dies gilt auch innerhalb der beiden Teilplattformen.

Nachvollziehbarkeit und Nichtabstreitbarkeit

Die Aktionen eines Teilnehmers müssen für berechnigte Instanzen nachvollziehbar sein und die Zuordnung der Aktionen zum Teilnehmer darf nicht abstreitbar sein. Dies dient der (gegebenenfalls rechtlichen) Verfolgung und Aufklärung von Zwischenfällen.

5.2 Schutzziele der Energiesynchronisationsplattform

Aus den genannten Szenarien und Anforderungen ergeben sich konkrete Schutzziele für die Unternehmensplattform und die Marktplattform. Diese sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

5.3 Schutzziele der Unternehmensplattform

TABELLE 3: SCHUTZZIELE DER UNTERNEHMENSPLATTFORM

Unternehmensplattform-Schutzziel	Beschreibung
1	Die Produktionsprozesse der Unternehmen dürfen durch jegliches Handeln der Unternehmensplattform nicht ungewollt beeinflusst, verzögert oder behindert werden.
2	Die Verfügbarkeit der Plattform muss innerhalb eines definierten SLAs gewährleistet sein.
4	Die Unternehmensplattform muss vor unberechtigtem Zugriff geschützt werden.
5	Informationen die Rückschlüsse auf die Produktion eines Unternehmens erlauben, müssen nur nach dem "need to know"-Prinzip weitergegeben werden.
6	Die Informationen der Unternehmensplattform dürfen nicht unerlaubt verändert werden.
7	Die Informationen der Unternehmensplattform müssen vor Verlust geschützt werden (Backups, Checksums, USV).
8	Beim Austausch von sensiblen Informationen muss die Identität aller Kommunikationspartner (dies meint sowohl Benutzer als auch Systeme) sichergestellt werden.
9	Jegliche Aktion einzelner Stakeholder und der Unternehmensplattform selbst müssen sicher protokolliert werden. Insbesondere bei Maßnahmen, die einen Einfluss auf die Produktion oder den Handel auf der Marktplattform haben.
10	Jegliche Aktion muss einem Stakeholder oder einer Unternehmensplattform-Komponenten zugeordnet werden können und diese Zuordnung darf nicht anfechtbar sein. So, dass diese Informationen gegebenenfalls vor Gericht als Beweis verwendet werden können (Non-Repudiation).

5.4 Schutzziele der Marktplattform

TABELLE 4: SCHUTZZIELE DER MARKTPLATTFORM

Marktplattform-Schutzziel	Beschreibung
1	Das Marktmodell und die dazugehörigen Marktmechanismen zeichnen sich durch eine angemessene Robustheit aus.
2	Die Verfügbarkeit der Plattform muss innerhalb eines definierten SLAs gewährleistet sein.
4	Im Routinebetrieb auftauchende Fehler müssen erkennbar sein und dürfen die Stabilität der Marktplattform nicht gefährden.
5	Glaubhafte Nachweisbarkeit der Identität eines einzelnen Marktteilnehmers gegenüber den anderen Marktteilnehmern muss gewährleistet werden.
6	Informationen müssen eindeutig ihrer Informationsquelle zugeordnet sein.
7	Rechtlich relevante elektronische Informationen dürfen nur von autorisierten Stakeholdern erstellt und verändert werden. Jede Modifikation muss nachvollziehbar und zurückverfolgbar sein.
8	Informationen dürfen für unberechtigte Dritte nicht einsehbar sein.
9	Zugriffe auf die Marktplattform und deren angebotene Dienste sowie die Einigung und der Abschluss eines Handels müssen sicher protokolliert werden.
10	Bereitstellung von Informationen, die gegebenenfalls vor Gericht als Beweis verwendet werden können, wobei eine Manipulation eben dieser ausgeschlossen werden muss.
11	Die Verfügbarkeit der Daten muss sichergestellt sein (beispielsweise durch Backups).

5.5 Umfeldbetrachtung

Neben der Berücksichtigung von Anforderungen und Schutzzielen der Energiesynchronisationsplattform ist auch eine Betrachtung des näheren Einsatzumfeldes zur Ableitung des Sicherheitskonzepts notwendig.

Unternehmensplattform

Die Entscheidung eines Unternehmens, ob es eine Unternehmensplattform nutzen wird, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Zum einen benötigt das Unternehmen bereits vorab einen gewissen Grad der Digitalisierung, sodass das Vorhaben für dieses Unternehmen überhaupt umsetzbar ist. Zum anderen hängt es auch von den bisherigen Sicherheitsvorkehrungen und den Sicherheitsbedenken des Unternehmens ab. Für viele Unternehmen kann insbesondere der letzte Punkt ein Problem darstellen, da häufig das Sicherheitskonzept der Unternehmen eine

Aufteilung in Verwaltungsnetz und Produktionsnetz vorsieht. Weiterhin ist das Produktionsnetz von allen anderen Netzen isoliert, sodass ein Angreifer erst diesen Air-Gap überwinden muss.

Aber gerade die Aufteilung und die Isolation werden durch den Einsatz der Unternehmensplattform nicht mehr möglich sein. Der Grund hierfür ist, dass die Unternehmensplattform auf der einen Seite Komponenten des Produktionsnetzes (wie SPS und SCADA-Systeme) mit Systemen aus dem Verwaltungsnetz (wie einem ERP-System) verbindet. Hinzu kommt die Anforderung der Energiesynchronisationsplattform an die Unternehmensplattform, zeitnah auf Anfragen und Käufe der Marktplattform zu reagieren, dadurch sind rein manuelle Prozesse zum Informationsaustausch ausgeschlossen. Hier besteht eine besondere Gefahr für Unternehmen, welche nicht vor der Einführung der Unternehmensplattform die Konsequenzen dieses Unterfangens für ihre Organisation und Infrastruktur analysieren. Dabei ist auch zu beachten, dass eine vollständige Sicherheit nicht garantiert werden kann und somit zusätzliche Vorkehrungen gegen eine sich fehl verhaltende Unternehmensplattform vorgenommen werden müssen. Beispiele hierfür sind zusätzliche Firewalls, einspielen von Sicherheitspatches auf allen mit der Unternehmensplattform verbundenen Systemen und Intrusion Prevention Systems.

Eine weitere wichtige Frage, die vor einem Einsatz der Unternehmensplattform geklärt werden muss, ist wie abhängig das Unternehmen von der Unternehmensplattform sein möchte. Denn ein Angreifer kann die Unternehmensplattform für das Unternehmen unbrauchbar machen. Beispiele für solche Angriffe sind DoS-Angriffe. Selbst wenn das Unternehmen die Unternehmensplattform nicht selbst betreibt, ist ein Angreifer immer noch in der Lage, einen DoS-Angriff auf die Verbindung zwischen dem Unternehmen und der Unternehmensplattform durchzuführen. Dadurch, dass die Unternehmensplattform ein verteiltes IT-System ist, reicht ein erfolgreicher DoS-Angriff auf eine Teilkomponente um die ganze Plattform zu stören.

Es sei noch angemerkt, dass die Komponenten der Unternehmensplattform nicht nur exklusiv für die Energiesynchronisationsplattform verwendet werden müssen, sondern gegebenenfalls auch von anderen Industrie 4.0-Systemen. In so einem Fall erhöht sich die Gefahr, dem das Unternehmen ausgesetzt ist, dass eine Sicherheitslücke in einem anderen System zum Sicherheitsproblem in der Unternehmensplattform wird. Auch ergeben sich zum Teil negative Effekte, wenn zwei sichere Systeme zusammengeschlossen werden und dadurch das Gesamtsystem unsicher wird.

Es zeigt sich, dass die Verwendung einer Unternehmensplattform für ein Unternehmen nicht ohne Risiko ist. Aber solange das Risiko vernünftig eingeschätzt wird, sowohl von dem Unternehmen als auch vom Betreiber und den Entwicklern der Komponenten und Services, und die entsprechenden Schutzmaßnahmen angeboten und umgesetzt werden, ist ein sicherer Betrieb der Unternehmensplattform möglich.

Betriebskonzept der Unternehmensplattform

Nach dem ein Unternehmen sich für den Einsatz einer Unternehmensplattform entschieden hat, stellt sich die Frage nach dem Betreiber der Unternehmensplattform. Hier existieren drei Möglichkeiten (vgl. Abbildung 6 in Abschnitt 3.1):

1. das Unternehmen betreibt seine eigene Unternehmensplattform,
2. das Unternehmen beauftragt einen externen Dienstleister für die gesamte Unternehmensplattform,
3. das Unternehmen betreibt einen Teil der Unternehmensplattform und ein Dienstleister den restlichen Teil.

