

Whitepaper

REFERENZARCHITEKTUR FÜR DIE UNTERNEHMENSPLATT- FORM ALS TEIL DER ENERGIE- SYNCHRONISATIONSPLATT- FORM:

UMSETZUNG ENERGIEFLEXIBLER IIOT-PLATTFORMEN

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Referenzarchitektur für die Unternehmensplattform als Teil der Energiesynchronisationsplattform

Umsetzung energieflexibler IIoT-Plattformen

Autoren:

Matthias Stöhr	Fraunhofer IPA
Andreas Schlereth	Fraunhofer IPA
Robin Dominic Ziegler	Fraunhofer IPA
Daniel Schel	Fraunhofer IPA
Can Kaymakci	EEP, Universität Stuttgart
Christian Winter	Software GmbH
Robert Tordy	VFK AG
Jörg Junge	VFK AG
Elisa Drießen	GFT Software Solutions GmbH
Tobias Birkle	GFT Software Solutions GmbH
Tobias Koch	PTW TU Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

Einführung und Zielstellung	9
Einführung	9
Zielstellung und Anwendungsbereich	10
Leseverweise	11
Stakeholder	13
Randbedingungen	16
Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM)	18
Anforderungen	21
Konventionen	21
Generelle Betriebsanforderungen	22
<i>Grundlegende nicht-funktionale Anforderungen</i>	<i>22</i>
<i>Anforderungen an die grundlegenden Funktionen einer IIoT-Plattform</i>	<i>23</i>
Anforderungen zur Realisierung von Energieflexibilität	26
<i>Anforderungen bzgl. der Verwendung des Energieflexibilitätsdatenmodells</i>	<i>26</i>
<i>Anforderungen an das Management von Energieflexibilität</i>	<i>26</i>
<i>Anforderungen an die Energieflexibilitätsvermarktung</i>	<i>27</i>
<i>Anforderungen bzgl. zusätzlicher Services</i>	<i>28</i>
<i>Anforderungen an einen Testbetrieb</i>	<i>28</i>
Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen	29
<i>Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen</i>	<i>29</i>
Anforderungen an die Sicherheit	30
<i>Sicherheitsanforderungen an UP-Betreiber und Infrastruktur</i>	<i>30</i>
<i>Sichere Funktionsweise der UP</i>	<i>31</i>
<i>Sichere Kommunikation mit der Marktseite</i>	<i>31</i>
Prozessübersicht	33
Fachliche Kernprozesse	34
Ergänzende operative Prozesse	35
Management- und Unterstützungsprozesse	36
Architektur der Unternehmensplattform	37
Kontextabgrenzung	37
Lösungsstrategie	39
Komponentenübersicht	41
Kernkomponenten	43
<i>Konnektoren (mit EFDM-Mapping)</i>	<i>43</i>
<i>Konnektoren (ohne EFDM-Mapping)</i>	<i>44</i>
<i>EFDM-Interface</i>	<i>45</i>
<i>Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS)</i>	<i>46</i>

<i>Vermarktungskomponente</i>	47
<i>Middleware</i>	48
<i>Plattform-Dienste</i>	49
Optionale Komponenten	50
<i>Merge-Service</i>	51
<i>Split-Service</i>	52
<i>EFDM-Mapping</i>	53
<i>Produktionsplanung und –Steuerung (PPS)</i>	54
<i>Lastmanagement</i>	55
<i>Optimierungs-Service</i>	55
<i>Informationsservices</i>	56
Anforderungsabdeckung	57
Anwendung des EFDM in der Unternehmensplattform	60
<i>EFDM-Eigenschaften</i>	60
<i>Status-Tracking</i>	62
<i>Ausführungsprotokollierung</i>	64
Kollaboration	66
<i>Flexibilitätserfassung</i>	68
<i>Flexibilitätsvermarktung</i>	72
<i>Innerbetriebliche Optimierung</i>	78
<i>Flexibilitätsaktualisierung</i>	83
<i>Fehlerbehandlung</i>	86
Persistenz- und Validierungskonzept des EFMS	90
<i>Beispielhafte Persistenzstruktur des EFMS</i>	90
<i>Validierung durch den EFMS</i>	92
<i>Versionierung und Archivierung</i>	92
Standardisierte Schnittstellen	94
<i>Kommunikationsparadigmen</i>	94
<i>EFDM-Interface</i>	95
Ausblick	98
Risiken und technische Schulden	98
Perspektive	99
Literatur	101

Die Kapitelstruktur dieses Dokuments orientiert sich in Teilen am [arc42 Template](#).



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energiesynchronisationsplattform in der Übersicht	10
Abbildung 2: Stakeholder in der Übersicht.....	13
Abbildung 3: Klassen des Energieflexibilitätsdatenmodells (aus dem EFDM Git Repository) ...	18
Abbildung 4: UP-Prozesse in der Übersicht.....	33
Abbildung 5: Kontextabgrenzung der Unternehmensplattform.....	37
Abbildung 6: Komponentenübersicht	41
Abbildung 7: Status-Workflow eines Flexibilitätsraums	63
Abbildung 8: Status-Workflow einer Flexible-Last-Maßnahme	64
Abbildung 9: Abweichung zwischen ausgeführtem und beauftragtem Laständerungsprofil	65
Abbildung 10: Bedeutung der Grafik-Bausteine in den Kollaborations-Diagrammen.....	66
Abbildung 11: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätserfassung über das EFDM-Interface ...	68
Abbildung 12: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätserfassung mit EFDM-Mapping	69
Abbildung 13: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätserfassung ohne EFDM-Mapping	69
Abbildung 14: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätsvermarktung	73
Abbildung 15: Kollaborationsdiagramm zur innerbetrieblichen Optimierung	79
Abbildung 16: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätsaktualisierung	84
Abbildung 17: Kollaborationsdiagramm zur Fehlerbehandlung	87
Abbildung 18: Kommunikationsverlauf zwischen Unternehmenssystem und EFDM-Interface ..	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stakeholder mit direkter Relevanz für die Architektur	14
Tabelle 2: Sonstige Stakeholder mit indirektem Bezug zur Architektur	15
Tabelle 3: Randbedingungen.....	16
Tabelle 4: Grundlegende nicht-funktionale Anforderungen	22
Tabelle 5: Anforderungen an die grundlegenden Funktionen einer IIoT-Plattform	23
Tabelle 6: Anforderungen bzgl. der Verwendung des Energieflexibilitätsdatenmodells.....	26
Tabelle 7: Anforderungen an das Management von Energieflexibilität.....	26
Tabelle 8: Anforderungen an die Energieflexibilitätsvermarktung	27
Tabelle 9: Anforderungen bzgl. zusätzlicher Services	28
Tabelle 10: Anforderungen an einen Testbetrieb	28
Tabelle 11: Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen.....	29
Tabelle 12: Sicherheitsanforderungen an UP-Betreiber und Infrastruktur	30
Tabelle 13: Sichere Funktionsweise der UP	31
Tabelle 14: Sichere Kommunikation mit der Marktseite	31
Tabelle 15: Konnektoren (mit EFDM-Mapping).....	43
Tabelle 16: Konnektoren (ohne EFDM-Mapping).....	44
Tabelle 17: EFDM-Interface	45
Tabelle 18: Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS)	46
Tabelle 19: Vermarktungskomponente	47
Tabelle 20: Middleware	48
Tabelle 21: Plattform-Dienste	49
Tabelle 22: Merge-Service	51
Tabelle 23: Split-Service.....	52
Tabelle 24: EFDM-Mapping.....	53
Tabelle 25: Produktionsplanung und –Steuerung (PPS).....	54
Tabelle 26: Lastmanagement	55
Tabelle 27: Optimierungs-Service	55
Tabelle 28: Informationsservices	56
Tabelle 29: Mapping funktionaler Anforderungen auf UP-Komponenten	57
Tabelle 30: Auszug an EFDM-Eigenschaften für die Automatisierung der Kernprozesse der UP	60
Tabelle 31: Ergänzende UP-Prozess-IDs (optional)	62
Tabelle 32: Informationsobjekt „Flexibilitätserfassung“	70
Tabelle 33: Informationsobjekt „Flexibilitätsvermarktung“	74
Tabelle 34: Informationsobjekt „Flexibilitätsangebot“	75
Tabelle 35: Informationsobjekt „Flexibilitätsreservierung“	75
Tabelle 36: Informationsobjekt „Flexibilitätsabruf“	76
Tabelle 37: Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll“	76
Tabelle 38: Informationsobjekt „Abrechnung“	77
Tabelle 39: Informationsobjekt „Flexibilitätsinformation“	80

Tabelle 40: Informationsobjekt „Flexibilitätsreservierung (intern)“	80
Tabelle 41: Informationsobjekt „Flexibilitätsabruf (intern)“	81
Tabelle 42: Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll (intern)“	81
Tabelle 43: Informationsobjekt „Auswertung“	82
Tabelle 44: Informationsobjekt „Flexibilitätsaktualisierung“	84
Tabelle 45: Informationsobjekt „Flexibilitätsangebotsaktualisierung“	85
Tabelle 46: Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll (Fehler)“	88
Tabelle 47: Informationsobjekt „Abrechnung oder Auswertung (nach Fehler)“	88
Tabelle 48: Risiken und technische Schulden	98

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve
API	Application Programming Interface
AsyncAPI	AsyncAPI Specification
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
BSI-KritisV	BSI-Kritisverordnung
CA	Certificate Authority
CRUD	Create, Read, Update, Delete
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
EDI	Electronic Data Interchange
EFDm	Energieflexibilitätsdatenmodell
EFMS	Energieflexibilitätsmanagementservice
EMS	Energiemanagementsystem
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ERP	Enterprise Resource Planning
ESP	Energiesynchronisationsplattform
FCR	Frequency Containment Reserve
FLM	Flexible-Last-Maßnahme
FLMAP	Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokoll
FLMP	Flexible-Last-Maßnahmen-Paket
FR	Flexibilitätsraum
FTP	File Transfer Protocol
GUI	Graphical User Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IAM	Identity and Access Management
ID	Identifizier
IEC	International Electrotechnical Commission
IIoT	Industrial Internet of Things
ISMS	Informationssicherheitsmanagementsystem
ISO	International Organization for Standardization
IT-SiG	IT-Sicherheitsgesetz
JSON	JavaScript Object Notation
KI	Künstliche Intelligenz
KPI	Key Performance Indicator
KRITIS	Kritische Infrastrukturen

MES	Manufacturing Execution System
mFRR	Manual Frequency Restoration Reserve
MIBS	Marktinformationsbeschaffungsservice
MP	Marktplattform
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NIS2	Network and Information Security Directive 2
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
OpenAPI	OpenAPI Specification
OT	Operational Technology
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RBAC	Role-Based Access Control
REQ	Requirement
REST	Representational State Transfer
SCP	Secure Copy Protocol
SF	Systemfunktionalität
SMB	Server Message Block
SQL	Structured Query Language
SSO	Single Sign-on
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
TLS	Transport Layer Security
UP	Unternehmensplattform
UUID	Universally Unique Identifier
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WebDAV	Web Distributed Authoring and Versioning
WMS	Workflow-Management-System
XML	Extensible Markup Language
YAML	YAML Ain't Markup Language

Einführung und Zielstellung

Einführung

Mit dem steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland – mit einem angestrebten Anteil von 80 % bis zum Jahr 2030 – nimmt die Volatilität der Energieerzeugung zu. Insbesondere die Einspeisung aus Wind- und Solarenergie unterliegt zeitlichen Schwankungen. Daraus resultieren zunehmende Schwankungen der Strompreise, die für industrielle Verbraucher sowohl Herausforderungen als auch wirtschaftliche Potenziale darstellen.

Die energieflexible Fabrik adressiert diese Entwicklung, indem sie eine adaptive und bedarfsgerechte Nutzung von Energie ermöglicht. Energieflexibilität bezeichnet in diesem Kontext die Fähigkeit, Energieverbrauch und -bereitstellung zeitlich und mengenmäßig an externe Signale, wie beispielsweise Preis- oder Netzsignale, anzupassen. Potenziale ergeben sich sowohl im markt-, system- und netzdienlichen Einsatz von Energieflexibilität als auch in der innerbetrieblichen Optimierung, etwa durch Lastspitzenmanagement oder die Maximierung des Eigenverbrauchs.

Das übergeordnete Ziel der Energieflexibilität ist die Optimierung der Energiekosten unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Randbedingungen. Dies umfasst unter anderem:

- Reaktion auf volatile Energiepreise
- Externes Anbieten von Energieflexibilitäten
- Maximierung des Eigenverbrauchs
- Maximierung der Nutzung erneuerbarer Energien
- Peak Shaving (Lastspitzenglättung) und Lastausgleich des Strombedarfs
- Verbesserung der Qualität der elektrischen Leistung
- Verbesserung der Energieinfrastruktur-Resilienz

Zur Realisierung der übergeordneten Ziele ist die Ausgestaltung der Informations- und Kommunikationstechnik zur automatisierten Erfassung und Verarbeitung von Flexibilität von entscheidender Bedeutung.

Die [Energiesynchronisationsplattform](#) (ESP) stellt in diesem Kontext ein übergeordnetes Konzept dar, das die Integration und Koordination von Akteuren, Systemen und Services entlang des gesamten Prozesses der Energieflexibilitätsnutzung ermöglicht. Ziel ist die durchgängige Automatisierung und Standardisierung der Prozesse – von der Erfassung der Flexibilität auf Maschinenebene bis hin zur Vermarktung auf Energiemärkten. Dadurch wird eine systemweite Synchronisation von Stromangebot und -nachfrage unterstützt.



Abbildung 1: Energiesynchronisationsplattform in der Übersicht

Die ESP ist dabei nicht als physische Plattform zu verstehen, sondern als konzeptioneller Rahmen, der die Interaktion zwischen Unternehmensplattformen (UP), marktseitigen Services sowie der optionalen Marktplattform (MP) beschreibt. Sie umfasst insbesondere Architekturprinzipien, Komponenten, Datenmodelle, Schnittstellen, Stakeholder sowie Sicherheitsanforderungen.

Die Unternehmensplattform (UP) bildet die technische Umsetzung dieses Konzepts innerhalb eines Unternehmens. Sie stellt ein modulares, serviceorientiertes und sicheres informations- und kommunikationstechnisches System dar, das die Integration, Steuerung und Optimierung energieflexibler Prozesse ermöglicht. Damit automatisiert sie die innerbetriebliche Nutzung sowie die externe Vermarktung von Energieflexibilität.

Zielstellung und Anwendungsbereich

Ziel dieses Dokuments ist die Entwicklung und Beschreibung einer Referenzarchitektur für Unternehmensplattformen zum Betrieb energieflexibler Fabriken. Die Referenzarchitektur dient als abstrahiertes, plattformunabhängiges Modell, das die wesentlichen Anforderungen, Strukturen, Komponenten, Prozesse sowie Schnittstellen einer solchen Plattform systematisch beschreibt.

Sie stellt Modellmuster bereit, die eine strukturierte und nachvollziehbare Ableitung konkreter Architektur-Instanzen ermöglichen. Architektur-Instanzen beschreiben dabei die spezifische technische Umsetzung einer Unternehmensplattform auf Basis einer konkreten IIoT-Plattform oder innerhalb eines unternehmensspezifischen Anwendungskontexts. Während die Referenzarchitektur allgemeingültige Prinzipien und Strukturen definiert, konkretisieren Architektur-Instanzen diese unter Berücksichtigung plattformspezifischer Eigenschaften, bestehender Systemlandschaften und individueller Anforderungen.

Die Referenzarchitektur richtet sich insbesondere an Plattformanbieter, -betreiber und -entwickler und unterstützt diese bei der systematischen Weiterentwicklung bestehender IIoT-Plattformen hin zu Unternehmensplattformen für energieflexible Fabriken. Sie ermöglicht die strukturierte Analyse bestehender Funktionalitäten, die Identifikation von Handlungsbedarfen sowie die Planung erforderlicher Entwicklungsschritte. Darüber hinaus bietet sie Service-Entwicklern eine

Grundlage für die Entwicklung plattformübergreifender Anwendungen und unterstützt Systemintegratoren bei der Umsetzung standardisierter Integrationslösungen.

Durch die Anwendung der Referenzarchitektur wird eine erhöhte Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Plattformlösungen angestrebt. Dies ermöglicht es Unternehmen, zwischen verschiedenen Anbietern zu wählen oder eigene Unternehmensplattformen auf Basis bestehender IIoT-Plattformen zu realisieren. Insgesamt trägt die Referenzarchitektur dazu bei, ein breiteres Lösungsangebot für industrielles Lastmanagement zu schaffen und die Nutzung industrieller Energieflexibilität als Beitrag zur Energiewende zu fördern.

Leseverweise

Die Inhalte des Dokuments bauen auf eine Reihe von Dokumenten auf, die im Rahmen von SynErgie bereits veröffentlicht wurden. Für ein besseres Verständnis sollten folgende Informationen und Dokumente vorab berücksichtigt werden:

1. [Einführungsvideo zur Energiesynchronisationsplattform \(ESP\)](#) – Das Video erklärt die Funktionsweise und die Vorteile der ESP auf verständliche Weise für Neueinsteiger.
2. [VDI-Blätter Reihe 5207](#) – insbesondere Blatt 3 „IT-Infrastruktur zum Betrieb energieflexibler Fabriken“: Die Blätter der Reihe 5207 geben eine umfassende Einführung in das Thema der Energieflexibilität, angefangen von den Grundbegriffen bis hin zur IT-Infrastruktur.
3. [Security Guide](#) – Wichtige Sicherheitsaspekte bei der Implementierung und dem Betrieb einer UP.

Ergänzend dazu empfehlen wir weitere Veröffentlichungen aus SynErgie. Diese müssen nicht vorab gelesen werden, dienen aber der weiteren Einarbeitung in Themen rund um die Ausgestaltung des zukünftigen Energiesystems und den Beitrag, den SynErgie dazu leistet:

1. SynErgie-Fachbücher (geben eine fundiert aufbereitete Zusammenfassung der Arbeiten über das gesamte Projekt SynErgie)
 - a. [Band 1](#): Überblick über Förderphase 1 - Für Informationen zum Strommarkt kann hier insbesondere Kapitel A.2.2 konsultiert werden sowie folgende [Kurzdarstellung](#)
 - b. [Band 2](#): Überblick über Förderphase 2
 - c. Band 3: Überblick über Förderphase 3 (noch nicht veröffentlicht)
2. [Leitfaden zur Energiesynchronisationsplattform](#) (Version 1.0): Der Leitfaden wurde geschrieben, um einen einfachen Zugang zum Thema Energiesynchronisationsplattform zu schaffen. Der Stand entspricht dem Ende von Förderphase 2 (vgl. Fachbuch, Band 2). Insbesondere das Thema Einführungsprozesse der ESP ist dort strukturiert dargestellt.
3. Ältere Dokumente wie die [„Diskussionspapiere \(v4\)“](#): Diese Dokumente geben historische und konzeptionelle Kontextinformationen und können als Hintergrundmaterial dienen, repräsentieren aber nicht unbedingt den aktuellen Entwicklungsstand im SynErgie-Projekt.

Für IIoT-Plattformanbieter bietet auch der bereits veröffentlichte [Evaluationsleitfaden](#) „Leitfaden für die Umsetzung energieflexibler IIoT-Plattformen“ einen hervorragenden Einstiegspunkt. Er bietet Orientierung für die Entwicklung digitaler Plattformen zur Automatisierung und Vermarktung von Energieflexibilität, insbesondere für Anbieter bestehender IIoT-Plattformen, die diese erweitern oder anpassen möchten. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der GAP-Analyse, die Lücken zwischen dem aktuellen Stand einer IIoT-Plattform und der angestrebten UP identifiziert und den Handlungsbedarf ermittelt. Die GAP-Analyse berücksichtigt die Anforderungen und Zielarchitektur aus der UP-Referenzarchitektur. Für jede Plattform können somit individuell notwendige Transformationsschritte geplant werden.

Stakeholder

Die Entwicklung von Referenzarchitektur und Architekturinstanzen erfordert die Berücksichtigung unterschiedlicher Stakeholder mit jeweils spezifischen Rollen, Anforderungen und Zielsetzungen.

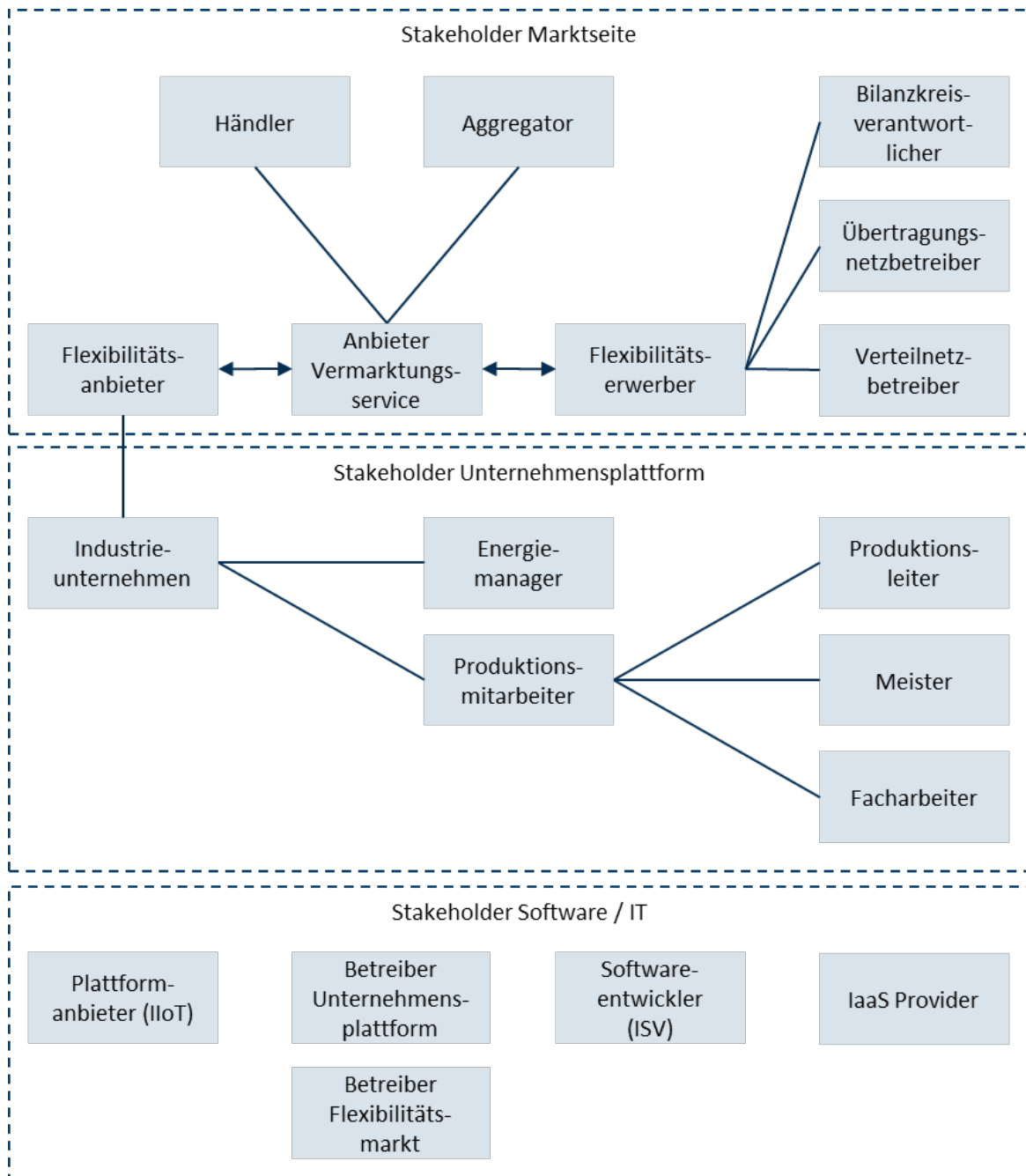


Abbildung 2: Stakeholder in der Übersicht

Die systematische Analyse der Stakeholder dient dazu, die Anforderungen an die Referenzarchitektur sowie an daraus abgeleitete Architektur-Instanzen strukturiert zu erfassen und in die Architekturentwicklung zu überführen. Im Folgenden wird zwischen Erwartungen an die Referenzarchitektur als konzeptionelles, plattformunabhängiges Modell und Erwartungen an konkrete Architektur-Instanzen als spezifische technische Ausprägungen unterschieden.

Tabelle 1: Stakeholder mit direkter Relevanz für die Architektur

Stakeholder	Erwartung an Referenzarchitektur	Erwartung an Architektur-Instanz
IIoT-Plattformanbieter Stellen IIoT-Plattformen als technische Grundlage für die Umsetzung einer UP bereit.	Bereitstellung von Anforderungen, Architekturmodellen und Spezifikationen zur strukturierten Ableitung von Architektur-Instanzen.	Umsetzung einer plattformspezifischen Architektur-Instanz zur Transformation der bestehenden Plattform in eine UP.
Betreiber der Unternehmensplattform Verantwortlich für den Betrieb und die Wartung der UP.	Definition von Anforderungen an Skalierbarkeit, Wartbarkeit und Betriebsprozesse.	Umsetzung einer skalierbaren und wartungsfreundlichen Architektur unter Berücksichtigung plattformspezifischer Betriebsanforderungen.
Industrieunternehmen Nutzen die UP zur Realisierung energieflexibler Produktionsprozesse.	Unterstützung der Integration bestehender Unternehmenssysteme sowie Transparenz über Flexibilitätsprozesse.	Berücksichtigung unternehmensspezifischer Anforderungen an Integration, Betrieb und Vermarktung von Energieflexibilität.
Energiemanager Verantwortlich für das Energiemanagement im Unternehmen.	Definition von Komponenten und Funktionen zur Analyse und Steuerung von Energieflexibilität.	Integration unternehmensspezifischer Energiemanagementsysteme und entsprechender Steuerungslogiken.
Produktionsmitarbeiter Nutzen durch die UP initiierte Maßnahmen in der operativen Produktion.	Berücksichtigung von Systemen zur Produktionsdatenerfassung und -steuerung.	Umsetzung konkreter Integrationslösungen (z. B. Konnektoren) zu produktionsnahen Systemen.
Anbieter von Vermarktungsservices Betreiben externe Dienste zur Vermarktung von Energieflexibilität (z. B. Aggregatoren).	Definition standardisierter Schnittstellen für den Datenaustausch und die Integration externer Services.	Umsetzung plattformspezifischer Marktadapter zur Anbindung konkreter Vermarktungsservices.

Flexibilitätsanbieter Stellen Energieflexibilität bereit.	Definition von Prozessen für Bereitstellung, Vermarktung und Erbringung von Flexibilität.	Umsetzung plattformspezifischer Prozesse zur operativen Bereitstellung und Vermarktung.
Flexibilitätserwerber / Flexibilitätsnachfrager Nutzen Energieflexibilität für externe oder interne Zwecke.	Definition von Prozessen zur Nutzung und Verwertung von Energieflexibilität.	Umsetzung konkreter Prozesse zur internen Optimierung oder externen Nutzung.
Independent Software Vendor Entwickeln Softwarelösungen zur Integration in die UP.	Bereitstellung standardisierter Schnittstellen und Integrationskonzepte.	Bereitstellung plattformspezifischer APIs, SDKs und Integrationsmechanismen.
IaaS Provider Stellen die Infrastruktur für den Betrieb der UP bereit.	Definition allgemeiner Anforderungen an Sicherheit, Performance und Skalierbarkeit.	Umsetzung plattformspezifischer Infrastrukturkonfigurationen entsprechend den Anforderungen.

Neben den direkt an der Architektur beteiligten Akteuren existieren weitere Stakeholder, die indirekt mit der UP interagieren. Deren Anforderungen beeinflussen insbesondere regulatorische, marktseitige und infrastrukturelle Rahmenbedingungen.

Tabelle 2: Sonstige Stakeholder mit indirektem Bezug zur Architektur

Stakeholder	Generelle Erwartungshaltung
Netzbetreiber wie Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) und Verteilnetzbetreiber (VNB)	Verlässliche Bereitstellung von Energieflexibilität zur Sicherstellung der Netzstabilität und Einhaltung regulatorischer Vorgaben.
Messstellenbetreiber	Konsistente Erfassung und Verarbeitung von Messdaten zur Bewertung von Energieflexibilität.
Bilanzkreisverantwortlicher	Bereitstellung präziser und konsistenter Informationen zur Bilanzierung von Einspeisung und Verbrauch.
Betreiber eines Flexibilitätsmarkts	Stabile Integration mit Vermarktungsservices, um Energieflexibilität effizient handelbar zu machen.

Randbedingungen

Für die Umsetzung einer UP sind neben den in dieser Referenzarchitektur beschriebenen Anforderungen zusätzliche Randbedingungen zu berücksichtigen. Diese ergeben sich aus technischen, organisatorischen und regulatorischen Rahmenbedingungen und beeinflussen die konkrete Umsetzung von Unternehmensplattformen auf Basis abgeleiteter Architektur-Instanzen.

Die systematische Berücksichtigung dieser Randbedingungen ist insbesondere bei der Instanziierung einer UP auf Basis bestehender IIoT-Plattformen erforderlich, da sie wesentliche Anforderungen an Interoperabilität, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und regulatorische Konformität definieren.

Tabelle 3: Randbedingungen

Typ	Randbedingung
Technisch	Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM): Das im Projekt SynErgie entwickelte EFDM ermöglicht eine standardisierte und generische Beschreibung von Energieflexibilität. Für die Interoperabilität innerhalb der UP ist die Nutzung des EFDM verbindlich. Eine detaillierte Beschreibung erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten.
Technisch	IT-Sicherheitsstandards (ISO/IEC 27001, BSI-Grundschutz): Der Einsatz etablierter Sicherheitsstandards ist für viele Unternehmen Voraussetzung für den Plattformbetrieb. Insbesondere im Energiesektor bestehen zusätzliche regulatorische Anforderungen (z. B. IT-SiG, NIS2). Ergänzende Ausführungen sind im Security Guide enthalten.
Organisatorisch	Wirtschaftlichkeitsprüfung: Der Einsatz einer UP ist nur dann sinnvoll, wenn ein wirtschaftlicher Nutzen erzielt werden kann. Werkzeuge wie das im Projekt SynErgie entwickelte Schnell-Check-Tool unterstützen Unternehmen bei der Bewertung von Potenzialen und Erlösmöglichkeiten der Energieflexibilität.
Regulatorisch	IT-Sicherheitsgesetz (IT-SiG) und BSI-Kritisverordnung (BSI-KritisV): Betreiber kritischer Infrastrukturen unterliegen erhöhten Anforderungen an die Informationssicherheit. Dazu zählen insbesondere der Betrieb eines Informationssicherheitsmanagementsystems (ISMS), die Einhaltung des Stands der Technik sowie Nachweis- und Meldepflichten.
Regulatorisch	IT-Sicherheitskatalog der Bundesnetzagentur: Für die Energiewirtschaft konkretisiert der IT-Sicherheitskatalog die Anforderungen an Informationssicherheit und Betrieb kritischer Systeme.