Bei der Entscheidung für ein Betriebsmodell muss das Vertrauen des Unternehmens in den Betreiber, die Gesetzeslage des Betreibers und des Unternehmens sowie die Zuverlässigkeit und Sorgfalt des Betreibers gegen die Fähigkeiten des Unternehmens evaluiert werden. Der Vorteil eines Dienstleisters gegenüber einer vom eigenen Unternehmen betriebenen Unternehmensplattform ist die Möglichkeit, dass dieser sich auf den Betrieb von sicheren Unternehmensplattformen spezialisieren kann.

Es ist festzuhalten, dass der Betreiber der Unternehmensplattform eine wichtige Rolle für die Sicherheit des Unternehmens spielt und somit eine genaue Abschätzung der Risiken für das Unternehmen durchgeführt werden muss. Aber durch den Betreiber entsteht auch eine neue mögliche Art von Angreifern. Diese Art von Angreifer entsteht dadurch, dass die Systeme der Unternehmensplattform von einer Person gewartet werden müssen und dass dieser Angestellte genauso wie ein Angestellter eines Unternehmens zum Angreifer werden kann. Hierbei ist es gleich, ob die Unternehmensplattform vom Unternehmen selbst oder von einem Dienstleister betrieben wird. Zur Unterscheidung von anderen Angestellten bekommt dieser Angreifertyp den Namen Plattformadministrator. In allen oben genannten Betreibermodellen hat der Plattformadministrator ein großes Schadenspotenzial für die Unternehmensplattform, da dieser genaue Kenntnisse über die Funktionsweise der Unternehmensplattform sowie zusätzlich auch über die Sicherheitsmaßnahmen und das Schlüsselmaterial haben wird. Die mögliche Motivation des Plattformadministrators ist die gleiche wie bei allen Angestellten.

Weitere externe Dienstleister

Durch das Konzept der Unternehmensplattform entsteht aber auch eine zweite Art von möglichen Angreifern, die Independent Service Vendors (ISV). Ein ISV ist ein Anbieter von Services, die auf der Ebene der Unternehmensplattform oder auf der Ebene des Smarten Konnektors ausgeführt werden können. Dadurch wird ein ISV zu einem potenziellen Angreifer, aber der ISV wird auch zu einem potenziellen Angriffsweg. Denn ähnlich wie bei dem Betreiber stellt sich hier die Frage der Aufrichtigkeit sowie der Zuverlässigkeit und Sorgfalt. Ist der ISV unaufrichtig, kann er zum Angreifer werden. Mangelt es dem ISV an der nötigen Zuverlässigkeit und Sorgfalt, kann ein Angreifer dessen Services als Angriffsweg nutzen. Das Schadenspotenzial eines ISV hängt stark von den Möglichkeiten ab, welche die Unternehmensplattform bietet, um Services von anderen Systemen abzuschirmen und welche Maßnahmen das Unternehmen zusätzlich vorgenommen hat. Aber ein Angriff durch einen Service verdeutlicht, dass die Gefahr nicht nur über die Schnittstelle zur Marktplattform erfolgen kann, sondern auch aus einem vermeintlich sicheren Netz innerhalb des Unternehmens.

Marktplattform

Im Gegensatz zur Vielzahl an Unternehmensplattformen wird es nur eine Marktplattform geben, die mit allen Unternehmensplattformen verbunden ist. Daraus ergibt sich eine andere Bedrohungslage als bei der Unternehmensplattform. Der offensichtlichste Punkt ist der Betreiber der Marktplattform. Noch mehr als bei Betreibern von Unternehmensplattformen ist der Betreiber der Marktplattform auf das Vertrauen seiner Kunden angewiesen. Sollte ein Unternehmen das Vertrauen in den Betreiber der Marktplattform verlieren, wird sich das Unternehmen aller Voraussicht nach von der Marktplattform zurückziehen. Dadurch verliert der Betreiber einen Kunden und alle anderen Teilnehmer der Marktplattform einen potenziellen Handelspartner, was den Wert der Marktplattform für alle Kunden senkt. Das kann zu einem Schneeballeffekt führen. Die Abhängigkeit des Betreibers vom Vertrauen seiner Kunden macht das Vertrauen zu einem Ziel für einen Angreifer, welcher den Handel auf der Marktplattform beeinflussen will.

Unter Kunden der Marktplattform werden alle verstanden, die eine Dienstleistung der Marktplattform entgegennehmen. Dies sind die Anbieter und Käufer von Energieflexibilität (die Unternehmen, Bilanzkreisverantwortlichen und Energiehändler) und Serviceanbieter, die ihre Services über die Marktplattform anbieten.

Durch den Einsatz der Marktplattform entstehen, wie auch bei der Unternehmensplattform, neue mögliche Angreifer. Zum einen ist es der Betreiber der Marktplattform selbst und dessen Angestellte. Sollte ein Angriff dieser Art öffentlich werden, würde es das wichtige Vertrauen in den Marktplattform-Betreiber schädigen. Dennoch kann dies nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Ein Angriff durch einen Angestellten kann sich gegen eine Unternehmensplattform als auch gegen die Marktplattform richten.

Ein weiterer möglicher Angreifertyp ist der Serviceanbieter auf der Marktplattform. Zum einen konkurrieren die Serviceanbieter untereinander, was einen Serviceanbieter dazu motivieren könnte, andere Serviceanbieter anzugreifen. Aber es ist auch nicht auszuschließen, dass andere Angreifertypen die Services als Angriffsweg gegen eine Unternehmensplattform oder die Marktplattform nutzen. Die Fähigkeiten solcher Angreifer sind schwer abzuschätzen und hängen stark von den Informationen ab, die ein Serviceanbieter über die anderen Systeme herausfinden kann.

Auch kommen durch die Marktplattform neue Angriffsziele hinzu. Dies sind alle Informationen, die von der Marktplattform zum Ermöglichen des Handels benötigt werden und um einen abgeschlossen Handel nachzuvollziehen. Diese Informationen verraten viel über den Zustand eines Unternehmens oder Händlers. Weiterhin existieren Informationen wie Passwörter, Kontaktdaten und Kontodaten, die für Angriffe auf andere Systeme wiederverwendet werden können.

Eine weitere Gefahr geht von DoS-Angriffen auf die Marktplattform aus, da die Marktplattform essenziell für den Handel im Rahmen der Energiesynchronisationsplattform ist. Die genauen Eigenschaften des Handels auf der Marktplattform sind noch nicht abschließend geklärt. Das erschwert die Abschätzung, wie auf der Marktplattform betrogen werden kann. Es lässt sich nur festhalten, dass der Handel nachvollziehbar für Berechtigte sein muss und dass ein Handel nicht abstreitbar sein darf, um Betrug vorzubeugen.

Zusammenfassend existieren auch bei der Marktplattform einige potenzielle Gefahren, besonders durch ihre zentrale Stellung, die sie zu einem interessanten Angriffsziel macht. Aber auch durch den hohen Gewinn, den ein Angreifer erbeuten könnte, muss besondere Sorgfalt bei der sicheren Implementierung der Marktplattform gewährleistet sein.

5.6 Sicherheitskonzept

Mit Hilfe der bereits beschriebenen Risiken, der Schutzziele und der Umfeldbetrachtung kann ein Sicherheitskonzept abgeleitet werden. Das Sicherheitskonzept unterteilt sich in organisatorische und technische Maßnahmen.

Organisatorische Maßnahmen

Organisatorische Maßnahmen sind alle Maßnahmen, welche die Organisation im Ganzen und einzelne Mitarbeiter und Objekte (Büroräume, Rechenzentren, ...) im Speziellen betreffen. Im Folgenden wird auf einige maßgebliche organisatorische Maßnahmen eingegangen.

Security Governance, Rollenverteilung und Verantwortlichkeiten

Zunächst muss jeder potenzielle Teilnehmer der Energiesynchronisationsplattform seine Sicherheitsstrategie auf die durch die Energiesynchronisationsplattform eingeführten neuen Risiken anpassen. Hierzu müssen Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten geklärt werden, um die neue Strategie zu entwickeln und umzusetzen.

Compliance Management

Innerhalb des Compliance Managements wird sichergestellt, dass offizielle und gesetzliche Regulatorien und Datenschutzbestimmungen beachtet werden. Ebenso dient das Compliance Management zur Sicherstellung, dass die innerhalb der Security Governance festgelegten Regelungen eingehalten werden.

Risikomanagement

Im Rahmen des Risikomanagements wird eine Risikoanalyse durchgeführt, aus der sich anschließend Schutzmaßnahmen ableiten lassen. In der Risikoanalyse werden Risiken identifiziert und mögliche Auswirkungen bewertet. Sie setzt sich aus den drei Perspektiven potenzielle Angreifer, Angriffsziele und verwundbare Komponenten zusammen. Jeder Beteiligte ist für die Risikoanalyse seiner Lösung verantwortlich.