Regulatorisch	NIS2-Umsetzungsgesetz: Die nationale Umsetzung der EU-Richtlinie NIS2 erweitert Anforderungen an Cybersicherheit und Meldepflichten für kritische und wesentliche Einrichtungen.
Regulatorisch	Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO): Personenbezogene Daten dürfen nur auf Grundlage einer Rechtsbasis und unter Einhaltung datenschutzrechtlicher Prinzipien (z. B. Datensparsamkeit) verarbeitet werden.
Regulatorisch	Energiewirtschaftsgesetz (EnWG): Das EnWG ist das zentrale Gesetz, das den Betrieb von Energienetzen und den Wettbewerb auf dem Strommarkt regelt. Es enthält Anforderungen zur Transparenz, Nichtdiskriminierung und Marktintegration. Ebenso enthält es auch Vorgaben zur IT-Sicherheit (vgl. IT-Sicherheitsgesetz weiter oben).
Regulatorisch	Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV): Legt fest, wie Netzentgelte zu kalkulieren sind und welche Kosten zulässig sind.
Regulatorisch	Regelungen zur Marktkommunikation: Plattformen müssen den Vorgaben zur Datenübertragung entsprechen, z. B. den EDI-Standards (Electronic Data Interchange), die von der Bundesnetzagentur vorgegeben werden.
Regulatorisch	Märkte für Primär- (FCR), Sekundär- (aFRR) und Minutenreserve (mFRR): Die hohen Anforderungen an Datenqualität, Verfügbarkeit und Echtzeit-Übertragung müssen bei Teilnahme am entsprechenden Markt der Regelreserve beachtet werden.
Regulatorisch	Festlegungen der Bundesnetzagentur (BNetzA): Vorgaben zu Auktionen, Preisbildungsmechanismen und Berichtspflichten müssen beachtet werden.

Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM)

Für die interoperable Beschreibung von Energieflexibilität ist innerhalb der Referenzarchitektur ein standardisiertes Datenmodell erforderlich. Diese Funktion übernimmt das Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM).

Innerhalb der Referenzarchitektur bildet das EFDM das zentrale fachliche Informationsmodell für den Austausch flexibilitätsbezogener Daten. Es unterstützt sowohl die interne Kommunikation zwischen Komponenten und Services der UP als auch die externe Kommunikation mit Vermarktungsservices und weiteren Akteuren des Energiesystems. Dadurch wird sichergestellt, dass Energieflexibilität über verschiedene Systeme, Organisationen und technische Plattformen hinweg konsistent beschrieben und verarbeitet werden kann.

Das EFDM beschreibt in einem Flexibilitätsraum die Freiheitsgrade eines energieflexiblen Systems hinsichtlich möglicher Leistungsänderungen. Aus diesem Flexibilitätsraum können konkrete Maßnahmen zur Laständerung abgeleitet, geplant, vermarktet und ausgeführt werden. Das EFDM ermöglicht darüber hinaus die Aggregation mehrerer Flexibilitätsräume sowie die Berücksichtigung technischer Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen flexiblen Lasten.

Durch die Integration des EFDM in die Referenzarchitektur wird eine standardisierte, skalierbare und plattformübergreifende Verarbeitung von Energieflexibilität ermöglicht. Das Datenmodell stellt damit eine wesentliche Voraussetzung für Interoperabilität, Automatisierung und wirtschaftliche Nutzung von Energieflexibilität innerhalb und außerhalb der Unternehmensplattform dar.

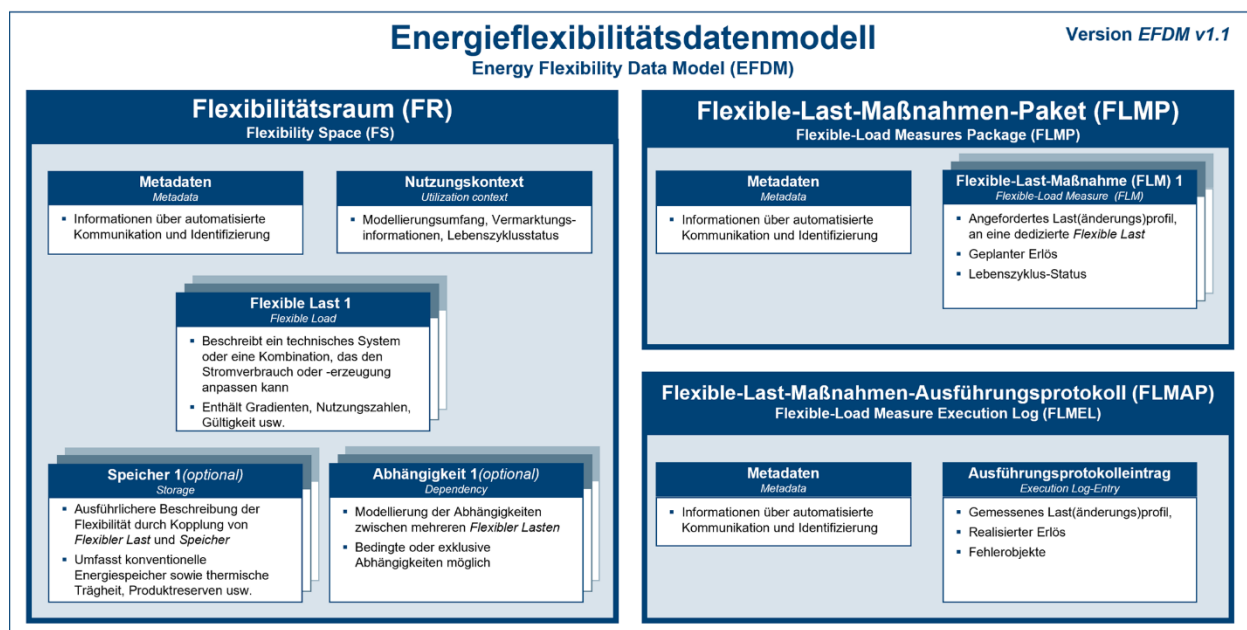


Abbildung 3: Klassen des Energieflexibilitätsdatenmodells (aus dem [EFDM Git Repository](#))

Die im Folgenden aufgeführten Klassen und Elemente entsprechen der EFDM-Version 1.1 aus dem [EFDM Git-Repository](#) „Energy Flexibility Data Model“. Eine ausführliche Beschreibung des Datenmodells samt Elementen und Attributen ist dem Git-Repository zu entnehmen.

Metadaten

Die Klasse Metadaten enthält Informationen zur eindeutigen Identifikation, Versionierung und Kontextualisierung einer EFDM-Instanz. Sie bildet die Grundlage für Nachvollziehbarkeit, Verwaltung und automatisierte Verarbeitung.

Flexibilitätsraum (FR)

Der Flexibilitätsraum beschreibt das verfügbare Energieflexibilitätspotenzial eines Systems. Er definiert zulässige Leistungszustände, zeitliche Randbedingungen sowie weitere Freiheitsgrade eines energieflexiblen Systems. Der Flexibilitätsraum bildet die zentrale Grundlage für Planung, Optimierung und Vermarktung.

Nutzungskontext eines FR

Diese Klasse beschreibt den fachlichen und prozessualen Kontext eines Flexibilitätsraums. Dazu zählen insbesondere Statusinformationen, der Modellierungsumfang sowie Angaben zur Vermarktbarkeit und Automatisierbarkeit.

Flexible Last eines FR

Eine Flexible Last beschreibt ein technisches System oder ein Systemverbund, dessen elektrische Leistung angepasst werden kann. Hierzu zählen sowohl Verbraucher als auch Erzeuger elektrischer Energie. Die Klasse enthält unter anderem Angaben zu Leistungszuständen, Reaktionszeiten, Kosten, Preisen und Standorten.

Abhängigkeit zwischen flexiblen Lasten eines FR

Mit dieser Klasse werden Wechselwirkungen und Einschränkungen zwischen mehreren Flexiblen Lasten modelliert. Dadurch können technische, betriebliche oder qualitative Randbedingungen des Gesamtsystems berücksichtigt werden.

Speicher eines FR

Die Klasse Speicher beschreibt Energiespeicher oder speicherähnliche Flexibilitätspotenziale. Hierzu zählen beispielsweise Batteriespeicher, thermische Speicher, Druckluftspeicher oder indirekte Speicherpotenziale in industriellen Prozessen.

Flexible-Last-Maßnahmen-Paket (FLMP)

Das FLMP bündelt konkrete Maßnahmen zur Nutzung von Energieflexibilität. Es enthält eine oder mehrere Flexible-Last-Maßnahmen und dient der strukturierten Übergabe von Steuerungs- oder Vermarktungsanforderungen.

Flexible-Last-Maßnahme (FLM)

Eine Flexible-Last-Maßnahme beschreibt ein konkretes Laständerungsprofil für eine definierte Flexible Last. Zusätzlich können wirtschaftliche Informationen, insbesondere erwartete Erlöse, enthalten sein.

Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokoll (FLMAP)

Das Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokoll dokumentiert die tatsächliche Umsetzung adressierter Maßnahmen. Es enthält insbesondere gemessene Laständerungsprofile, realisierte Erlöse sowie gegebenenfalls Fehlermeldungen.

Anforderungen

In diesem Kapitel werden Anforderungen zusammengefasst, die für die Erstellung einer UP-Referenzarchitektur und die Instanziierung der UP in marktrelevanten IIoT-Plattformen bzw. die Transformation dieser Plattformen hin zu einer UP relevant sind. Die Anforderungen sind folgenden Hauptkategorien zugeordnet:

- Anforderungen an die Betriebsumgebung: Grundlegende funktionale und nicht-funktionale Anforderungen an eine IIoT-Plattform als Betriebsumgebung für eine UP.
- Anforderungen zur Realisierung von Energieflexibilität: Relevante Funktionen des automatisierten Energieflexibilitätshandels, von der Erfassung bis hin zur Vermarktung und Erbringung von Energieflexibilität.
- Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen: Anforderungen die sich aus der Partizipation an Energiewirtschaft und Strommärkten ergeben.
- Anforderungen an die Sicherheit: Sicherheitsanforderungen von Unternehmens- und Marktseite.

Konventionen

Um Mehrdeutigkeiten in natürlichsprachlichen Beschreibungen von Anforderungen zu reduzieren, haben sich in der Praxis verschiedene Techniken bewährt, die auch in diesem Dokument Anwendung finden. So werden (zur Vermeidung häufig vorkommender Fehler in der Anforderungsformulierung) syntaktische Anforderungsmuster/-schablonen zur Bildung von Anforderungen zugrunde gelegt.

Funktionale Anforderungen an Softwarekomponenten:

<Komponente> { (A) „muss“ | (B) „kann“ } <technische Funktionalität> { „bieten“ | „können“ | „bereitstellen“ | etc. }

Qualitätsanforderungen an Softwarekomponenten und technische Funktionalitäten:

{ <Komponente> | <technische Funktionalität> } { (A) „muss“ | (B) „kann“ }
<Qualitätsanforderung> { „sein“ | „haben“ | „bieten“ | „erfüllen“ | etc. }

Prioritäten: A = essenzielle Funktionalität; B = wünschenswerte Funktionalität

Nummerierung von Anforderungen: durchgehende Nummerierung je Anforderungskategorie:

„REQ-“ { „SF“ (Systemfunktionalität) | „PERF“ (Performance) | „Q“ (Qualität) | „SEC“ (Security) }
„-<Nummer>“ { „*“ (essenzielle Funktionalität) | „“ (wünschenswerte Funktionalität) }

Ausschluss von Aspekten über: <System> „darf nicht“

Generelle Betriebsanforderungen

IIoT-Plattformen müssen grundlegende Anforderungen erfüllen um als Basis für eine UP geeignet zu sein. Dazu gehören neben generellen nicht-funktionalen Anforderungen an die Plattform auch Anforderungen an grundlegende Plattformfunktionen (Integration, Daten-Speicherung und -Weiterverarbeitung) sowie Unterstützung von relevanten Schnittstellen, Protokollen und Datenmodellen.

Grundlegende nicht-funktionale Anforderungen

Tabelle 4: Grundlegende nicht-funktionale Anforderungen

No.	Anforderung
REQ-Q-001*	Skalierbarkeit: Die UP <i>muss</i> skalierbar sein, um bspw. eine steigende Anzahl angebundener Geräte bedienen zu können. Die Performance einer UP-Instanz (vgl. REQ-PERF-002*) <i>muss</i> bei ihrer Skalierung entsprechend mitwachsen.
REQ-Q-002*	Transparenz: Die UP <i>muss</i> Prozesstransparenz schaffen bezüglich vorhandener Energieflexibilität und deren Vermarktung.
REQ-Q-003*	(Betriebs-)Verfügbarkeit: Die UP <i>muss</i> die Möglichkeit bieten, sie mit einem ausreichend hohen Maß an (Betriebs-)Verfügbarkeit (Ausfallsicherheit) zu betreiben in Abhängigkeit der Anforderungen vom Markt oder des Unternehmens. Vorteilhaft hierfür sind beispielsweise Möglichkeiten für einen redundanten Betrieb sowie die Minimierung von Unterbrechungen bei Konfigurations-änderungen und Softwareaktualisierungen.
REQ-Q-004*	Datenintegrität und Datenvalidität: Die UP <i>muss</i> ein hohes Maß an Datenintegrität und Datenvalidität bieten und Möglichkeiten, dies zu überprüfen.
REQ-Q-005*	Softwarequalität: UP-Komponenten und -Services <i>müssen</i> eine hohe Softwarequalität aufweisen, insbesondere zur Sicherstellung der Funktion und zur Vermeidung von Schwachstellen. Dazu werden Prüfmechanismen im Softwareentwicklungsprozess eingesetzt und benutzte Bibliotheken fortlaufend auf das Bekanntwerden von Schwachstellen geprüft.
REQ-Q-006	Modularität: Die Plattform <i>kann</i> modular aufgebaut sein. Dies erleichtert im Allgemeinen das Ändern und Hinzufügen von Funktionalitäten (vgl. REQ-SF-001).
REQ-PERF-001*	Reaktionszeit: Die UP <i>muss</i> Zielmarkt-spezifische Reaktionszeiten einhalten können für diejenigen Zielmärkte, die sie unterstützen möchte. Beispiele: - Lokaler Flexibilitätsmarkt: Die UP muss eine Reaktionszeit von 30 Minuten vom Auftrag bis zur Erbringung umsetzen können. - Aggregator-Nutzung (bspw. Entelios): Die UP muss die vom Aggregator vorgegebene Reaktionszeit umsetzen können.
REQ-PERF-002*	Performance: Die UP <i>muss</i> – ausreichend Systemressourcen vorausgesetzt – auch unter Last die angestrebten Reaktionszeiten (vgl. REQ-PERF-001*)

	einhalten. Jede Plattforminstanz wird hierfür entsprechend den erwartbaren Lastszenarien ausgelegt. Die Skalierbarkeit der Plattform (vgl. REQ-Q-001*) stellt sicher, dass eine geeignete Auslegung für ein breites Spektrum an Anwendungsfällen möglich ist, bspw. auch für Szenarien mit vielen angebundenen Geräten. Die Skalierbarkeit der Plattform ist eine qualitative Eigenschaft der Implementierung der UP, während die hier vorliegende Anforderung bzgl. der Performance ein quantitatives Ziel für konkrete UP-Instanzen ist.
--	---

Anforderungen an die grundlegenden Funktionen einer IIoT-Plattform

Tabelle 5: Anforderungen an die grundlegenden Funktionen einer IIoT-Plattform

No.	Anforderung
REQ-SF-001	Erweiterbarkeit durch Nutzer: Die Plattform <i>kann</i> den Nutzern Funktionalitäten bieten, womit die Plattform um nutzerspezifische Funktionen erweitert werden kann. Individuelle Services (vgl. REQ-SF-012) sind ein möglicher Mechanismus für die Erweiterbarkeit. No-Code-Editoren sind eine andere Möglichkeit, insb. zur Realisierung kleiner nutzerspezifischer Funktionalitäten. Ein modularer Aufbau (vgl. REQ-Q-006) führt in der Regel zu einer prinzipiellen Erweiterbarkeit. Die hier vorliegende Anforderung zur Erweiterbarkeit geht darüber hinaus, indem auch Nutzern die Möglichkeit zur Plattformerweiterung eingeräumt wird (statt dieser Möglichkeit nur beim Hersteller der Plattform zu belassen).
REQ-SF-002*	Ressourcenbegrenzung: Die Plattform <i>muss</i> die von einzelnen Services nutzbaren Ressourcen (Arbeitsspeicher, persistenter Speicher, Netzwerkbandbreite, ...) beschränken, so dass eine eskalierende Ressourcennutzung durch einen Service nicht die gesamte Plattform beeinträchtigen kann. Dabei müssen die Ressourcen für den jeweiligen Service so bemessen sein, dass er ausreichend Performance (vgl. REQ-PERF-002*) hat. Bei einer Skalierung der Plattform (vgl. REQ-Q-001*) wird die Ressourcenzuteilung sinnvoll angepasst.
REQ-SF-003*	Datenerfassung: Die Plattform <i>muss</i> Daten aus Unternehmenssystemen erfassen können, bspw. aus IIoT-Geräten, OT-Systemen und ERP-Systemen. Dies umfasst numerische und nichtnumerische Daten – insbesondere, aber nicht ausschließlich, Stammdaten, Messwerte, Ereignisse und Prognosen. Anwendungszweck ist die Erfassung energieflexibilitäts-relevanter Daten, wobei hierunter viele unterschiedliche Daten fallen können.
REQ-SF-004*	Datenspeicherung: Die Plattform <i>muss</i> Daten speichern können. Dies beinhaltet insbesondere, aber nicht ausschließlich, Stammdaten, Zeitreihen von Messwerten, Ereignisprotokolle und Steuerbefehle für IIoT-Geräte. Auch die Speicherung von Energieflexibilitäts-daten (vgl. REQ-SF-019*, REQ-SF-

	024*) und die Protokollierung der Erbringung von Energieflexibilität (vgl. REQ-SF-038*) muss möglich sein.
REQ-SF-005*	Datentransformation: Die Plattform <i>muss</i> Daten transformieren können, um diese bspw. in andere Datenformate übertragen zu können.
REQ-SF-006*	Datenverarbeitung: Die Plattform <i>muss</i> Daten weiterverarbeiten können, so dass sich Anwendungen wie bspw. ein energieflexibler Fabrikbetrieb realisieren lassen.
REQ-SF-007*	Datenbereitstellung: Die Plattform <i>muss</i> Daten mittels gängiger Protokolle in gängigen Formaten an UP-Services und an externe Systeme bereitstellen können. Dies umfasst sowohl passive Abrufmöglichkeiten als auch aktive Sendefunktionalitäten.
REQ-SF-008	Datenvisualisierung: Die Plattform <i>kann</i> Funktionen zur Visualisierung von Daten bspw. in Form von Dashboards anbieten.
REQ-SF-009	Steuerung: Die UP <i>kann</i> Funktionalitäten zum Steuern von Maschinen und Anlagen anbieten.
REQ-SF-010*	Individuelle Konnektoren: Die Plattform <i>muss</i> die Entwicklung individueller Konnektoren zu Unternehmenssystemen mit Energieflexibilitäts-relevanten Informationen ermöglichen, bspw. zur Anbindung folgender Datenquellen und Dienste: - Datenbanken (bspw. SQL, NoSQL; bspw. via ODBC, JDBC, HTTP-CRUD-API) - Dateisysteme (bspw. via SMB, WebDAV, File Transfer Protokolle wie FTP und SCP) - Message Broker (bspw. via MQTT) - Industriesysteme (bspw. via OPC-UA, ModBus-TCP) - Geschäftsapplikationen (bspw. via REST-API) Durch individuelle Konnektoren werden die Standardfunktionen der Plattform zur Datenerfassung (vgl. REQ-SF-003) erweitert. Die Konnektoren <i>müssen</i> neben der eigentlichen Datenerfassung möglicherweise auch Funktionen zur Datentransformation (vgl. REQ-SF-005*) und -vorverarbeitung (vgl. REQ-SF-006*) abdecken können sowie Daten an die angebundenen Systeme zurückspielen (vgl. REQ-SF-007) können.
REQ-SF-011	Anwenderkonfigurierbare Integration von Datenquellen und Unternehmensanwendungen: Die Plattform <i>kann</i> über anwenderkonfigurierbare Integrationsmechanismen für Datenbanken, Dateisysteme, etablierte Kommunikationsprotokolle inkl. Message Broker sowie industrielle Applikationen verfügen. Auf diese Weise können Fachanwender Integrationsaufgaben eigenständig lösen und sind nicht auf Implementierungsarbeiten von IT-Experten angewiesen. Individuelle Konnektoren (vgl. REQ-SF-010*) haben im Vergleich hiermit nicht die Anforderung, durch Fachanwender konfigurierbar zu sein.

REQ-SF-012	Individuelle Services: Die Plattform <i>kann</i> Nutzern die Möglichkeit bieten, individuelle Services (vgl. REQ-SF-043 ff. für Beispiele) auf ihr zu betreiben.
REQ-SF-013	Orchestrierung: Die Plattform <i>kann</i> Funktionalitäten zur Modellierung und Ausführung von Prozessflüssen anbieten, um die Orchestrierung von Diensten, also die dienstübergreifende Steuerung von Datenverarbeitungsprozessen, zu ermöglichen.
REQ-SF-014	Grafische Orchestrierung: Die Plattform <i>kann</i> Funktionalitäten zur grafischen Modellierung bzw. Konfiguration von Prozessflüssen anbieten. Die grafische Bearbeitung ist eine Ergänzung zu REQ-SF-013.
REQ-SF-015	Anbindung von externen Services: Die Plattform <i>kann</i> die Möglichkeit bieten, Dienste von externen Anbietern (z. B. Preisprognosen und Optimierungsdienste) anzubinden (bspw. über deren REST-API) und in der Plattform zu nutzen.
REQ-SF-016	Nachrichtenverfolgung: Die Plattform <i>kann</i> Funktionen zum Nachverfolgen von Nachrichten (Message-Tracking, End-to-End-Tracing, Logging) anbieten, um den Status von Nachrichten (bspw. Versand, Empfangen, Fehler) zu erfassen. Dies kann bspw. die Nachverfolgung der Erbringung einer Flexible-Last-Maßnahme unterstützen.
REQ-SF-017	Registrierung auf der Marktplattform (MP): Das Unternehmen <i>kann</i> sich bei der MP registrieren, um deren Angebot zu nutzen. Sofern eine UP nur für interne Zwecke wie Optimierungsaufgaben verwendet wird, oder die Angebote der MP nicht benötigt werden, muss keine MP-Registrierung erfolgen. Die Registrierung bei der MP ist unabhängig von der UP und keine Funktion der UP. Allerdings ist sie Voraussetzung für die Beantragung von kryptografischen Zertifikaten (vgl. REQ-SF-018).
REQ-SF-018	Certificate Authority (CA): Die UP <i>kann</i> eine CA betreiben, sodass UP-Services mit kryptografischen Zertifikaten versorgt werden können. Diese CA kann die kryptografischen Zertifikate (dies sind Zwischenzertifizierungsstellen-zertifikate), die mit der MP ausgestellt werden, importieren und verwenden.

Anforderungen zur Realisierung von Energieflexibilität

Die UP muss einen wirtschaftlichen Betrieb eines energieflexiblen Unternehmens ermöglichen. Dabei steht der automatisierte Energieflexibilitätshandel im Vordergrund. Nachfolgend werden Anforderungen an die UP beschrieben, die für die Realisierung von Energieflexibilität im Unternehmen relevant sind.

Anforderungen bzgl. der Verwendung des Energieflexibilitätsdatenmodells

Tabelle 6: Anforderungen bzgl. der Verwendung des Energieflexibilitätsdatenmodells

No.	Anforderung
REQ-SF-019*	Nutzung des Energieflexibilitätsdatenmodells (EFDM): Services und Schnittstellen innerhalb der UP <i>müssen</i> das EFDM unterstützen, wenn Energieflexibilität beschrieben wird und Energieflexibilitätsdaten ausgetauscht werden.
REQ-SF-020*	EFDM-JSON-Schema: Services und Systemkomponenten innerhalb der UP <i>müssen</i> Energieflexibilitätsdaten im JSON-Format auf Basis des EFDM-JSON-Schemas serialisieren und austauschen.
REQ-SF-021*	EFDM-Mapping: Die UP <i>muss</i> das Mapping von system- und anlagenspezifischen Datenformaten auf das EFDM und umgekehrt unterstützen. Dies kann entweder im Rahmen entwickelter Konnektoren erfolgen (vgl. REQ-SF-010*) oder durch Integrationsfunktionalitäten der Plattform realisiert werden (vgl. REQ-SF-011).
REQ-SF-022*	Erweiterte Metadaten: Die UP <i>muss</i> zulassen, dass UP-Services EFDM-Objekte um eigene Metadaten erweitern, um individuelle Anforderungen des jeweiligen Service an das Management von Energieflexibilität zu adressieren, bspw. durch Statusfelder für den Vermarktungsprozess. Die UP <i>muss</i> die erweiterten Metadaten speichern können (vgl. REQ-SF-024*).
REQ-SF-023*	EFDM-Schnittstelle: Die UP <i>muss</i> eine Schnittstelle für Unternehmenssysteme bereitstellen, die bereits das EFDM unterstützen. Die Schnittstelle kann so eine direkte und standardisierte Integration mit der UP ermöglichen, so dass auf diesem Weg keine Konnektoren (vgl. REQ-SF-010*) oder andere Integrationswerkzeuge (vgl. REQ-SF-011) benötigt werden.

Anforderungen an das Management von Energieflexibilität

Tabelle 7: Anforderungen an das Management von Energieflexibilität

No.	Anforderung
REQ-SF-024*	Speicherung von Energieflexibilitätsdaten: Die UP <i>muss</i> die EFDM-Objekte des Unternehmens zentral speichern und verwalten können (bspw. für Logging, Versionierung, Status-Tracking; vgl. REQ-SF-004*, REQ-SF-022*).
REQ-SF-025	Zusammenführung von Energieflexibilitätsräumen: Die UP <i>kann</i> Funktionen anbieten, um Energieflexibilitätsräume zusammenzuführen und

	Flexible-Last-Maßnahmen, welche für den zusammengeführten Raum definiert werden, auf die zugrunde liegenden Räume aufzuteilen.
REQ-SF-026	Teilung von Energieflexibilitätsräumen: Die UP <i>kann</i> eine Funktion anbieten, um Energieflexibilitätsräume in kleinere Räume zu teilen. Dies ist insb. für die Vermarktung von Energieflexibilität hilfreich, wenn ein Energieflexibilitätsraum in marktspezifische Einheiten aufgeteilt werden muss.

Anforderungen an die Energieflexibilitätsvermarktung

Tabelle 8: Anforderungen an die Energieflexibilitätsvermarktung

No.	Anforderung
REQ-SF-027*	Marktanbindung: Die UP <i>muss</i> mindestens einen Flexibilitätsmarkt oder einen Vermarktungsservice anbinden können.
REQ-SF-028	Mehrere Märkte: Die UP <i>kann</i> mehrere Märkte anbinden und diese gleichzeitig für die Vermarktung nutzen.
REQ-SF-029*	Festlegung vermarktbare Energieflexibilitätsräume: Die UP <i>muss</i> eine Möglichkeit bieten, für Energieflexibilitätsräume festzulegen, ob diese nur intern genutzt oder auch auf Zielmärkten vermarktet werden können.
REQ-SF-030*	Inseratserstellung: Die UP <i>muss</i> es ermöglichen, im EFDM beschriebene Flexibilitätsräume in marktspezifische Inserate zu übersetzen.
REQ-SF-031*	Inseratsversand: Die UP <i>muss</i> erstellte Inserate (bspw. über REST) an mindestens einen Markt versenden können.
REQ-SF-032*	Buchungsempfang: Die UP <i>muss</i> Buchungen (bspw. über REST) von inserierter Flexibilität empfangen können.
REQ-SF-033*	Buchungsspeicherung: Die UP <i>muss</i> empfangene Buchungen speichern können.
REQ-SF-034*	Konflikterkennung: Die UP <i>muss</i> Konflikte zwischen Buchungen und nachträglichen Änderungen der verfügbaren Flexibilität erkennen können.
REQ-SF-035*	Aktivierungsempfang: Die UP <i>muss</i> Aktivierungen zu vorhergehenden Buchungen (bspw. über REST) empfangen können.
REQ-SF-036*	Aktivierungsübersetzung: Die UP <i>muss</i> Aktivierungs-nachrichten in Flexible-Last-Maßnahmen gemäß EFDM übersetzen können.
REQ-SF-037*	Flexibilitätserbringung: Die UP <i>muss</i> Flexible-Last-Maßnahmen umsetzen können zur Erbringung der Aktivierung.
REQ-SF-038*	Erbringungsprotokollierung: Die UP <i>muss</i> die Umsetzung von Flexible-Last-Maßnahmen und damit die Erbringung der Aktivierung protokollieren können.
REQ-SF-039*	Meldung der Erbringung: Die UP <i>muss</i> die Umsetzung von Flexible-Last-Maßnahmen und damit die Erbringung der Aktivierung melden können (intern und extern).
REQ-SF-040	Bereitstellung rechnungsrelevanter Daten: Die UP <i>kann</i> Funktionalitäten zur Bereitstellung rechnungsrelevanter Daten bieten.

REQ-SF-041*	Erbringungsmonitoring: Die UP <i>muss</i> eine Funktionalität zum Monitoring der Qualität der Erbringung einer Flexible-Last-Maßnahme anbieten.
REQ-SF-042*	Meldung von Problemen: Die UP muss Konflikte bei der Bereithaltung von Flexibilität (vgl. REQ-SF-034*) und Probleme bei der Erbringung (vgl. REQ-SF-041*) melden können.

Anforderungen bzgl. zusätzlicher Services

Tabelle 9: Anforderungen bzgl. zusätzlicher Services

No.	Anforderung
REQ-SF-043	Energieflexible Produktionsplanung: Die UP <i>kann</i> Funktionalitäten zur Berechnung und monetären Bewertung von Änderungen des Produktionsprogramms bereitstellen, soweit diese Änderungen aus energieflexiblem Verhalten (bspw. Optimierung von Stromkosten oder des Eigenverbrauchs oder Vermarktung von Energieflexibilität) resultieren.
REQ-SF-044	Organisatorische Energieflexibilitätsmaßnahmen: Die UP <i>kann</i> Funktionalitäten zur Auswahl und Umsetzung von organisatorischen Energieflexibilitätsmaßnahmen (bspw. Schichtplanung) in Produktionsunternehmen bereitstellen.
REQ-SF-045	Bewertung von Produktionsrisiken: Die UP <i>kann</i> Funktionalitäten zur Bewertung von Produktionsrisiken bereitstellen, soweit diese Risiken im Zusammenhang mit energieflexiblem Verhalten stehen.
REQ-SF-046	Lastmanagement: Die UP <i>kann</i> Funktionalitäten zum Lastmanagement in der Produktion bereitstellen.
REQ-SF-047	Optimierungsdienste: Die UP <i>kann</i> die Möglichkeit bieten, Optimierungsdienste in der UP einzubinden (bspw. zur Optimierung des Energieeinsatzes von fahrerlosen Transportsystemen).

Anforderungen an einen Testbetrieb

Tabelle 10: Anforderungen an einen Testbetrieb

No.	Anforderung
REQ-SF-048	Testbetrieb von Konnektoren: Die UP <i>kann</i> die Möglichkeit bieten, Konnektoren in den Zustand des Testbetriebs zu versetzen und diesen wieder aufzuheben. Diese Konfigurationsänderung darf nur durch Personen mit einer entsprechenden Verwaltungsrolle in der UP durchgeführt werden (vgl. REQ-SEC-010*).
REQ-SF-049*	Berücksichtigung des Testbetriebs bei Vermarktung: Die UP <i>muss</i> Energieflexibilitätsräume, die zu einem Konnektor im Testbetrieb gehören, entsprechend kennzeichnen. Für solche Energieflexibilitätsräume dürfen keine Inserate an Produktivmärkte gesendet werden und keine Rechnungen erstellt werden.

Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen

Aus der Partizipation an Strom- und Netzdienstleistungsmärkten ergeben sich ebenfalls Anforderungen, die bei der Konzeption einer UP berücksichtigt werden müssen. Dabei hängt es davon ab, in welchem Umfang und mit welchen Märkten eine Interaktion umgesetzt werden soll. Nachfolgend wird ein Auszug von Anforderungen in diesem Kontext beschrieben. So muss beispielsweise bei einer Partizipation am Regelreservemarkt entsprechend das [Präqualifikationsverfahren für Regelreserveanbieter](#) beachtet werden. In SynErgie wird dazu aktuell ein [Präqualifikations-Tool](#) entwickelt.

Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen

Tabelle 11: Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen

No.	Anforderung
REQ-SF-050*	Marktspezifische Anforderungen: Ein Unternehmen <i>muss</i> spezifische Anforderungen eines ausgewählten Zielmarktes (bspw. bezüglich Regulierung, Standards, Normen) berücksichtigen und die UP-Instanz <i>muss</i> die Anforderungen erfüllen, soweit diese sie betreffen.
REQ-SF-051*	Regelreservespezifische Anforderung: Das Unternehmen <i>muss</i> die Vorgaben der Übertragungsnetzbetreiber beachten und im Rahmen des Präqualifikationsverfahrens für Regelreserveanbieter nachweisen, dass es die Bestimmungen erfüllt, bspw. zu Datenaustausch, Erbringungsnachweis oder Zeitverfügbarkeit. Die UP-Instanz <i>muss</i> die Anforderungen erfüllen, soweit diese sie betreffen. In der Praxis helfen Aggregatoren bei der Erschließung von Energieflexibilität in Unternehmen, und erstellen daraus ein gebündeltes Angebot auf den Regelreservemärkten. Dazu werden Mess- und Steuerboxen direkt an die Anlagen angebunden, um Messdaten in der geforderten zeitlichen Auflösung bereitzustellen, Steuerungen mit der nötigen Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit vorzunehmen und den Nachweis der Erbringung einer Flexible-Last-Maßnahme leisten zu können. Beim Aufbau der UP muss dieser separate Kommunikationskanal berücksichtigt werden.
REQ-SF-052*	Energiebilanzierung: Ein Unternehmen <i>muss</i> die Kompatibilität der geplanten Vermarktung mit Energieversorgungsverträgen sicherstellen und dies gegebenenfalls mit seinem Energieversorger abstimmen, insb. bezüglich Bilanzkreisadaptierungen. Die UP <i>muss</i> die für die Bilanzierung nötigen Daten bereitstellen können (vgl. REQ-SF-038*).

Anforderungen an die Sicherheit

Arbeiten zur IT-Sicherheit wurden insbesondere im Projekt SynErgie II durchgeführt. Die Ergebnisse dazu sind im [Security Guide](#) zusammengefasst. Er dient dabei vorrangig Service- und Plattformentwicklern der ESP (UP inbegriffen) als Leitfaden und Handlungshilfe bei der Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zur Erzielung eines erforderlichen Mindeststandards an IT-Sicherheit. Nachfolgende Tabelle zeigt lediglich einen Auszug wichtiger Sicherheitsanforderungen. Für weitere Anforderungen und daraus resultierende Handlungsempfehlungen sei auf den Security Guide verwiesen.

Sicherheitsanforderungen an UP-Betreiber und Infrastruktur

Je nach Betreibermodell der Unternehmensplattform – on Premises, Cloud oder hybrid – adressieren diese Maßnahmen die energieflexiblen Unternehmen selbst oder Cloudanbieter (ggf. beide).

Tabelle 12: Sicherheitsanforderungen an UP-Betreiber und Infrastruktur

No.	Anforderung
REQ-SEC-001*	Organisatorische Sicherheitsmaßnahmen: Der UP-Betreiber <i>muss</i> organisatorische Sicherheitsmaßnahmen (Informations-sicherheitsmanagement, Sicherheitsrichtlinien, Mitarbeiter-schulungen, ...) definieren und umsetzen.
REQ-SEC-002*	Zugangskontrolle: Der Betreiber der physischen Infrastruktur <i>muss</i> diese gegen unautorisierten physischen Zugang schützen.
REQ-SEC-003*	Zugriffskontrolle in IT-Infrastruktur: Der jeweils zuständige Betreiber <i>muss</i> die Hosting-Infrastruktur, die Netzwerkinfrastruktur und die Betriebssystemumgebung der UP vor unautorisiertem Zugriff schützen.
REQ-SEC-004*	Monitoring und Meldesystem: Der jeweils zuständige Betreiber <i>muss</i> ein Monitoringsystem zur Erkennung von Bedrohung für die Hosting-Infrastruktur, die Netzwerk-infrastruktur und die Betriebssystemumgebung der UP nutzen. Das Monitoringsystem <i>muss</i> mit Hilfe eines Meldesystems den Betreiber bei erkannten Unregelmäßigkeiten benachrichtigen. Diese Maßnahme ermöglicht eine schnelle Reaktion auf Ereignisse und die Umsetzung eines zielgerichteten Schutzes nach Bedrohungslage.
REQ-SEC-005*	Angriffsabwehr: Der jeweils zuständige Betreiber <i>muss</i> Maßnahmen zur Abwehr von Cyber-Angriffen auf die Hosting-infrastruktur, die Netzwerk-infrastruktur und die Betriebssystemumgebung der UP umsetzen (Virens Scanner, IP White/Black-Listing, ...).

Sichere Funktionsweise der UP

Tabelle 13: Sichere Funktionsweise der UP

No.	Anforderung
REQ-SEC-006*	Identitäts- und Zugriffsverwaltung (IAM): Die UP <i>muss</i> eine Identitäts- und Zugriffsverwaltung mit rollenbasierter Zugriffskontrolle (RBAC) umsetzen. Alle Services auf der UP <i>müssen</i> das zentrale IAM-System nutzen.
REQ-SEC-007*	Single Sign-on (SSO): Das IAM-System <i>muss</i> SSO-Funktionalität besitzen, so dass Nutzer nicht bei jedem Wechsel zwischen Services auf der Plattform erneut ihre Zugangsdaten eingeben müssen.
REQ-SEC-008*	Kryptographie: Die UP <i>muss</i> kryptographische Verfahren zur Gewährleistung von Manipulationsschutz, Vertraulichkeit, Identitätsschutz, Authentizität, Nicht-Abstreitbarkeit sowie Autorisierung für sichere Interaktionen zwischen UP-Services sowie zwischen Nutzern und der UP implementieren (Beispiele: TLS, tokenbasierte Authentifizierung und Autorisierung, digitale Signaturen).
REQ-SEC-009*	Monitoring und Meldesystem: Die UP <i>muss</i> ein Monitoringsystem zur Erkennung von Unregelmäßigkeiten haben. Das Monitoringsystem <i>muss</i> mit Hilfe eines Meldesystems die zuständige Person (bspw. Administrator oder Sicherheitsmanager) bei erkannten Unregelmäßigkeiten benachrichtigen. Diese Maßnahme ermöglicht eine schnelle Reaktion auf Ereignisse und die Umsetzung eines zuverlässigen Betriebs der Plattform.
REQ-SEC-010*	Sichere Konfiguration: Die UP <i>muss</i> vor unerwünschten Konfigurationsänderungen geschützt sein. Konfigurationsänderungen sind je nach Reichweite der Auswirkungen nur mit gesonderten Rechten und ggf. privilegiertem Zugang möglich.
REQ-SEC-011*	Vermeidung von angreifbaren Datenformaten: Die UP und ihre Services <i>müssen</i> für den Austausch und die Speicherung von Daten solche Datenformate verwenden, welche einfach zu parsen und möglichst wenig angreifbar sind, beispielsweise JSON statt XML oder YAML.

Sichere Kommunikation mit der Marktseite

(Informationsdienste; Flexibilitätsvermarktung; flexibilitätsbezogene Mehrwertdienste)

Tabelle 14: Sichere Kommunikation mit der Marktseite

No.	Anforderung
REQ-SEC-012*	Kryptographie: Die UP <i>muss</i> kryptographische Verfahren zur Gewährleistung von Manipulationsschutz, Vertraulichkeit, Identitätsschutz, Authentizität, Nicht-Abstreitbarkeit sowie Autorisierung für die sichere Kommunikation mit der Marktseite implementieren (Beispiele: TLS, digitale Signaturen).

REQ-SEC-013*	Sichere Konfiguration: Services, die mit der Marktseite kommunizieren, <i>müssen</i> sichere Konfigurationsmechanismen haben. Dies umfasst die manipulationssichere Definition der zulässigen Kommunikationskanäle (Adressen, Protokolle) und den Schutz der gespeicherten Zugangsdaten für die externen Dienste.
REQ-SEC-014*	Validierung: Services, die Daten von marktseitigen Services (bspw. Preisprognosen, Optimierungsergebnisse oder Flexibilitätsabrufe) konsumieren, <i>müssen</i> alle empfangenen Daten syntaktisch und semantisch validieren.
REQ-SEC-015*	Logging: Services, die mit der Marktseite kommunizieren (direkt oder indirekt) <i>müssen</i> relevanter Ereignisse loggen, um die Kommunikationsvorgänge und die Reaktionen darauf bei späteren Untersuchungen von Problemen nachvollziehbar machen zu können.

Prozessübersicht

Dieses Kapitel beschreibt die wesentlichen Prozesse einer UP. Die Prozesse strukturieren die fachlichen Abläufe innerhalb der Referenzarchitektur und bilden die Grundlage für die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Kommunikationsbeziehungen zwischen den Komponenten der UP.

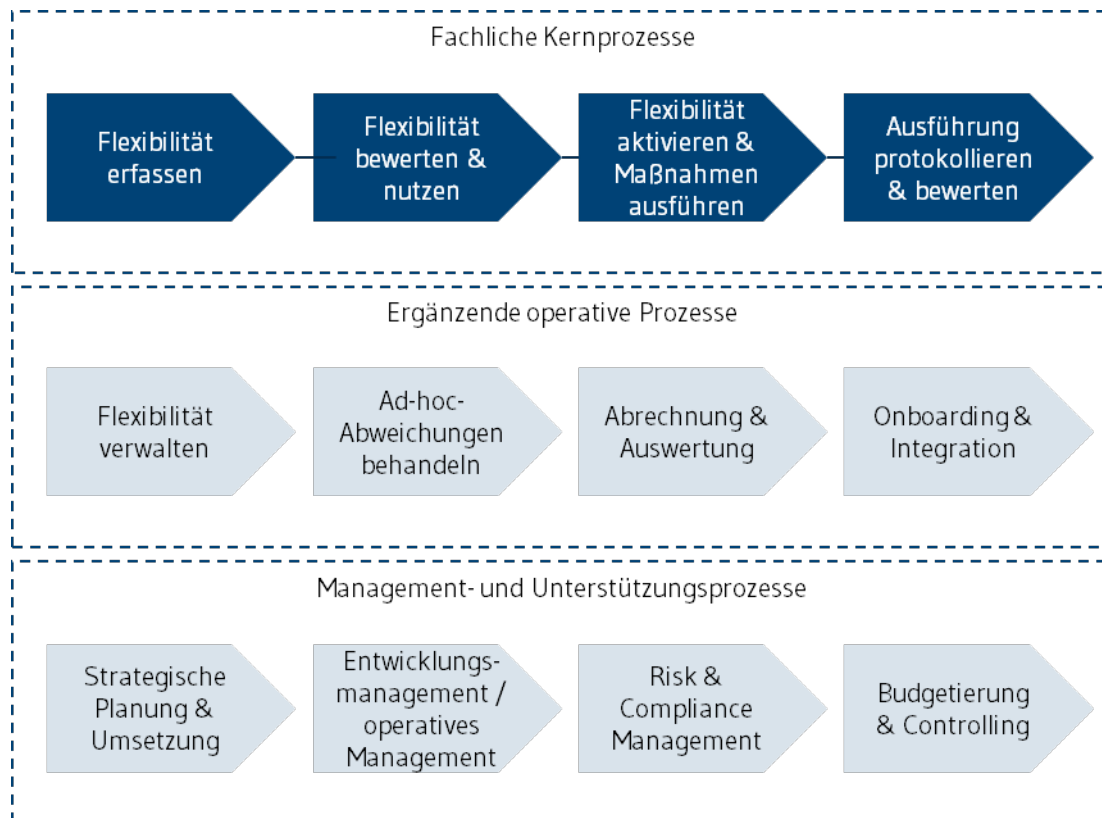


Abbildung 4: UP-Prozesse in der Übersicht

Die Referenzarchitektur fokussiert dabei insbesondere die operativen Prozesse zur Erfassung, Nutzung, Aktivierung und Bewertung von Energieflexibilität. Diese Prozesse stellen den fachlichen Kern der Plattform dar und werden in den Kollaborationskapiteln detailliert beschrieben. Darüber hinaus existieren weitere ergänzende operative Prozesse sowie organisatorische Management- und Unterstützungsprozesse, die für die erfolgreiche Instanziierung und den produktiven Betrieb einer Unternehmensplattform relevant sind. Diese werden im Rahmen der Referenzarchitektur bewusst nicht im gleichen Detaillierungsgrad betrachtet, da ihre konkrete Ausgestaltung stark von Unternehmen, IIoT-Plattform, Marktumfeld und organisatorischen Rahmenbedingungen abhängt.

Fachliche Kernprozesse

Die fachlichen Kernprozesse beschreiben den Lebenszyklus von Energieflexibilität innerhalb der Unternehmensplattform. Sie bilden die Grundlage für die zentralen Anwendungsfälle der Referenzarchitektur und werden in den nachfolgenden Kollaborationskapiteln detailliert beschrieben.

Flexibilität erfassen

Die Flexibilitätserfassung beschreibt den Prozess zur kontinuierlichen oder ereignisbasierten Bereitstellung von Energieflexibilität innerhalb der Unternehmensplattform. Hierbei werden energieflexibilitätsrelevante Informationen aus Maschinen, Anlagen, Speichern oder übergeordneten Unternehmenssystemen identifiziert, technisch beschrieben und in Form standardisierter Flexibilitätsräume im EFDM bereitgestellt.

Die Erfassung berücksichtigt dabei sowohl aktuelle Betriebszustände als auch Planungsinformationen, Restriktionen und externe Einflussgrößen. Ziel ist ein belastbares und aktuelles Abbild der verfügbaren Energieflexibilität, das als Grundlage für weitere Prozesse innerhalb der Unternehmensplattform dient.

Flexibilität bewerten

Nach der technischen Beschreibung erfolgt die fachliche und wirtschaftliche Bewertung der verfügbaren Flexibilität. Dabei wird beurteilt, in welchem Umfang ein Flexibilitätspotenzial für eine externe Vermarktung oder eine innerbetriebliche Optimierung geeignet ist.

Die Bewertung kann unter anderem technische Restriktionen, betriebliche Prioritäten, erwartete Erlöse, Einsparpotenziale, Strompreisprognosen oder weitere energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen berücksichtigen. Die konkrete Bewertungslogik ist dabei abhängig von der jeweiligen Architektur-Instanz sowie den Zielstellungen des Unternehmens.

Flexibilität nutzen

Die bewertete Energieflexibilität kann anschließend genutzt werden. Die Referenzarchitektur unterscheidet hierbei zwischen der externen Vermarktung und der innerbetrieblichen Optimierung.

Bei der externen Vermarktung werden Flexibilitäten über Vermarktungsservices oder geeignete Zielmärkte angeboten, reserviert und bei Bedarf aktiviert. Im Rahmen der innerbetrieblichen Optimierung werden verfügbare Flexibilitäten hingegen durch interne Nachfrager genutzt, beispielsweise zur Lastspitzenreduktion, zur Optimierung des Eigenverbrauchs oder zur Anpassung des Energiebezugs an variable Strompreise.

Beide Nutzungsformen greifen auf dieselben grundlegenden Informationsobjekte zurück, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer fachlichen Zielstellung und Prozessbeteiligten.