Registrierung und Validierung von Partnern

Alle Teilnehmer müssen einen Registrierungsprozess durchlaufen, der sicherstellt, dass dieser Teilnehmer berechtigt ist, Teil der Energiesynchronisationsplattform zu sein. Dabei wird zwischen den folgenden Parteien von Teilnehmern unterschieden.

- **Marktplattform-Betreiber** - Dies ist die zentrale Partei, die für die Registrierung von Unternehmensplattformen und Marktplattform-Services verantwortlich ist und Software an die Unternehmensplattform verteilt.
- **Unternehmensplattform** - Um an der Energiesynchronisationsplattform teilnehmen zu können, müssen sich die Unternehmen mit deren Unternehmensplattform registrieren und vom Marktplattform-Betreiber genehmigt werden (vgl. Anwendungsfall "Registrierung von Unternehmensplattform").
- **Unternehmensplattform-Betreiber** - Ein Unternehmen muss die Unternehmensplattform nicht selbst betreiben, sondern kann auch einen externen Anbieter damit beauftragen. Die Verantwortung zur Auswahl und Validierung dieses Partners liegt bei dem jeweiligen Unternehmen.
- **Serviceanbieter** - Hierbei handelt es sich um Einheiten, die den Unternehmensplattformen über die Marktplattform Services bereitstellen. Sie müssen sich ebenfalls registrieren und vom Marktplattform-Betreiber genehmigt werden (vgl. Anwendungsfall "Registrierung von Services").

- Externe Softwareentwickler - Dies sind Anbieter von Softwarekomponenten, die die Unternehmensplattform für die lokale Verwendung kaufen (z. B. für die Erweiterung der Funktionen des Flexibilitäts-Managers). Die Überprüfung dieser Anbieter wird vollständig von den jeweiligen Unternehmensplattform-Betreibern durchgeführt, da sie nicht direkt mit der Marktplattform oder anderen Services interagieren.

Business Continuity Management

Jeder Teilnehmer der Energiesynchronisationsplattform muss damit rechnen, dass ein Sicherheitsvorfall eintreten kann. Um in solch einem Fall handlungsfähig zu bleiben, müssen Notfallpläne entwickelt und geprobt werden. Dabei ist es wichtig festzustellen, welche Komponenten für einen reibungslosen Betrieb notwendig sind.

Fortbildung und Training für Mitarbeitende

Es ist wichtig, alle betroffenen Mitarbeiter über die neue Sicherheitsstrategie zu informieren und sie entsprechend zu schulen. Das Training muss dabei auf die einzelnen Mitarbeitergruppen angepasst werden.

Physische Sicherheit

Physische Sicherheit ist der Schutz aller Objekte, die für den Betrieb der Energiesynchronisationsplattform eingesetzt werden. Hierzu gehören beispielsweise Server, Bürorechner und IT-Netze. Im Bereich der physischen Sicherheit müssen ausreichende Maßnahmen ergriffen werden, um die Infrastruktur physisch abzusichern. Dazu gehören unter anderem:

- Die Entwicklung eines Sicherheitskonzepts zur physischen Sicherheit sowie einer Sicherheitsrichtlinie
- Zutrittsbeschränkungen und Personenkontrollen (beispielsweise durch Vereinzelungsanlagen)
- Zutritts- und Bereichsüberwachung (beispielsweise durch Kameras)
- Trennung zwischen Fein- und Grobtechnik, bzw. IT-Systemen (Server) und Technik (Stromversorgung)

Die Verantwortung zum Einsatz und Etablierung der Maßnahmen liegt jeweils bei den beteiligten Unternehmen und deren Rechenzentrumsbetreibern.

Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen sind alle Maßnahmen, die durch die eingesetzte Software oder Hardware innerhalb der Energiesynchronisationsplattform umgesetzt werden oder diese direkt betreffen.

Threat Intelligence

Um potenzielle Angriffe auf die Energiesynchronisationsplattform zu antizipieren, ist es wichtig, Threat Intelligence durchzuführen. Threat Intelligence beschreibt die Sammlung von Informationen über Trending-Angriffe und die Ergreifung vorbeugender Maßnahmen. Angesichts der verteilten Natur der Energiesynchronisationsplattform muss die Aufgabe, Bedrohungsdaten zu sammeln und zu handeln, auf die verschiedenen Teilnehmer verteilt werden. Die folgenden Ebenen sind zu unterscheiden:

- Der Marktplattform-Betreiber wird Threat Intelligence auf Marktplattform-Ebene durchführen.
- Einzelne Unternehmensplattformen können ihre eigenen Threat Intelligence ausführen.
- Eine kleine Unternehmensplattform kann sich auf einen externen Threat Intelligence Service stützen, der über die Marktplattform angeboten wird.

Eine Zusammenarbeit bei der Threat Intelligence erlaubt allen Parteien, die an die Energiesynchronisationsplattform angebunden sind, Ressourcen zu bündeln und damit Angriffe schneller zu erkennen und effektivere Gegenmaßnahmen zu finden.

Identitäts- und Zugriffsverwaltung

Zur Absicherung einzelner Komponenten ist erforderlich, dass Benutzer und andere Komponenten sich ausweisen können, damit eine Zugriffskontrolle durchgeführt werden kann. Angesichts der dezentralen Eigentümerschaft und des Betriebs von Unternehmensplattformen und Services, wird es keine einheitliche Identität über alle beteiligten Systeme geben. Stattdessen definieren jede Unternehmensplattform und jeder Service seine eigenen Identitäten zusätzlich zu den Identitäten auf der Ebene der Marktplattform. Innerhalb einer Unternehmensplattform ist jedoch ein einheitliches Identitätsmanagement für Benutzer und Services zu verwenden, um den administrativen Aufwand sowie den Aufwand für die Entwickler zu reduzieren.

Schwachstellen- und Patch-Management

Im Einklang mit den Best Practices der Branche werden ausnutzbare Sicherheitslücken in Software und Firmware sowie in Endpunkten und Infrastruktur regelmäßig überwacht, bewertet, priorisiert und behoben. Sicherheits-Patches und Hotfixes, die von Soft- und Hardwareherstellern zur Verfügung gestellt werden um identifizierte Sicherheitslücken zu verringern, werden gemäß den etablierten Patch-Management-Verfahren getestet, genehmigt, bereitgestellt und implementiert.

Anwendungssicherheit

Für Services, die für die Energiesynchronisationsplattform entwickelt wurden, müssen von Beginn an Sicherheitsanforderungen festgelegt und entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden. Hier bietet es sich an, den Secure-Software-Development-Life-Cycle-Ansatz zu verfolgen. Auch muss die Herkunft von Software und Updates für die Benutzer der Software nachvollziehbar sein.

Datensicherheit

Daten auf den verschiedenen Plattformen müssen während ihres gesamten Lebenszyklus geschützt werden, und zwar während des Transports, in Ruhe und im Gebrauch. Die Standardanforderungen - Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit - sollen damit erfüllt werden.

Infrastruktur und Endgerätesicherheit

Bei der Infrastruktur und Endgerätesicherheit geht es darum, die IT-Infrastruktur (wie Switches, Router und Gateways) und die Endgeräte (Client-Systeme und Server) abzusichern. Hier werden Maßnahmen wie die Segmentierung von Netzen, der Schutz vor DoS-Angriffen, Fernzugriffskontrollen und Malware-Schutz angewendet.

Überwachung / Alarmierung

Damit bei Sicherheitsvorfällen schnell reagiert werden kann, müssen die einzelnen Komponenten in der Lage sein, mögliche sicherheitsrelevante Ereignisse zu registrieren und diese an ein zentrales Repository weiterzuleiten. Dabei werden die Unternehmensplattformen und die Marktplattform je ein eigenes Repository besitzen. Auf Basis dieser gesammelten Ereignisse in den Repositories ist jeweils eine Überwachung durchzuführen, welche die Ereignisse aggregiert und bei einem detektierten Angriff alarmiert.

Operationaler Sicherheitsbetrieb

Die bereits erwähnten technischen Maßnahmen benötigen Personal, welches die Maßnahmen plant und umsetzt. Die Tätigkeiten dieser Mitarbeiter werden unter dem Begriff „operationaler Sicherheitsbetrieb“ zusammengefasst. Mit den Daten aus dem Sicherheitsbetrieb werden Metriken und KPIs entwickelt, die innerhalb des Compliance Managements verarbeitet werden. Dadurch wird die Compliance aus technischer Sicht betrachtet.

Behandlung von Sicherheitsvorfällen

Zur Behandlung von Sicherheitsvorfällen sind im Vorfeld organisatorische Maßnahmen durch den Plattformbetreiber (jeweils Marktplattform und Unternehmensplattform) zu treffen. Diese umfassen mindestens die Definition eines Prozessablaufs im Falle eines erkannten Sicherheitsvorfalls sowie die Bildung eines Security Incident Communications Teams, das bei der Erstellung eines Kommunikationsplans mitwirkt und diesen entsprechend ausführt.