Flexibilität aktivieren und Maßnahmen ausführen

Wird eine Energieflexibilität angefordert, erfolgt die Übermittlung konkreter Flexible-Last-Maßnahmen an die ausführenden Systeme. Diese Maßnahmen beschreiben die angeforderten Laständerungen und definieren, wie die Flexibilität umgesetzt werden soll.

Die ausführenden Systeme setzen die Maßnahmen um und sorgen für die tatsächliche Erbringung der Energieflexibilität. Die konkrete technische Umsetzung kann dabei je nach Unternehmensprozess, Anlagenstruktur und IIoT-Plattform unterschiedlich erfolgen.

Ausführung protokollieren

Die Durchführung angeforderter Maßnahmen wird über Ausführungsprotokolle dokumentiert. Diese enthalten Informationen über die tatsächliche Umsetzung der Maßnahmen, gemessene Laständerungsprofile sowie gegebenenfalls Fehler- oder Störungsinformationen.

Die Protokollierung bildet die Grundlage für Transparenz, Monitoring und Nachvollziehbarkeit innerhalb der Unternehmensplattform. Darüber hinaus ermöglicht sie die Bewertung der Zielerreichung sowie die Ableitung abrechnungs- oder auswertungsrelevanter Informationen.

Ergänzende operative Prozesse

Neben den fachlichen Kernprozessen existieren weitere operative Prozesse, die für den produktiven Betrieb einer Unternehmensplattform wesentlich sind, jedoch nicht im Detail durch die Kollaborationsbeschreibungen der Referenzarchitektur modelliert werden.

Diese Prozesse ergänzen die operativen Abläufe der Energieflexibilitätsnutzung und müssen bei der Instanziierung einer konkreten Unternehmensplattform berücksichtigt werden.

Verwaltung von Energieflexibilität

Die Unternehmensplattform verwaltet den vollständigen Lebenszyklus der EFDM-Objekte und stellt Transparenz über deren aktuellen Zustand sicher. Dies umfasst insbesondere die Persistierung, Versionierung, Statusverwaltung, Archivierung und Konsistenzprüfung von Flexibilitätsräumen, Maßnahmenpaketen und Ausführungsprotokollen.

Darüber hinaus übernimmt die Plattform zentrale Aufgaben zur Sicherstellung der Datenqualität und Nachvollziehbarkeit innerhalb der operativen Prozesse.

Behandlung kurzfristiger Änderungen und Störungen

Kurzfristige Änderungen betrieblicher Rahmenbedingungen können jederzeit Auswirkungen auf bereits bereitgestellte oder vermarktete Energieflexibilität haben. Hierzu zählen beispielsweise Produktionsabweichungen, Anlagenstörungen, Kommunikationsprobleme oder kurzfristige Änderungen von Planungs- und Prognosedaten.

Die Unternehmensplattform muss solche Änderungen erkennen, bewerten und geeignete Folgeprozesse anstoßen. Dies kann beispielsweise die Aktualisierung bestehender Flexibilitätsräume, die Rücknahme von Angeboten, die Einleitung von Fehlerbehandlungsprozessen oder eine erneute Planung umfassen.

Abrechnung und Auswertung

Die Nutzung von Energieflexibilität erfordert die Verarbeitung und Auswertung relevanter Prozessdaten. Hierzu gehören insbesondere marktbezogene Abrechnungsprozesse, interne Wirtschaftlichkeitsbewertungen sowie Monitoring-, Reporting- und Controlling-Funktionen.

Die konkrete Ausgestaltung dieser Prozesse ist stark abhängig von den jeweiligen Marktmechanismen, den eingesetzten Unternehmenssystemen sowie den organisatorischen Anforderungen der Architektur-Instanz.

Onboarding und Integration

Vor dem produktiven Einsatz einer Unternehmensplattform müssen Unternehmenssysteme integriert, Kommunikationsbeziehungen eingerichtet und Sicherheitsmechanismen konfiguriert werden. Darüber hinaus sind Datenmodelle, Rollen, Berechtigungen und Integrationsmechanismen aufeinander abzustimmen.

Der konkrete Onboarding-Prozess ist abhängig von der eingesetzten IIoT-Plattform, der vorhandenen Systemlandschaft sowie den organisatorischen Rahmenbedingungen des Unternehmens.

Management- und Unterstützungsprozesse

Neben den operativen Prozessen existieren weitere organisatorische und strategische Prozesse, die für den langfristigen Betrieb und die Weiterentwicklung energieflexibler Unternehmen relevant sind.

Hierzu zählen insbesondere strategische Planungs- und Steuerungsprozesse, die Weiterentwicklung der Anlagen- und IT-Landschaft, Budgetierungs- und Controlling-Prozesse, Risiko- und Compliance-Management sowie organisatorische Betriebs- und Supportprozesse.

Diese Prozesse sind nicht Bestandteil der detaillierten Kollaborationsmodellierung der Referenzarchitektur, da ihre konkrete Ausgestaltung stark unternehmensspezifisch geprägt ist. Sie bilden jedoch einen wichtigen organisatorischen Rahmen für die erfolgreiche Einführung, den sicheren Betrieb und die kontinuierliche Weiterentwicklung einer Unternehmensplattform.

Architektur der Unternehmensplattform

Kontextabgrenzung

Eine UP ist das informations- und kommunikationstechnische System innerhalb eines Unternehmens, durch welches Unternehmen zum automatisierten Energieflexibilitätshandel, zur Optimierung des Energieeinsatzes und zum energieflexiblen Betrieb der Produktion befähigt werden. Dazu ermöglicht eine UP die Aufnahme der energieflexibilitätsrelevanten Daten durch Integration von Unternehmenssystemen (Maschinen, Anlagen, MES, PPS, ...) und Ableitung der entsprechenden Energieflexibilitäten. Sie schafft damit Transparenz über die vorhandenen Flexibilitäten und die Voraussetzung zur deren Erbringung durch Steuerung und Regelung der angebundenen Systeme. Auf dieser Basis ermöglicht eine UP zum einen unternehmens- oder marktseitige Optimierung zur Umsetzung des energieflexiblen Betriebs der Produktion. Zum anderen eine Integration mit Vermarktungsservices zur Flexibilitätsvermarktung, sowie die Umsetzung nachgelagerter Prozesse zur Erbringung und Protokollierung von beauftragten Flexible-Last-Maßnahmen. Für die Realisierung weiterer unternehmensspezifischer Anwendungsfälle im Rahmen eines energieflexiblen Betriebs schafft die UP zudem die informations- und kommunikationstechnische Basis, individuelle Services zu integrieren und mit anderen UP-Services zu verbinden. Eine UP muss dabei einen sicheren und stabilen Betrieb ermöglichen.

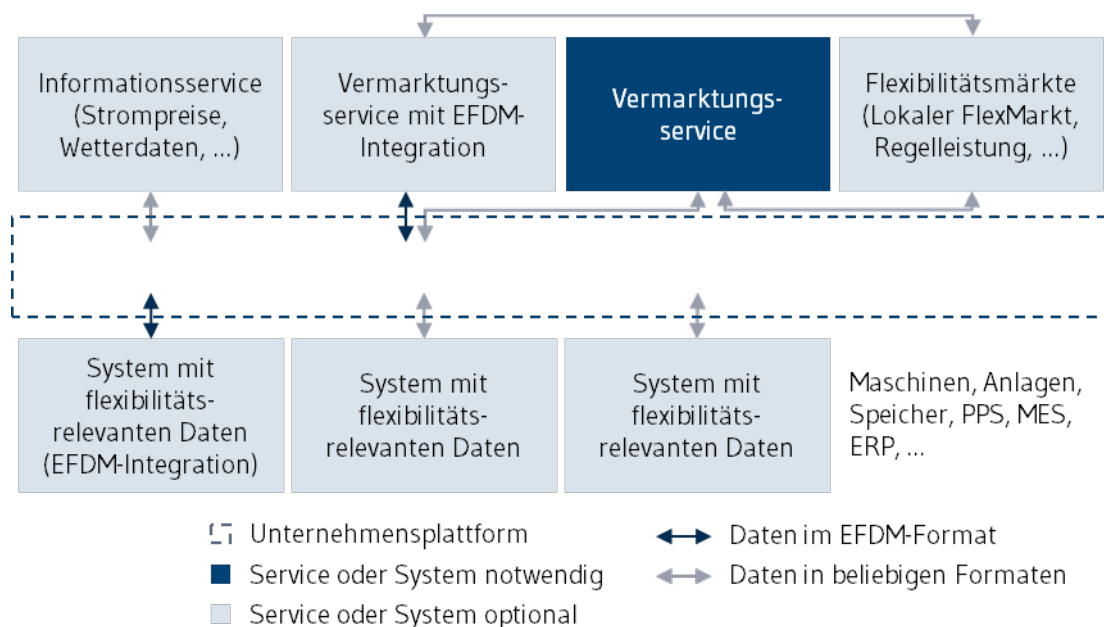


Abbildung 5: Kontextabgrenzung der Unternehmensplattform

Eine UP interagiert dabei mit verschiedenen Nachbarsystemen. Der Verbund zwischen UP und Nachbarsystemen wird auch als ESP bezeichnet. Die Nachbarsysteme lassen sich dabei in vier Gruppen einteilen:

Unternehmenssysteme mit energieflexibilitätsrelevanten Daten:

Diese Systeme sind Systeme des Unternehmens wie Maschinen und Anlagen, oder auch übergeordnete Unternehmenssysteme wie MES oder ERP-Systeme. Dabei steht im Vordergrund, dass die Systeme relevant für den energieflexiblen Ablauf der Produktion sind. Sie werden dazu über eine standardisierte Schnittstelle (EFDM-Interface) oder Konnektoren (mit oder ohne EFDM-Mapping) an die UP angebunden. Erstens wird damit die Aufnahme, Zusammenführung, Analyse und Optimierung der Daten zur Ableitung von Flexibilitäten ermöglicht. Zweitens können die angebundenen Systeme zur Erbringung der Flexibilitäten gesteuert und geregelt werden.

Externe energieflexibilitätsrelevante Services:

Auch externe Systeme werden mit der UP integriert, um den energieflexiblen Betrieb zu realisieren. Dazu gehören zum einen Informationsservices als Datenquellen bspw. für historische Strompreiszeitreihen, Strompreisprognosen verschiedener Energiemärkte oder Wetterprognosen. Zum anderen Vermarktungsservices (mit oder ohne EFDM-Support), die einen Zugang zu den Märkten ermöglichen, um dort Energieflexibilität anzubieten. Ein Beispiel für einen Vermarktungsservice ist der Marktzugang über einen Aggregator. Je nach Vermarktungsservice werden in der UP entsprechende Marktadapter als Schnittstelle benötigt. Diese übersetzen die Energieflexibilitäten aus dem EFDM in proprietäre Datenformate und realisieren die Rücktransformation der Erbringungsinformationen. Ein standardisierter Marktadapter kann eingesetzt werden, wenn der Vermarktungsservice bereits das EFDM unterstützt und eine EFDM-Transformation entfällt.

Flexibilitätsmärkte:

Eine UP bietet Energieflexibilität über Vermarktungsservices an Energie-/Flexibilitätsmärkten an. Dazu gehört bspw. der lokale Flexibilitätsmarkt, der Regelleistungsmarkt oder ein Intraday-Markt.

Marktplattform (MP):

Eine MP (nicht in Grafik abgebildet) ist eine multilaterale Plattform, um Unternehmen, die am Energieflexibilitätshandel interessiert sind, mit geeigneten Services zusammenzubringen. Über eine MP kann über ein Service-Verzeichnis über flexibilitätsorientierte Services und deren Integrationsmöglichkeiten informiert werden. Sie ermöglicht den Industrieunternehmen so den Zugriff auf eine Vielzahl existierender und zukünftiger Services, welche sie in verschiedenen Aspekten der Flexibilitätsbereitstellung, der Flexibilitätsbewertung und des Flexibilitätshandels unterstützen. Es werden also nicht nur Services für den unmittelbaren Vertrieb von Energieflexibilität (siehe Vermarktungsservices) angeboten, sondern auch im Kontext der Vermarktung relevante Hilfsservices wie etwa Preisprognosen (siehe Informationsservices) oder Zertifizierungsstellen.

Lösungsstrategie

Basis für grundlegende Entscheidungen bei der Ausgestaltung der UP-Referenzarchitektur ist eine Lösungsstrategie, die verschiedene Aspekte beinhaltet. Diese prägen Referenzarchitektur (Umfang, Detaillierungsgrad, Schwerpunkte) und teils auch noch davon abgeleitete Instanziierungen. Die verschiedenen Aspekte der Lösungsstrategie und damit verbundene Entscheidungen und Auswirkungen werden nachfolgend beschrieben:

Generelle Anwendbarkeit auf IIoT-Plattformen:

Gemäß der Aufgabenstellung soll die Referenzarchitektur durch Instanziierung auf gängige IIoT-Plattformen angewendet werden können. Die Referenzarchitektur hat daher nicht das Ziel, für jede UP-interne Komponente deren Schnittstellen und Technologien strikt vorzugeben. Durch eine logische Zuordnung von wichtigen Funktionen auf Komponenten (notwendig und optional) und der Beschreibung der Kollaboration zwischen den Komponenten werden vielmehr mögliche Lösungsbausteine vorgeschlagen und Verständnis für die umzusetzenden übergreifenden Anwendungsfälle geschaffen. Bei der Instanziierung können so die Komponenten entsprechend den Möglichkeiten der IIoT-Plattform auch weiter aufgeteilt oder zusammengelegt werden. Je nach Komponentenaufteilung und Plattform-Fähigkeiten kann die Anwendungskollaboration unterschiedlich ausgestaltet werden. Die konkrete technische Umsetzung – sei es durch Request/Response-Kommunikation, ereignisgesteuerte Architekturen oder den Einsatz einer Middleware – bleibt der jeweiligen Instanziierung in der jeweiligen IIoT-Plattform überlassen.

Durchgängiges, standardisiertes Datenmodell (EFDM):

Die Referenzarchitektur basiert auf einem durchgängigen, standardisierten Informationsmodell zur Beschreibung von Energieflexibilität. Hierfür wird das Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM) verwendet. Das EFDM dient als gemeinsame semantische Grundlage für alle relevanten Anwendungsfälle – von der Erfassung über die interne Nutzung bis hin zur externen Vermarktung. Durch die konsistente Verwendung eines einheitlichen Datenmodells werden Medienbrüche reduziert, Integrationsaufwände minimiert und eine plattformübergreifende Interoperabilität unterstützt. Die konkrete technische Verarbeitung und Persistierung der Daten kann je nach Architektur-Instanz variieren.

Service-Orientierung und Modularität:

Die Referenzarchitektur zielt darauf ab, in einer serviceorientierten IT-Infrastruktur umgesetzt zu werden. Die Funktionen der UP werden daher auf einzelne Komponenten aufgeteilt und zur Realisierung der wichtigsten Anwendungsfälle über eine Middleware integriert. Zusätzlich werden individuelle Services in der Referenzarchitektur berücksichtigt, um bei der Instanziierung der UP weitere unternehmensspezifische Anwendungsfälle im Kontext eines energieflexiblen Produktionsbetriebs realisieren zu können.

Flexibilität bei der Anwendungskollaboration:

Die Referenzarchitektur beschreibt die wichtigsten Anwendungsfälle einer UP, und welche Informationen die einzelnen Komponenten miteinander teilen, um diese zu realisieren. Informationsobjekte beschreiben dabei, welche Informationen zwischen den Komponenten entlang des Anwendungsfalls ausgetauscht werden. Wie der Datenaustausch konkret umgesetzt wird, obliegt der konkreten Instanziierung. Es wird also nicht vorgegeben, über welchen Kommunikationsstil der Datenaustausch realisiert wird (Request/Response, Event-getrieben, Funktionen einer Middleware, ...). Selbst ein Verzicht auf bestimmte Kommunikationswege ist möglich, sofern die betroffene Funktionalität zur Umsetzung der Anwendungsfälle anderweitig sichergestellt werden kann, beispielsweise durch die Konsolidierung von UP-Komponenten.

Standardisierung der UP-Außenschnittstellen:

Die Referenzarchitektur beinhaltet mehrere Außenschnittstellen. Damit sind Schnittstellen gemeint, bei denen UP-interne Systeme mit UP-externen Systemen kommunizieren. Zwei Schnittstellen sind hier von besonderer Bedeutung im Kontext der Standardisierung. Zum einen die Schnittstelle zwischen der UP und Unternehmenssystemen, die bereits mit dem EFDM kompatibel sind. Zum anderen die Schnittstelle zwischen der UP und Vermarktungsservices, die EFDM-Objekte verarbeiten können.

IIoT-Plattformen bedienen Qualitäts-/Performance und Sicherheitsanforderungen:

Bei der Beschreibung der UP-Komponenten werden hauptsächlich Funktionen zur Umsetzung der funktionalen Anforderungen adressiert. Qualitäts-/Performance und Sicherheitsanforderungen sind jedoch zusätzlich für jede Komponente der UP und Nachbarsysteme zu berücksichtigen. Die Referenzarchitektur schlägt hier nur Grundbausteine in Form der Plattform-Dienste vor. Da jede IIoT-Plattform hier auf spezifische Lösungen zur Bedienung der Anforderungen aufbaut, werden diese nicht weiter ausdetailliert, sondern sind bei der Ableitung konkreter Architekturinstanzen für jede Plattform zu berücksichtigen. Das Thema Sicherheit wurde in SynErgie zudem bereits ausführlich in einem [Security-Guide](#) beschrieben. Zusätzlich sind auch die [Randbedingungen](#) bei jeder Instanziierung individuell zu berücksichtigen.

Komponentenübersicht

Abbildung 6 zeigt die Komponenten und Services der UP-Referenzarchitektur. Dabei sind notwendige Elemente blau und optionale hellblau gekennzeichnet. Der Datenaustausch erfolgt über EFDM-konforme Nutzdaten (dunkelblaue Pfeile) oder beliebige Formate (graue Pfeile).

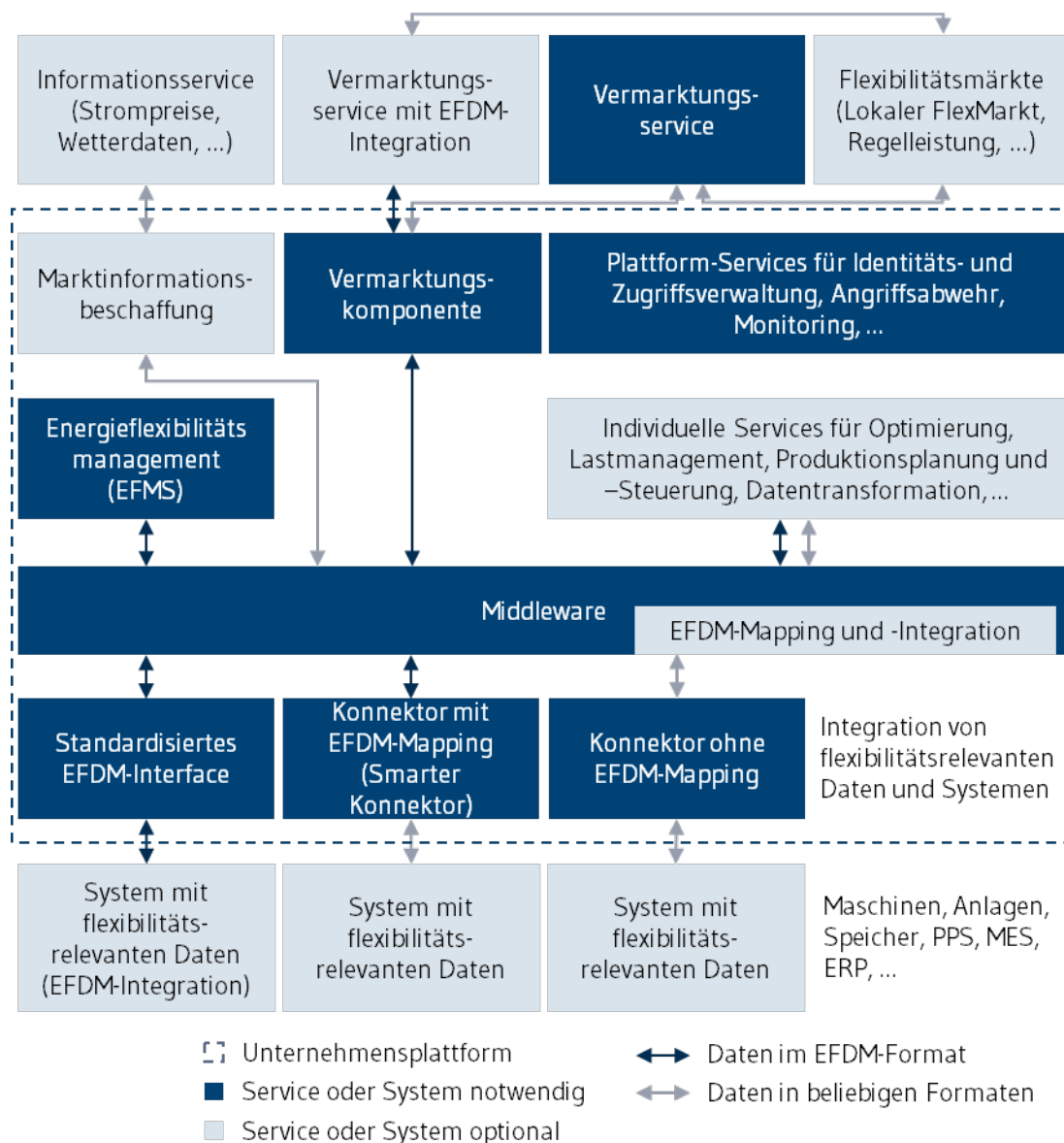


Abbildung 6: Komponentenübersicht

Um Energieflexibilität automatisiert zu erfassen und über die UP bereitzustellen, müssen **Unternehmenssysteme** – von Maschinen und Anlagen bis hin zu Systemen für die Produktionsplanung und Steuerung (PPS), die Fertigungssteuerung (MES) oder die Unternehmensressourcenplanung (ERP) – angebunden werden. Dabei gilt es,

energieflexibilitätsrelevante Daten zu erfassen, beauftragte Flexible-Last-Maßnahmen auszuführen und den resultierenden Lastverlauf zu protokollieren. Für die Integration stehen drei Varianten zur Verfügung, von denen mindestens eine in der UP implementiert sein muss:

1. **Standardisiertes EFDM-Interface:** Systeme liefern bereits EFDM-kompatible Daten und übertragen ihre Flexibilitäten direkt über eine standardisierte Schnittstelle.
2. **Konnektoren mit EFDM-Mapping:** Daten liegen in proprietären Formaten vor; ein Konnektor übernimmt neben der UP-Anbindung auch die Transformation in das EFDM-Format.
3. **Konnektoren ohne EFDM-Mapping:** Daten werden unverändert übermittelt; das EFDM-Mapping erfolgt in einem nachgelagerten UP-Service oder über eine Plattformfunktion.

Nach der Erfassung fungiert der **Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS)** als zentrales Repository für alle EFDM-Instanzen (Flexibilitätsräume, Flexible-Last-Maßnahmen, Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle). Der EFMS verwaltet deren Lebenszyklus, archiviert abgeschlossene Instanzen und speichert Protokolle zur Dokumentation des Lastverlaufs.

Eine **Vermarktungskomponente** stellt die Verbindung zwischen UP und externen Vermarktungsservices her und übernimmt mittels Marktadapter die Transformation zwischen EFDM und marktspezifischen Datenmodellen. Sie unterstützt dabei zwei Service-Varianten:

1. **Vermarktungsservices mit EFDM-Support:** Einfachere Anbindung an die Märkte durch die Anwendbarkeit eines standardisierten Marktadapters auf Basis des EFDM.
2. **Vermarktungsservices ohne EFDM-Support:** Verschiedene Marktadapter mit Transformatoren innerhalb der Vermarktungskomponente sind nötig, um EFDM-Daten in marktspezifische Insetrate zu überführen.

Externe **Informationsservices**, etwa für Strompreisprognosen oder Wetterdaten, liefern entscheidungsrelevante Informationen für Vermarktung und innerbetriebliche Optimierung. Sie werden über Konnektoren zur Marktinformationsbeschaffung eingebunden. Auch weitere externe Dienste wie Optimierungsservices können über entsprechende Konnektoren in die UP eingebunden werden.

Darüber hinaus stehen optional **individuelle Unternehmensservices** zur Verfügung, beispielsweise für Produktionsplanung und -steuerung, Lastmanagement oder die Komposition von Flexibilitätsräumen (Zusammenführung, Aufteilung etc.).

Die **Middleware** ist die zentrale Komponente der UP: Sie vermittelt Informationen zwischen den Komponenten, unterstützt offene und standardisierte Kommunikationsprotokolle und ermöglicht einen modularen Plattformaufbau. **Plattfordmdienste**, wie Identitäts- und Zugriffsverwaltung, Monitoring und Zertifikatsmanagement, sorgen für einen stabilen, sicheren und transparenten Betrieb aller UP-Komponenten.

Kernkomponenten

Nachfolgend werden alle Kernkomponenten der UP mit den wichtigsten Funktionen beschrieben. Für jede Funktion werden dabei die Anforderungen referenziert, die durch die Funktion oder mit Unterstützung der Funktion realisiert werden müssen. Dabei liegt der Fokus auf den Anforderungen, die die Systemfunktionalität betreffen (REQ-SF-<Nr.>). Die Sicherheits-, Qualitäts- und Performanceanforderungen (REQ-SEC-<Nr.>, REQ-Q-<Nr.>, REQ-PERF-<Nr.>) sind den Komponenten, mit Ausnahme der Plattform-Dienste, nicht einzeln zugeordnet. Diese müssen je Komponente bei deren Implementierung im Kontext der IIoT-Plattform und deren Plattform-Dienste berücksichtigt werden. Dazu gehören die Anforderungen der Anforderungskategorien „Sichere Funktionsweise der UP“, „Sichere Kommunikation mit der Marktseite“ und „Grundlegende nicht-funktionale Anforderungen“. Für weitere Informationen zum Thema Sicherheit sei zudem auf den [Security Guide](#) und die [Randbedingungen](#) verwiesen.

Formatierung der Anforderungsreferenzen in den nachfolgenden Tabellen:

- Unterstrichene Anforderungsreferenz: Anforderungen werden maßgeblich durch die Funktion der Komponente realisiert
- Nicht unterstrichene Anforderungsreferenz: Anforderungen werden mit Beteiligung der Funktion der Komponente umgesetzt (unterstützend, berücksichtigend, ...)
- Anforderungen mit *: Notwendige Anforderungen, bezogen auf die UP allgemein (gemäß den Konventionen im Kapitel [Anforderungen](#))

Konnektoren (mit EFDM-Mapping)

Tabelle 15: Konnektoren (mit EFDM-Mapping)

Konnektoren (mit EFDM-Mapping)		Notwendig
Zweck/Verantwortung:		
Konnektoren mit EFDM-Mapping integrieren UP-externe Systeme mit der UP, die nicht bereits das EFDM unterstützen. Das sind in der Regel Unternehmenssysteme wie Anlagen, Maschinen, MES oder ERP-Systeme mit energieflexibilitätsrelevanten Daten. Sie übernehmen dabei im Rahmen der Erfassung von Energieflexibilität die Übersetzung energieflexibilitätsrelevanter Daten der Systeme in Flexibilitätsräume, sowie die Übersetzung von Flexible-Last-Maßnahmen in systemspezifische Steuerungssignale zur Erbringung. Während der Erbringung erfassen sie zudem Daten zur Protokollierung des Lastgangs.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Nutzung des EFDM	REQ-SF-019*, REQ-SF-020*	
2. Anbindung von Unternehmenssystemen mit energieflexibilitätsrelevanten Daten an die UP	<u>REQ-SF-010*</u> , <u>REQ-SF-011</u>	
3. Transformation von energieflexibilitätsrelevanten Daten in EFDM-Objekte (Flexibilitätsräume)	<u>REQ-SF-021*</u> , REQ-SF-005*	

4. Transformation von EFDM-Objekten (Flexible-Last-Maßnahmen) in systemspezifische Steuerungssignale zur Erbringung der Flexibilität	<u>REQ-SF-021*</u> , <u>REQ-SF-037*</u> , REQ-SF-005*, REQ-SF-009
5. Erfassung und Vorverarbeitung von energieflexibilitätsrelevanten Daten	<u>REQ-SF-003*</u> , REQ-SF-005*, REQ-SF-006*
6. Übermittlung von Daten aus der UP an die angebundenen Unternehmenssysteme	<u>REQ-SF-007*</u>
7. Meldung und Protokollierung der Erbringung (Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle)	<u>REQ-SF-038*</u> , <u>REQ-SF-039*</u>
8. Meldung und Protokollierung von Problemen während der Erfassung oder Erbringung	<u>REQ-SF-042*</u>
9. Berücksichtigung und Anwendung der erweiterten Metadaten der UP	REQ-SF-022*
10. Unterstützung eines Testbetriebs	REQ-SF-048
Wichtige Schnittstellen:	
Konnektoren binden Systeme über unterschiedliche Schnittstellen und Protokolle an (siehe REQ-SF-010*). Eine allgemeine Schnittstelle zu den Unternehmenssystemen wird daher nicht beschrieben. UP-intern können Konnektoren die EFDM-Objekte jedoch nach der Vorlage des EFDM-Interface oder über die Middleware mit dem EFMS austauschen.	

Konnektoren (ohne EFDM-Mapping)

Tabelle 16: Konnektoren (ohne EFDM-Mapping)

Konnektoren (ohne EFDM-Mapping)		Notwendig
Zweck/Verantwortung:		
Konnektoren ohne EFDM-Mapping integrieren UP-externe Systeme mit der UP, die nicht bereits das EFDM unterstützen. Sie übernehmen dabei im Rahmen der Erfassung von Energieflexibilität die Erfassung energieflexibilitätsrelevanter Daten, sowie die Datenbereitstellung für systemspezifische Steuerungssignale im Rahmen der Erbringung der Energieflexibilität. Die bidirektionale Übersetzung hinsichtlich des EFDM wird dabei aber nicht verantwortet. Dies wird von der UP übernommen (bspw. durch die optionale Komponente „EFDM-Mapping“ oder Mapping-Funktionalität der IIoT-Plattform oder Middleware).		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Anbindung von Unternehmenssystemen mit energieflexibilitätsrelevanten Daten an die UP	<u>REQ-SF-010*</u> , <u>REQ-SF-011</u>	
2. Erfassung und optionale Vorverarbeitung von energieflexibilitätsrelevanten Daten	<u>REQ-SF-003*</u> , REQ-SF-006*	
3. Übermittlung von Daten und Steuerungssignalen aus der UP an die angebundenen Unternehmenssysteme	<u>REQ-SF-007*</u> , REQ-SF-009, REQ-SF-037*	

4. Erfassung von Daten im Kontext der Meldung und Protokollierung der Erbringung	REQ-SF-038*, REQ-SF-039*
5. Erfassung von Daten im Kontext der Meldung und Protokollierung von Problemen während der Erfassung oder Erbringung	REQ-SF-042*
6. Anbindung von externen Informationsdiensten (bspw. Preisprognosen)	REQ-SF-015
7. Unterstützung eines Testbetriebs	REQ-SF-048
Wichtige Schnittstellen:	
Konnektoren binden Systeme über unterschiedliche Schnittstellen und Protokolle an (siehe REQ-SF-010*). Eine allgemeine Schnittstelle zu den Unternehmenssystemen wird daher nicht beschrieben. UP-intern können Konnektoren die Daten und Steuerungssignale über die Middleware mit anderen Systemen austauschen.	