6 USE CASES

6.1 Flexibilitätsarten

Um trotz der Komplexität der Energiesynchronisationsplattform eine praxisnahe Konzeption sicherzustellen, werden die vorgestellten theoretischen Überlegungen durch Use Cases validiert. Im ersten Schritt werden hierzu zwei grundsätzlich zu unterscheidende Fälle betrachtet (vgl. Abbildung 11).

Als sogenannte **proaktive** Vermarktung der in einem Unternehmen vorhandenen Einzellast oder aggregierten Last wird jeder Fall zusammengefasst, bei dem die Unternehmen eine eigene Entscheidung über die Inanspruchnahme beziehungsweise Realisierung möglicher Energieflexibilitätsmaßnahmen treffen. An den Strommärkten könnte dies z.B. aktuell durch den Einkauf und Verkauf von Energie an der Börse erfolgen. Beispielsweise plant ein Unternehmen die Flexibilisierung ihrer Luftzerlegungsanlagen, um dadurch Spielraum zur besseren Nutzung aktueller Strompreise zu gewinnen.

Eine fremde Entscheidung über die Inanspruchnahme der Flexibilität (**reaktiv**) findet im aktuellen Strommarktdesign z. B. bei der Inanspruchnahme von Regelleistung statt. So vermarktet ein Unternehmen derzeit die Abschaltung bzw. Zuschaltung von Öfen bzw. deren mögliche Leistungsveränderung in der Primär- und Sekundärregelleistung.

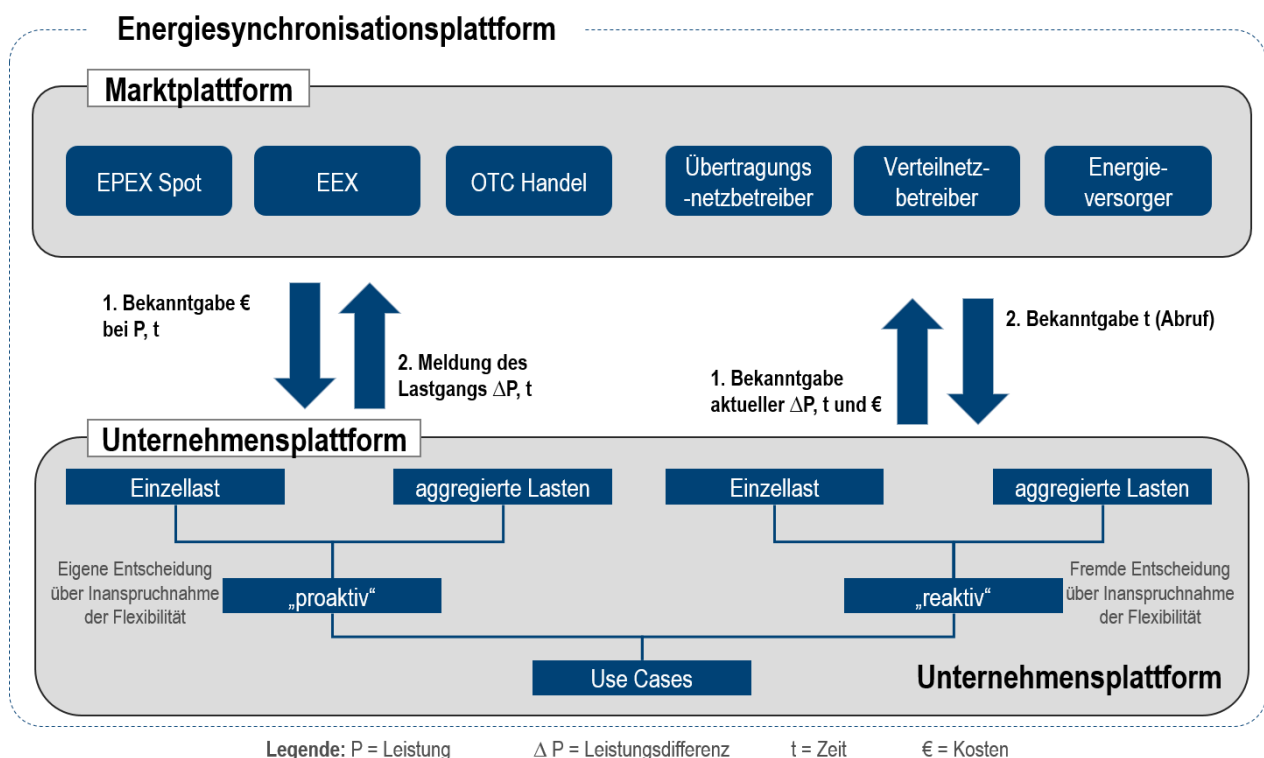


ABBILDUNG 11: USE CASES DER ENERGIESYNCHRONISATIONSPLATTFORM

6.2 Informationsflüsse auf der Energiesynchronisationsplattform

Abgebildet werden die Use Cases über Komponenten der Energiesynchronisationsplattform sowie den Informationsflüssen zwischen diesen Komponenten. Die Informationsflüsse auf der Energiesynchronisationsplattform umfassen die Schritte zur IT-Abbildung von Energieflexibilität im Unternehmen, zur Vermarktung von Energieflexibilität über die Marktplattform sowie zur Umsetzung von Energieflexibilität, sobald diese von einem Marktteilnehmer über die Marktplattform abgerufen werden. Nachfolgend werden diese Schritte näher beschrieben.

IT-Abbildung von Energieflexibilität im Unternehmen

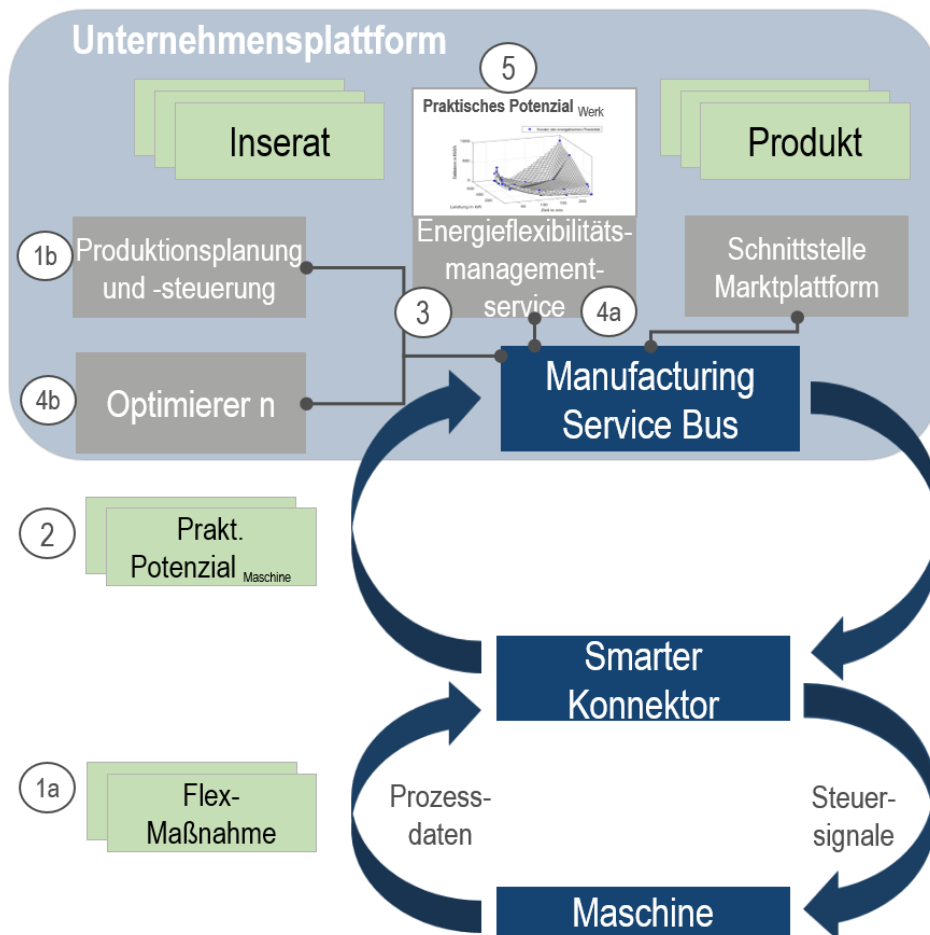


ABBILDUNG 12: INFORMATIONSFLÜSSE ZUR IT-ABBILDUNG VON ENERGIEFLEXIBILITÄT IM UNTERNEHMEN

Für die IT-Abbildung von Energieflexibilität sind die folgenden Schritte notwendig (vgl. Abbildung 12). Zu beachten ist, dass Energieflexibilität vor der IT-Abbildung bereits in den Prozessen identifiziert und definiert sein müssen.

1. Initiale Abbildung der Energieflexibilität
 - a. Anhand der energetischen Freiheitsgrade werden ENERGIEFLEXIBILITÄTSMABNAHMEN auf Maschinenebene definiert.
 - b. ENERGIEFLEXIBILITÄTSMABNAHMEN aus Planungssicht (z.B. Verschiebung von Aufträgen) werden in der PPS generiert.

2. Der Smarte Konnektor erfasst/aggregiert die Maßnahmen zum PRAKTISCHEN POTENZIAL_{Maschine} und hinterlegt eines/mehrere Potenziale am Energieflexibilitätsmanagementservice.
 Der Energieflexibilitätsmanagementservice aggregiert auf Werk-/Unternehmensebene alle PRAKTISCHEN POTENZIALE_{Maschine} (aus Smarten Konnektoren und PPS)
3. Entscheidung
 - a. Manuelle Entscheidung: über Benutzeroberfläche des Energieflexibilitätsmanagementservice wird ein bzw. eine Kombination aus PRAKTISCHEN POTENZIALEN ausgewählt.
 - b. Regelbasierter Aufruf von Optimierern (koordiniert über Optimierungscontroller), mögliche Ergebnisse:
 - i. Generierung neues PRAKTISCHES POTENZIAL aus Kombination (inkl. Abhängigkeiten und Zielfunktionen) bestehender Potenziale
 - ii. Auswahl eines optimal vermarktbar PRAKTISCHEN POTENZIALS bei verfügbarer Preisprognose von der Marktplattform
4. Der Energieflexibilitätsmanagementservice generiert aus dem/den ausgewählten Praktischen Potenzialen ein INSERAT und ein PRODUKT. Intern verweist dies auf die jeweiligen Praktischen Potenziale.

Vermarktung von Energieflexibilität über die Marktplattform

Nachdem die Flexibilität in der Unternehmensplattform definiert wurde, kann diese über die Marktplattform vermarktet werden. Diesbezüglich bestehen prinzipiell drei Möglichkeiten: Die Vermarktung als Inserat im Flexibilitätservice, der direkte Handel mit einem Käufer sowie der Handel mittels eines Handelsagenten (vgl. Abbildung 13).

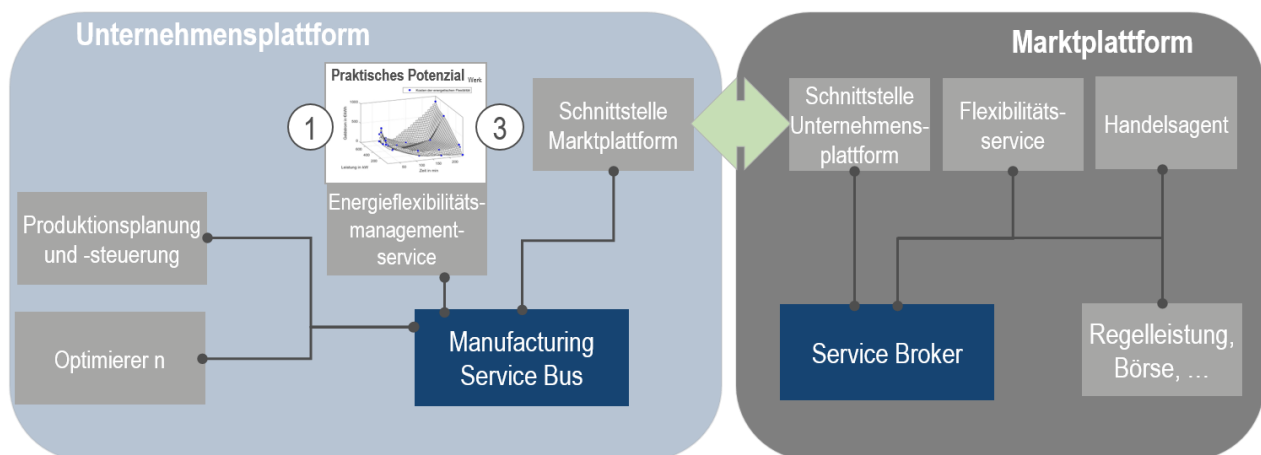


ABBILDUNG 13: INFORMATIONSFLÜSSE AUF DER MARKTPLATTFORM

Inserat an der Marktplattform platzieren

1. Der Energieflexibilitätsmanagementservice hinterlegt über die Schnittstelle zur Marktplattform ein öffentlich einsehbares INSERAT beim Flexibilitätservice der Marktplattform.
2. Ein Käufer (Bilanzkreisverantwortlicher, Unternehmen, Handelsagent, etc.) sucht über den Flexibilitätservice nach passenden Inseraten und kann eine ANFRAGE stellen.

3. Ein Entscheider im Unternehmen trifft (über API oder Benutzeroberfläche) eine Entscheidung über die endgültige Vermarktung der Flexibilität. Bei positiver Entscheidung wird das der Anfrage zugehörige PRAKTISCHE POTENZIAL geblockt und das PRODUKT zurück zum Flexibilitätsservice geschickt.
4. Das PRODUKT muss nun vom Käufer vorgehalten und zum vereinbarten Zeitpunkt abgerufen werden. Hierzu wird ein Signal zum ABRUF an den Energieflexibilitätsmanagementservice auf der Unternehmensplattform gesendet.

Handel mit einem definierten Käufer

1. Der Energieflexibilitätsmanagementservice hinterlegt über die Schnittstelle zur Marktplattform ein nicht öffentlich einsehbares PRODUKT bei einem bestimmten Käufer auf der Marktplattform, beispielsweise auf dem Regelleistungsmarkt. Dieses PRODUKT entspricht in diesem Fall einem Gebot. Alternativ kann, zum Beispiel bei einem Lastverzicht, über die Strombörse direkt das PRODUKT verkauft werden.
2. Die Umsetzung des PRODUKTS erfolgt dann eigenständig durch die Unternehmensplattform.

Handel mit einem Handelsagenten

1. Der Energieflexibilitätsmanagementservice hinterlegt über die Schnittstelle zur Marktplattform ein nicht öffentlich einsehbares PRODUKT bei einem bestimmten Handelsagenten auf der Marktplattform. Die Entscheidung aus Unternehmenssicht wird vor der Übertragung des PRODUKTS getroffen.
2. Der Handelsagent vermarktet das PRODUKT im Auftrag des Unternehmens. Dabei kann der Handelsagent auf weitere Services der Marktplattform zurückgreifen (z.B. die Marktseitige Optimierung), um den gewinnmaximierenden Markt und die dazugehörige Ausprägung der Flexibilität bestimmen zu können. Der Handelsagent geht dabei analog zum Szenario „Handelt mit einem definierten Käufer, (1)“ vor.
3. Bei einem positiven Ergebnis der Vermarktung erhält der Energieflexibilitätsmanagementservice eine ANTWORT vom Handelsagenten, um beispielsweise das dem PRODUKT zugehörige PRAKTISCHE POTENZIAL zu blocken.
4. Bei der Ausführung des Kaufs wird ein Signal zum ABRUF an den Energieflexibilitätsmanagementservice auf der Unternehmensplattform gesendet.

Umsetzung von Energieflexibilität im Unternehmen

Für die Umsetzung von Energieflexibilität nach Abruf durch einen Teilnehmer über die Marktplattform sind die folgenden Schritte auszuführen (vgl. Abbildung 14).

1. Das Unternehmen erhält bei Kauf eines PRODUKTS über die Schnittstelle zur Marktplattform ein Signal zum ABRUF.
2. Der Energieflexibilitätsmanagementservice identifiziert die dem abgerufenen PRODUKT zugehörigen PRAKTISCHEN POTENZIALE. Sofern nicht bereits geschehen, werden diese geblockt.
3. Smarter Konnektor (a) oder PPS (b) erhalten das Signal zum ABRUF und setzen dies in die dem PRAKTISCHEN POTENZIAL zugehörigen ENERGIEFLEXIBILITÄTSMÄßNAHMEN um.

4. Zur Umsetzung der ENERGIEFLEXIBILITÄTSMÄßNAHMEN steuert der Smarte Konnektor die Maschine über Steuersignale an.
5. Der Energieflexibilitätsmanagementservice weist gegenüber der Marktplattform nach, dass die Flexibilität erbracht wurde (insbesondere bei Regelleistung).

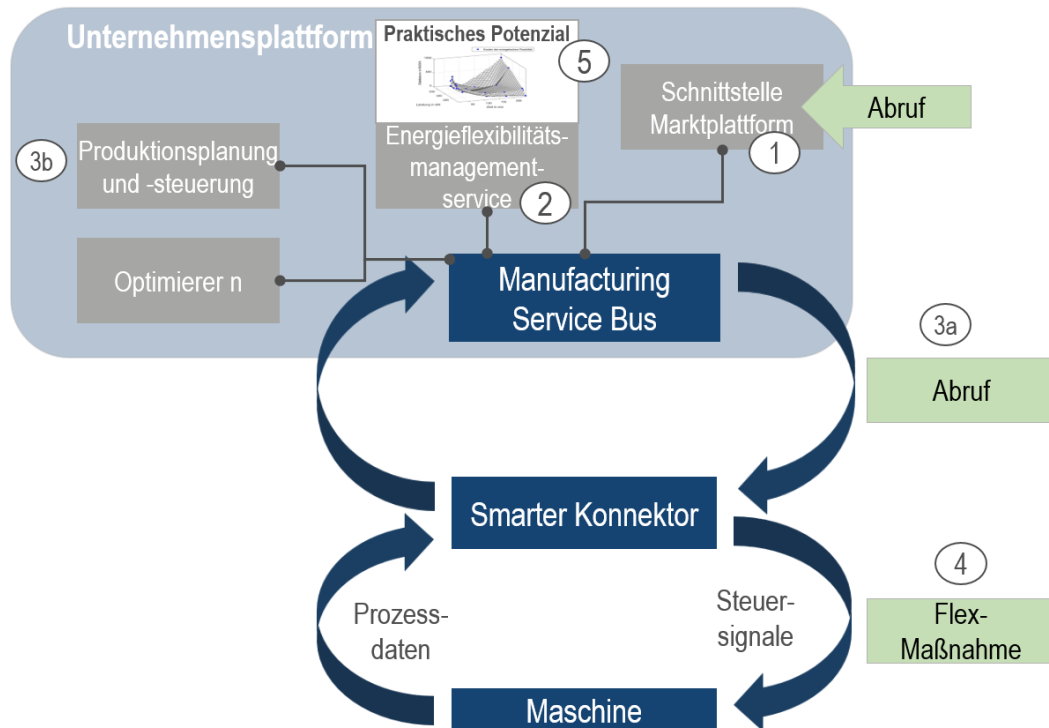


ABBILDUNG 14: INFORMATIONSFÜSSE ZUR UMSETZUNG VON ENERGIEFLEXIBILITÄT IM UNTERNEHMEN

6.3 Demonstratoren

Um die technische Machbarkeit des automatisierten und standardisierten Energieflexibilitätshandels aufzuzeigen, wird die Kombination aus Unternehmensplattform und Marktplattform im Rahmen von Demonstratoren validiert. Hierzu sind zwei Demonstratoren im Forschungsumfeld vorgesehen, um außerhalb einer Produktivumgebung verschiedene Use Cases testen zu können. Darüber hinaus wird ein Demonstrator in der Aluminium-Elektrolyse erprobt, um auch Erkenntnisse im industriellen Umfeld zu gewinnen. Die Erkenntnisse aus den Demonstratoren dienen insbesondere dazu, die Konzepte und Anwendungen in der geplanten zweiten SynErgie-Projektphase bedarfsgerecht weiterzuentwickeln.

Kühlhausmodell

Für die frühzeitige Integration aller Komponenten der Energiesynchronisationsplattform erfolgt die Umsetzung anhand eines Modells, das auch als Koffer-Demonstrator bezeichnet wird. Mit diesem Demonstrator wird das Zusammenspiel der Unternehmensplattform und Marktplattform an einem vereinfachten energieflexiblen Prozess veranschaulicht. Zusätzlich wird Entwicklern eine Testumgebung zur Verfügung gestellt, an der neue Entwürfe schneller getestet werden

können. Die Wahl für den energieflexiblen Prozess fiel auf ein Kühlhaus, in welchem beispielsweise Lebensmittel gelagert werden können.

Das Kühlhausmodell besitzt drei Kühlaggregate, die unabhängig voneinander geschaltet und jeweils stufenlos betrieben werden können. Diese Randbedingungen erlauben es, verschiedene komplexe Maßnahmen zu definieren. So können beispielsweise die Kühlaggregate diskret an- oder ausgeschaltet werden aber auch stufenlos mit einem komplexeren Energieverbrauch betrieben werden. Dabei sind die Kühlaggregate aber nicht vollkommen unabhängig voneinander, da sie denselben Raum kühlen, den man als einen gemeinsamen Speicher betrachten kann. Dabei gilt die Vorgabe, dass die Temperatur des Kühlhauses zwischen -14°C und -16°C liegen muss. Der Vorteil des Kühlhauses gegenüber anderen energieflexiblen Prozessen ist, dass dieser Prozess einfach zu erklären ist. Er erlaubt es dennoch, verschieden komplexe Maßnahmen umzusetzen. Diese Maßnahmen sind voneinander abhängig und durch die Temperatur des Kühlhauses in ihrer Laufzeit begrenzt. Der Demonstrator wurde erstmals auf der Cebit 2018 gezeigt (vgl. Abbildung 15).



ABBILDUNG 15: DEMONSTRATION DES KÜHLHAUSMODELLS AUF DER CEBIT 2018 (QUELLE: SOFTWARE AG)

ETA-Fabrik

Eine weitere Erprobung der Energiesynchronisationsplattform stellt der Demonstrator in der ETA-Fabrik dar. Die ETA-Fabrik ist eine Modellfabrik der mechanischen Fertigung, welche aus dem gleichnamigen Forschungsprojekt an der Technischen Universität Darmstadt entstanden ist. In ihr erforschen Wissenschaftler unter realen, industrienahen Bedingungen und im Originalmaßstab, wie die Industrie durch Vernetzung aller Gebäude- und Produktionskomponenten Energie effizienter nutzen kann. Die Betrachtung des Gesamtsystems – aus Maschinen, Energiespeichern, Gebäudetechnik und Gebäudehülle – soll dazu beitragen, den Primärenergiebedarf in der Produktion um 40 Prozent zu senken [18]. Der Vorteil dieses Demonstrators liegt darin begründet, dass alle

Komponenten der Energiesynchronisationsplattform unter industrienahen Bedingungen erprobt werden können, jedoch ohne Schäden bei einem Systemausfall bzw. Fehlverhalten zu riskieren.

Der Hauptprozess der Modellfabrik nimmt in diesem Demonstrator eine untergeordnete Rolle ein, vielmehr steht die Energieflexibilität der Produktionsinfrastruktur im Mittelpunkt. Hierzu wurden mehrere energieflexible Use Cases entwickelt, welche an die Unternehmensplattform angebunden werden. Dazu zählen ein Blockheizkraftwerk in Kombination mit einem Wärmespeicher, ein energieflexibler Klimaraum, eine Wärmepumpe mit zwei thermischen Speichern, das bereits ausgeführte Ölbad (vgl. Abschnitt 2.6), welches durch seine thermische Trägheit energieflexibel betrieben werden kann und eine bivalente Heizung. Bivalenz steht in der Heiztechnik für Anlagen, die zwei unterschiedliche Endenergieformen zum Heizen, in der ETA-Fabrik Strom oder Erdgas, verwenden können.

Basierend auf den verfügbaren Daten der Anlagen aus der Produktionsinfrastruktur werden anhand verschiedener Services Möglichkeiten zur Optimierung des energieflexiblen Betriebs dieser Anlagen aufgezeigt. Dazu zählt einerseits die Optimierung der Betriebsweise der Anlagen, andererseits die Prognose zukünftiger Flexibilitätskennzahlen. Unter Nutzung dieses optimierten Betriebs werden verschiedene Szenarien bezüglich des geforderten Flexibilitätsabrufs mit der Modellfabrik getestet und die Auswirkung auf die Leistungsaufnahme der Fabrik untersucht. Durch das beschriebene Vorgehen können sowohl die Funktionalität der Energiesynchronisationsplattform, als auch das praktische Potenzial der Produktionsinfrastruktur untersucht und aufgezeigt werden.

Aluminiumelektrolyse

Der Demonstrator in der Aluminiumelektrolyse wird gemeinsam mit der TRIMET Aluminium SE aus dem SynErgie-Konsortium aufgebaut. Die Unternehmensplattform wird hierzu mit der bestehenden IT bei TRIMET integriert (vgl. Abbildung 16). Der Zugriff auf die Produktionsanlagen erfolgt dabei vorerst nur lesend, es werden keine Daten verändert oder Steuersignale durch die Unternehmensplattform und deren Services ausgelöst. Damit werden verschiedene Szenarien zum Energieflexibilitätshandel mit der virtuellen Batterie in der Aluminiumelektrolyse erprobt, ohne aktiv in die Produktion einzugreifen und damit bei Fehlfunktionen Störungen auszulösen.

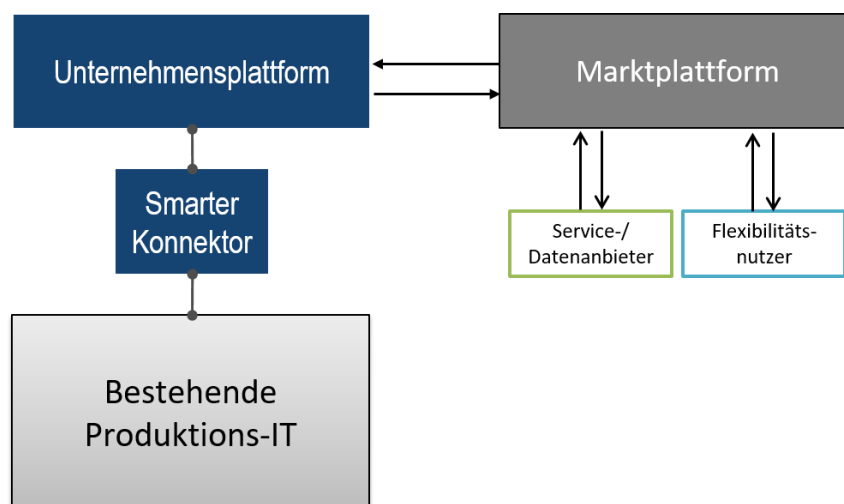


ABBILDUNG 16: AUFBAU DES DEMONSTRATORS IN DER ALUMINIUM-ELEKTROLYSE

Mit diesem Demonstrator wird der gesamte Daten- und Informationsfluss zum automatisierten Energieflexibilitätshandel erprobt. Dazu wird die Energieflexibilität virtuell von der Unternehmensplattform über die Marktplattform angeboten und abgerufen. Das Abrufsignal geht dabei bis zum Smarten Konnektor, es wird jedoch vorerst keine physische Aktion in der Produktion ausgelöst.

7 AUSBLICK

Auf Basis der im Projektverlauf identifizierten Anforderungen an das Konzept der Energiesynchronisationsplattform wurden die Konzepte sowie die Software-Architekturen der Unternehmensplattform und Marktplattform weiter verfeinert. Im weiteren Verlauf stehen nun auch die Konzeption und Implementierung darauf aufbauender Services, beispielsweise zur Integration des Regelleistungsmarktes in die Marktplattform oder zur Simulation einer energieflexiblen Produktionsplanung und -steuerung auf der Unternehmensplattform, an. Querschnittsthemen wie das Datenmodell, oder das Sicherheitskonzept der Plattformen werden weiterhin thematisiert und laufend aktualisiert. Gegen Ende der ersten Projektphase wird der Arbeitsschwerpunkt darauf liegen, die Ergebnisse in Form von Demonstratoren zu validieren. Hierzu werden zwei Demonstratoren im Forschungsumfeld entwickelt, um außerhalb einer Produktivumgebung verschiedene Szenarien testen zu können. Darüber hinaus wird ein Demonstrator in der Aluminium-Elektrolyse erprobt, um auch Erkenntnisse im industriellen Umfeld zu gewinnen.

Diese Erkenntnisse werden genutzt, um der modularen Energiesynchronisationsplattform weitere Energieträger und Funktionalitäten hinzuzufügen und sie zu dem wichtigsten IT-Werkzeug zur Energiewende weiterzuentwickeln. Die Plattform ermöglicht den teilnehmenden Unternehmen anschließend eine aktive Partizipation am Energiemarkt: einerseits durch eine akkuratere Bedarfsplanung (Konsumentenrolle), andererseits durch Angebot von Energieflexibilitätpotenzialen (Anbieterrolle). Diese Rollen können je nach Gegebenheiten flexibel gewechselt werden, um die industrielle Produktion an die zunehmend volatilen Energiemärkte zu adaptieren.

8 BEGRIFFLICHKEITEN

Die nachfolgenden Begriffe stammen teilweise aus dem projektübergreifenden SynErgie-Glossar [7]. Neue Begriffe aus dem vorliegenden Diskussionspapier werden dort integriert.

Betriebskonzept

Das Betriebskonzept (engl. deployment concept) beschreibt, wie eine Software ausgerollt und dem Benutzer zur Verfügung gestellt wird. Für die Unternehmensplattform sind derzeit die drei Möglichkeiten privat, öffentlich oder verschachtelt vorgesehen.

Energieflexibilitätsinserat (EFI)

Das Energieflexibilitätsinserat umfasst alle erforderlichen Informationen für Unternehmen, um am Energieflexibilitätsmarkt aufgefunden zu werden. Damit sind alle Informationen eines Energieflexibilitätsprodukts ohne die für produzierende Unternehmen kritischen Daten enthalten.

Energieflexibilitätsprodukt (EFP)

Das Energieflexibilitätsprodukt fasst alle Informationen zusammen, die für ein Unternehmen erforderlich sind, um Energieflexibilität an der Marktplattform zu handeln. Es besteht aus dem praktischen Potenzial oder einem Teilbereich davon und enthält zusätzlich zu den Kosten auch eine Gewinnmarge.

Energieflexibilitätsmaßnahme (EFM)

Die Energieflexibilitätsmaßnahme ist eine bewusste Aktion zur Durchführung eines definierten Zustandswechsels in einem Produktionssystem. Neben dem Zustandswechsel einer Produktionsstation umfasst sie auch die damit verbundenen Wechselwirkungen im Produktionssystem [7].

Energiesynchronisationsplattform (ESP)

Die Energiesynchronisationsplattform (engl. energy synchronization platform) stellt das übergeordnete Konzept der Zusammenarbeit von Unternehmensplattformen und Marktplattform da. Sie existiert nicht real bzw. digital, sondern beschreibt das Konstrukt und die Schnittstellen der tatsächlich interagierenden Plattformen.

Kapselung

Die Kapselung (engl. encapsulation) von Software-Komponenten bewirkt, dass außerhalb eines Software-Elements die Interna dieses Elements nicht sichtbar sind. Die Kapselung stellt ein wichtiges Prinzip zur Modularisierung von Software dar.

Konzept

Ein Konzept ist ein klar umrissener Plan oder ein Programm für ein Vorhaben oder ein Projekt. In der (Software-) Entwicklung wird während der Anforderungsanalyse meist zunächst ein Fachkonzept entwickelt, welches anschließend in ein Datenverarbeitungs-/IT-Konzept überführt wird. [19] definieren ein Fachkonzept als eine „(semi-) formale, implementierungsunabhängige Beschreibung einer betriebswirtschaftlichen Konzeption“. Es ist vergleichbar mit dem Lastenheft. Das IT-Konzept hingegen beschreibt ähnlich dem Pflichtenheft Lösungsansätze zur Implementierung der in der Anforderungsanalyse definierten Funktionalitäten des geplanten Vorhabens.

Manufacturing Service Bus (MSB)

Der Manufacturing Services Bus stellt eine einheitliche Integrationsschicht für alle Sensoren, Aktoren, Maschinen, Anlagen und IT-Systeme im Unternehmen mittels offener Schnittstellen und Standards dar [10].

Marktplattform (MP)

Die Marktplattform (engl. market-side platform, MaP) bildet den marktseitigen Teil der Energiesynchronisationsplattform ab. Sie soll die effiziente Beschaffung an den unterschiedlichen Energiemärkten in einem System mit einem hohen Anteil fluktuierender, erneuerbarer Energieträger etablieren. Als zentrales Bindeglied verknüpft die Marktplattform die Unternehmensplattformen und registrierten Services auf der Energiesynchronisationsplattform.

Praktisches Potenzial

Während das technische Potenzial die Summe und Kombinatorik der Energieflexibilitätsmaßnahmen umfasst, stellt das praktische Potenzial eine Teilmenge davon dar. Diese Teilmenge des praktischen Potenzials berücksichtigt regulatorische und administrative Hemmnisse sowie die soziale Akzeptanz. Es wird dadurch ein dreidimensionaler Lösungsraum aus Leistung, Zeit und Kosten aufgespannt [7]. Unterschieden wird zwischen verschiedenen Ebenen (z.B. Maschine oder Werk) und dem Strategischen/Operativen Praktischen Potenzial. Das Strategische Praktische Potenzial beschreibt das generell im Werk bzw. auf der Maschinenebene verfügbare Praktische Potenzial, wohingegen das Operative Praktische Potenzial eine Zustandsabhängigkeit von internen und externen Faktoren beinhaltet.

Produktionsplanung und -steuerung (PPS)

Die Produktionsplanung und -steuerung übernimmt in produzierenden Unternehmen die Abwicklung externer und interner Aufträge aus dem Produktionsprogramm [20].

Schnittstelle

Ein Schnittstelle (engl. interface) bezeichnet eine Übergangsstelle zwischen verschiedenen Komponenten eines IT-Systems, über die der Datenaustausch oder die Datenverarbeitung realisiert werden. Dies können Mensch-Maschine-Schnittstellen oder Maschine-Maschine-Schnittstellen sein.

Service

Ein Service bietet dem Nutzer eine bestimmte Funktionalität abgebildet durch Software, um dadurch einen Mehrwert für den Nutzer zu erbringen. Der Service ist dabei eine technische autarke Einheit, die eine oder mehrere zusammenhängende Funktionalitäten zu einem Themenkomplex bündelt und dem Nutzer zur Verfügung stellt. Typische Beispiele sind hier Webservices, die Funktionalitäten für Dritte über das Inter- bzw. Intranet verfügbar machen, Netzwerkdienste oder auch Systemdienste.

Service-Broker-Architektur

In einer Service-Broker-Architektur interagieren mehrere dezentral angeordnete Services über einheitliche Schnittstellen oder einen Bus. Wesentliche Schwerpunkte liegen auf der Interoperabilität, der Portabilität und der Erweiterbarkeit des Systems. Der Begriff Service-Broker-Architektur ist auf die Referenzarchitektur CORBA (common object request broker architecture) der OMG (Object Management Group) zurückzuführen.

Smarter Konnektor (SK)

Der Smarte Konnektor (engl. smart connector, SC) ist eine Softwareschnittstelle, die es ermöglicht, Steuerungsdaten mit IT-Systemen und Cloud-Komponenten zu verbinden und damit Steuerungs- und Energiedaten aus unterschiedlichen Quellen zu integrieren. Des Weiteren stellt er eine Laufzeitumgebung für die maschinennahe Datenverarbeitung bereit.

Software-Architektur

Die Architektur eines Softwaresystems umfasst dessen Komponenten, die nach außen sichtbaren Eigenschaften dieser Komponenten sowie die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der Komponenten.

Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

Der Begriff der Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS, engl. programmable logic controller PLC) beschreibt eine Hardware, welche primär den Zweck erfüllt, den Ablauf von Anlagen und Maschinen zu regeln. Um dieser Funktion nachzukommen, lässt sich der Ablauf in der SPS beschreiben und speichern. Dabei wird unterschieden zwischen einer SPS, die sich direkt in der Anlage oder Maschine befindet, und einer, die auf einem eigenen Computer läuft, mit der die Anlage oder Maschine verbunden ist [21].

Unternehmensplattform (Unternehmensplattform)

Die Unternehmensplattform (engl. company-side platform, CoP) stellt den unternehmensseitigen Teil der Energiesynchronisationsplattform dar. Sie bietet Integrationsmöglichkeiten für Maschinen, Anlagen und IT-Systeme sowie eine Laufzeitumgebung für Services, beispielsweise zur Simulation und Optimierung. Die Unternehmensplattform ist der Befähiger für Unternehmen zum automatisierten Energieflexibilitätshandel über eine einheitliche Schnittstelle mit auf der Marktplattform verfügbaren Angeboten.

Use Case

Use Cases – auch Anwendungsfall genannt – dokumentieren die Funktionalität eines geplanten oder existierenden Systems auf Basis von einfachen Modellen. In einem Use Case wird das nach außen sichtbare Verhalten eines Systems aus Sicht der Nutzer beschrieben.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Projektträger Jülich (PtJ), „Wir vernetzen Windrad und Solarmodul mit Produktionsmaschine - Interview mit Eberhard Abele,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/industrieprozesse/interview-prof-abele>.
- [2] J. Bertsch, H. Schweter, A. Sitzmann, G. Fridgen, T. Sachs und M. Schöpf, „Ausgangsbedingungen für die Vermarktung von Nachfrageflexibilität. StatusQuo-Analyse und Metastudie,“ 2017. [Online]. Available: <https://epub.uni-bayreuth.de/id/eprint/3343>.
- [3] Umweltbundesamt, „Energieverbrauch nach Energieträgern, Sektoren und Anwendungen,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/stromverbrauch>.
- [4] Projektträger Jülich (PtJ), „Alles, was sich flexibilisieren lässt, werden wir prüfen - Interview mit Alexander Sauer,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/industrieprozesse/interview-prof-sauer>.
- [5] D. Bauer, E. Abele, R. Ahrens, T. Bauernhansl, G. Fridgen, M. Jarke, F. Keller, R. Keller, J. Pullmann, R. Reinert, G. Reinhart, D. Schel, M. Schöpf, P. Schraml und P. Simon, „Flexible IT-Plattform to Synchronize Energy Demands with Volatile Markets,“ *Procedia CIRP* 63, pp. 318-323, 2017.
- [6] USEF Foundation, „USEF: The framework specifications,“ 2015. [Online]. Available: [https://www.usef.energy/download-the-framework/a-flexibility-market-design/..](https://www.usef.energy/download-the-framework/a-flexibility-market-design/)
- [7] S. Weckmann und S. Eisenhauer, „SynErgie - Glossar: Einheitliche und clusterübergreifende Definition von Begrifflichkeiten im Kontext der Energieflexibilität,“ 2017.
- [8] T. Weber, D. Schel, P. Schott, D. Bauer, J. Pullmann, E. Abele, T. Bauernhansl, G. Fridgen und M. Jarke, „Generic Data Model for Describing Real-Time,“ Essen, Germany. In press., 2018.
- [9] P. Mell und T. Grance, „The NIST Definition of Cloud Computing,“ 2017. [Online]. Available: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>.
- [10] D. Schel, C. Henkel, D. Stock, O. Meyer, G. Rauhöft, P. Einberger, M. Stöhr, M. A. Daxer und J. Seidelmann, „Manufacturing Service Bus: an Implementation,“ *Procedia CIRP* 67, pp. 179-184, 2018.
- [11] TTTech, „Time-Sensitive Networking (TSN) - IEEE Standard Ethernet for Guaranteed Real-Time Communication,“ [Online]. Available: <https://www.ttttech.com/technologies/deterministic-ethernet/time-sensitive-networking/>. [Zugriff am 27.09.2017].
- [12] D. Bauer, D. Stock und T. Bauernhansl, „Movement Towards Service-orientation and App-orientation in Manufacturing IT,“ *Procedia CIRP* 62, pp. 199-204, 2017.
- [13] M. Rösch, M. Brugger, S. Braunreuther und G. Reinhart, „Klassifizierung von Energieflexibilitätsmaßnahmen,“ *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Bd. 112, Nr. 9, pp. 567-571, 2017.
- [14] R. Keller, P. Schott und G. Fridgen, „A Platform of Platforms and Services: Bringing Flexible Electricity Demand to the Markets,“ Working Paper., 2018.
- [15] M. Hinterstocker, P. Schott und S. von Roon, „Disaggregation of household load profiles,“ *10. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien*, 2017.

- [16] R. T. Fielding, Architectural Styles and the Design of Network-Based Software, Irvine: University of California, 2000.
- [17] Google, „HTTPS-Verschlüsselung im Web,“ 2018. [Online]. Available: <https://transparencyreport.google.com/https/overview>.
- [18] C. Rautenstrauch und T. Schulze, Informatik für Wirtschaftswissenschaftler und Wirtschaftsinformatiker, Berlin: Springer, 2003.
- [19] H.-P. Wiendahl, Betriebsorganisation für Ingenieure, München: Carl Hanser, 2010.
- [20] ITwissen, „SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung),“ 2006. [Online]. Available: <http://www.itwissen.info/SPS-Speicherprogrammierbare-Steuerung-SPC-storage-programmable-control.html>.
- [21] B. Bhattacharya und K. Gabhart, Service Oriented Architecture Field Guide for Executives, Hoboken: Wiley, 2008.
- [22] ENTSO-E, „European Network of Transmission System Operators for Electricity,“ 2017. [Online]. Available: https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edi-library/work%20products/harmonised_electricity_role_model/Pages/default.aspx.
- [23] International Organization for Standardization (ISO), „ISO12207 Systems and software engineering - Software life cycle processes,“ 2008.
- [24] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), „Forum Datenformate MSCONS AHB,“ 2017. [Online]. Available: http://www.edi-energy.de/files2/MSCONS_AHB_2_2h_Lesefassung_20170626.pdf.
- [25] International Organization for Standardization (ISO), „ISO 50001 Energy management,“ 2011.
- [26] M. Alcazar-Ortega, C. Calpe, T. Theisen und J. F. Carbonell-Carreto, „Methodology for the identification, evaluation and prioritization of market handicaps which prevent the implementation of Demand Response: Application to European electricity markets,“ *Energy Policy* 86, pp. 529-543, 2015.
- [27] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), „Rollenmodell für die Marktkommunikation im deutschen Energiemarkt,“ 2016. [Online]. Available: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/5013C4276867F126C1257F720055FF1D/\\$file/2016-08-23_Anwendungshilfe_Rollenmodell-MAK_v1.1_end.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/5013C4276867F126C1257F720055FF1D/$file/2016-08-23_Anwendungshilfe_Rollenmodell-MAK_v1.1_end.pdf).
- [28] Bundesnetzagentur, „Flexibilität im Stromversorgungssystem,“ 2017. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/BNetzA_Flexibilitaetspapier.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