EFDM-Interface

Tabelle 17: EFDM-Interface

EFDM-Interface		Notwendig
<i>Zweck/Verantwortung:</i>		
Das EFDM-Interface ermöglicht UP-externen Systemen, die bereits das EFDM anwenden können, eine direkte und standardisierte Anbindung an die UP. Die Systeme müssen dazu über das EFDM-Interface vollständig mit den UP-Prozessen zur Erfassung, Erbringung und Protokollierung von Energieflexibilität integriert werden. Über das EFDM-Interface können so Flexibilitätsräume in Form von EFDM-Objekten an die UP gesendet werden, Flexible-Last-Maßnahmen zur Erbringung abgerufen und die Erbringung protokolliert werden. Eine Integration über einen Konnektor (mit oder ohne EFDM-Mapping) ist dabei nicht notwendig. Das EFDM-Interface kann dabei als eigenständige Komponente oder als Teil der Schnittstelle des EFMS umgesetzt werden.		
<i>Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):</i>		
1. Bereitstellung der EFDM-Schnittstelle	REQ-SF-023*	
<i>Wichtige Schnittstellen:</i>		
Siehe EFDM-Schnittstelle (UP-extern) des EFMS		

Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS)

Tabelle 18: Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS)

Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS)		Notwendig
Zweck/Verantwortung:		
Ein Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS) dient als zentrales Repository für alle EFDM-Objekte eines Industrieunternehmens (Flexibilitätsräume, Flexible-Last-Maßnahmen und Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle). Er verwaltet die EFDM-Objekte und informiert andere UP-Services (Vermarktungskomponente, Optimierungsservices etc.) über neue und geänderte EFDM-Objekte. Zusätzlich zu den EFDM-Objekten verwaltet der EFMS auch die erweiterten Metadaten.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Zentrale Speicherung, Validierung und Verwaltung von EFDM-Objekten (Flexibilitätsräume, Flexible-Last-Maßnahmen und Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle)	REQ-SF-024*, REQ-SF-038*, REQ-SF-019*, REQ-SF-020*, REQ-SF-004*	
2. Erweiterung der EFDM-Objekte um weitere Metadaten, die zur Umsetzung der Anwendungsfälle der UP benötigt werden	REQ-SF-022*, REQ-SF-029*	
3. Beitrag zur Prozesstransparenz durch Speicherung eines Status zu den EFDM-Objekten, von der Erfassung über die Vermarktung bis hin zur Erbringung und Protokollierung	REQ-SF-022*, REQ-SF-041*	
4. Vermerk eines Testbetriebs für EFDM-Objekte	REQ-SF-022*, REQ-SF-048, REQ-SF-049*	
5. Parallele Unterstützung einer Range an EFDM-Versionen	REQ-SF-024*, REQ-SF-019*	
6. Dauerhafte Vorhaltung aller EFDM-Objekte durch Ablage in einem Archiv	REQ-SF-024*	
7. Bereitstellung des EFDM-Interface	REQ-SF-023*	
Wichtige Schnittstellen:		
- EFMS-Schnittstelle (UP-extern): Der EFMS kann UP-externen Systemen, die bereits das EFDM unterstützen, eine Schnittstelle bereitstellen (siehe EFDM-Interface). Diese können so direkt Energieflexibilität in Form von EFDM-Objekten an den EFMS melden, sowie die Erbringung organisieren und protokollieren. Ein Umweg über einen Konnektor ist hier nicht notwendig. - EFMS-Schnittstelle (UP-intern): Der EFMS stellt Kernkomponenten der UP eine erweiterte Schnittstelle bereit. Die Schnittstelle erweitert die EFMS-Schnittstelle (UP-extern) um Funktionen für die UP-internen Prozesse zur Verwaltung, Vermarktung und Erbringung von Energieflexibilität.		

Vermarktungskomponente

Tabelle 19: Vermarktungskomponente

Vermarktungskomponente		Notwendig
Zweck/Verantwortung:		
Eine Vermarktungskomponente ermöglicht die Kommunikation zwischen der UP und den Vermarktungsservices (z.B. Aggregator-Service). Die Vermarktung von zuvor in der UP ermittelter Energieflexibilität kann in dieser Komponente manuell angestoßen werden oder vollautomatisiert geschehen. Der Vorteil aus Nutzersicht ist hier, dass der Vermarktungsprozess unabhängig vom Zielmarkt einheitlich und in einem zentralen System gesteuert wird. Eine Vermarktungskomponente übernimmt im Hintergrund die vermarktungsservicespezifische Kommunikation und die nötige Transformation zwischen EFDM und vermarktungsservicespezifischem Datenmodell. Die Transformation wird von einem entsprechenden Vermarktungsadapter durchgeführt. Das EFDM enthält neben vermarktungsrelevanten Informationen zu Kosten und Preisen auch viele technische Aspekte. Während dieser Detaillierungsgrad für die Planung, die Optimierung und die tatsächliche Erbringung erforderlich ist, können die vermarktungsrelevanten Daten aus dem EFDM extrahiert und zur Projektion auf die Datenmodelle relevanter Zielmärkte genutzt werden. Dies ermöglicht es, Energieflexibilitäten an existierenden Märkten zu platzieren, die das Datenformat des EFDM nicht unterstützen.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Nutzung des EFDM	REQ-SF-019*, REQ-SF-020*	
2. Berücksichtigung und Anwendung der erweiterten Metadaten der UP	REQ-SF-022*, <u>REQ-SF-029</u>	
3. Beitrag zur Prozesstransparenz im Kontext der Vermarktung, der Buchung (Reservierung), des Abrufs, der Abrechnung und der Stornierung	REQ-SF-022*	
4. Anbindung ein oder mehrerer Vermarktungsservices oder Flexibilitätsmärkte über Marktadapter	<u>REQ-SF-027*</u> , <u>REQ-SF-028</u> , REQ-SF-050*, REQ-SF-051*, REQ-SF-052*	
5. Transformation eines EFDM-Objekts (Flexibilitätsraum) in das vermarktungsservicespezifische Datenmodell (Inserat)	<u>REQ-SF-030*</u> , REQ-SF-005*, REQ-SF-021*	
6. Versenden der Inserate	<u>REQ-SF-031*</u>	
7. Empfangen und Speichern der Buchung (Reservierung), und Benachrichtigung an EFMS	<u>REQ-SF-032*</u> , <u>REQ-SF-033*</u>	
8. Erkennen von Konflikten zwischen Buchung (Reservierung) und verfügbarer Flexibilität	<u>REQ-SF-034*</u>	
9. Empfangen der Aktivierung (des Flexibilitätsabrufs) zu einer vorangegangenen Buchung (Reservierung)	<u>REQ-SF-035*</u>	

10. Transformation einer vermarktungsservicespezifischen Aktivierung (Flexibilitätsabruf) in ein EFDM-Objekt (Flexible-Last-Maßnahme), und Versand an EFMS	<u>REQ-SF-036*</u> , REQ-SF-005*, REQ-SF-021*
11. Ableiten und Bereitstellen der rechnungsrelevanten Daten aus der Erbringungsprotokollierung	<u>REQ-SF-040</u>
12. Parallele Unterstützung einer Range an EFDM-Versionen	REQ-SF-019*
13. Berücksichtigung eines Testbetriebs für EFDM-Objekte	REQ-SF-048, REQ-SF-049*, REQ-SF-022*
Wichtige Schnittstellen:	
• Vermarktungs-GUI: Für Endnutzer bietet eine Vermarktungskomponente eine GUI, die alle relevanten Informationen zu angebotener und abgerufener Energieflexibilität zeigt. Ebenso ermöglicht die GUI die nötigen Konfigurationen für die Vermarktung. Auch eine manuelle Vermarktung von Energieflexibilität ist möglich. • Vermarktungs-Schnittstelle (UP-intern): Die Vermarktungskomponente stellt Komponenten der UP eine Schnittstelle bereit. Die Schnittstelle bietet Funktionen zur Bereitstellung rechnungsrelevanter Daten für angebotene und abgerufene Energieflexibilität. • Marktadapter: Zur Anbindung ein oder mehrerer Vermarktungsservices oder Flexibilitätsmärkte müssen Marktadapter entwickelt werden. Marktadapter sind für die Konnektivität und das bidirektionale Transformieren der Daten zwischen UP und Vermarktungsservice zuständig. • Eine Vermarktungskomponente bezieht verfügbare Energieflexibilitäten über die EFMS-Schnittstelle (UP-intern), und leitet Reservierungen und Abrufe an diese weiter. Nach der Erbringung einer Flexible-Last-Maßnahme bezieht sie die Ausführungsprotokolle und leitet rechnungsrelevante Daten daraus ab.	

Middleware

Tabelle 20: Middleware

Middleware	Notwendig
Zweck/Verantwortung:	
Über eine Middleware, als zentrale Komponente der UP, werden Informationen zwischen Services und Komponenten der UP verteilt. An sie können die anderen Systeme angeschlossen werden. Sie unterstützt dabei verschiedene offene und standardisierte Kommunikationsprotokolle. Sie schafft damit die Grundlage für einen modularen Aufbau der UP. Sie ermöglicht eine nahtlose Kommunikation und Interoperabilität zwischen heterogenen Systemen, unabhängig von den zugrunde liegenden technischen Protokollen. Eine Middleware	

kann zudem erweiterte Funktionen für die Systemintegration (siehe Konnektoren), Daten-Mapping und Service-Orchestrierung in der UP übernehmen.

Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):

1. Vermittlung und Bereitstellung von Informationen zwischen Services und Komponenten der UP	REQ-SF-007*, REQ-SF-009,
2. Systemintegration über eigene Konnektoren	REQ-SF-003*, REQ-SF-010*, REQ-SF-011
3. Datenverarbeitung und Datentransformation über Middleware-Funktionen	REQ-SF-005*, REQ-SF-006*, REQ-SF-021*
4. Service-Orchestrierung über Modellierung und Ausführung von Prozessflüssen	REQ-SF-013
5. Konfigurierbare Service-Orchestrierung über grafische Modellierung zur Ausführung von Prozessflüssen	REQ-SF-014, REQ-SF-001
6. Anbindung von externen Diensten (bspw. Preisprognosen, Marktinformationsbeschaffung) über eigene Konnektoren	REQ-SF-015
7. Funktionen zum Nachverfolgen und Speichern von Nachrichten (Message-Tracking, End-to-End-Tracing, Logging)	REQ-SF-016, REQ-SF-008
8. Verteilen von EFDM-Objekten	REQ-SF-019*, REQ-SF-020*

Wichtige Schnittstellen:

- Eine Middleware kann Systeme über unterschiedliche Schnittstellen und eigene Konnektoren anbinden (siehe REQ-SF-010*). Dabei unterstützt eine Middleware eine Vielzahl von Protokollen, um eine flexible Integration zu gewährleisten. Sie stellt sowohl eigene Schnittstellen zur Verfügung, über die sich externe Systeme an die Middleware anbinden können, als auch Funktionen, um Systeme über deren bestehende Schnittstellen zu integrieren.

Plattform-Dienste

Tabelle 21: Plattform-Dienste

Plattform-Dienste	Notwendig
Zweck/Verantwortung:	
Plattform-Dienste sind technische Basisdienste der UP. Dazu gehören bspw. eine Identitäts- und Zugriffsverwaltung, ein Verzeichnis für installierte und installierbare Services, ein Monitoring, eine Zertifikatsverwaltung und eine Angriffsabwehr. Sie ermöglichen einen stabilen, performanten, sicheren und transparenten Betrieb der UP und ihrer Services.	
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):	
1. Unterstützung der technisch-organisatorischen Maßnahmen zum Schutz der UP	REQ-SEC-001*, REQ-SEC-002*, REQ-SEC-003*

2. Erkennung von Bedrohung für die Hosting-Infrastruktur, die Netzwerkinfrastruktur und die Betriebssystemumgebung der UP	<u>REQ-SEC-004*</u>
3. Erkennung von Unregelmäßigkeiten im UP- und Service-Betrieb.	<u>REQ-SEC-009*</u>
4. Meldung / Benachrichtigung einer Bedrohung oder Unregelmäßigkeit an UP-Betreiber	<u>REQ-SEC-004*</u> , <u>REQ-SEC-009*</u>
5. Angriffsabwehr bspw. über Virens Scanner, IP White/Black-Listing	<u>REQ-SEC-005*</u>
6. Bereitstellung einer Identitäts- und Zugriffsverwaltung (IAM) mit rollenbasierter Zugriffskontrolle (RBAC) und Single Sign-on (SSO)	<u>REQ-SEC-006*</u> , <u>REQ-SEC-007*</u>
7. Bereitstellung einer Certificate Authority (CA) oder Integration mit einer externen CA	REQ-SF-018, REQ-SEC-008*, REQ-SEC-012*
8. Sichere Verwaltung von Konfigurationen und Daten	<u>REQ-SEC-010*</u> , REQ-SEC-011*, REQ-SEC-013*
9. Bereitstellung eines zentralen Log-Servers oder Log-Management-System	REQ-SEC-015*
10. Verwaltung der UP-Ressourcen (Arbeitsspeicher, persistenter Speicher, Netzwerkbandbreite, ...)	<u>REQ-SF-002*</u>
11. Verwaltung der UP-Services und Anbieten einer Erweiterungsmöglichkeit um individuelle Services	<u>REQ-SF-001</u>
12. Bereitstellung von Funktionen und Verwaltung von Ressourcen als Grundlage zur Umsetzung der nicht-funktionalen Anforderungen an die UP	REQ-Q-001*, REQ-Q-002*, REQ-Q-003*, REQ-Q-004*, REQ-Q-005*, REQ-Q-006, REQ-PERF-001*, REQ-PERF-002*
Wichtige Schnittstellen:	
Entsprechend der Plattform-Dienste können verschiedene Schnittstellen zum Einsatz kommen. Relevant für UP-Services sind insbesondere die Schnittstelle zum IAM/SSO, die Schnittstelle zum Log-Server und die Schnittstelle zum Monitoring-System.	

Optionale Komponenten

UP-Services bestehen neben den beschriebenen Kernkomponenten und Plattform-Diensten auch aus optionalen Komponenten bzw. individuellen Services. Diese werden je nach UP-Instanz eines Unternehmens und dessen individuellen Anwendungsfällen hinzugefügt.

Merge-Service

Tabelle 22: Merge-Service

Merge-Service		Optional
Zweck/Verantwortung:		
Services zur Zusammenführung von Energieflexibilitäten können Energieflexibilitäten mehrerer Anlagen oder Systeme zusammenführen (Merge), und diese Zusammenführung bei einem Abruf über eine Flexible-Last-Maßnahme auch wieder auflösen. Der Merge-Service wird dazu von anderen UP-Services aufgerufen.		
Beispiel für einen Merge: Die Vermarktungskomponente möchte gemäß einer Marktanforderungen dem Inset eine Mindestkapazität hinterlegen. Dazu führt sie mehrere Flexibilitätsräume vor der Inserierung zusammen. Der aufrufende UP-Service (hier die Vermarktungskomponente) tritt dabei als Origin (gem. EFDM) für die resultierende Flexibilität auf. Er veranlasst daher im weiteren Verlauf des Vermarktungs- und Erbringungsprozesses die zur Laufzeit nötigen bidirektionalen Transformationen der EFDM-Objekte (Zusammenführung/Aufteilung), durch erneutes Aufrufen des Merge-Service.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Zusammenführung von Flexibilitätsräumen zu einem neuen Flexibilitätsraum (Merge)	REQ-SF-025	
2. Aufteilung einer Flexible-Last-Maßnahme in mehrere neue Flexible-Last-Maßnahmen für die ursprünglich zusammengeführten Flexibilitätsräume (gemäß ursprünglichem Merge)	REQ-SF-025	
3. Transformation der Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle gemäß der zugrundeliegenden Zusammenführung der Flexibilitäten	REQ-SF-038*, REQ-SF-039*	
4. Transformation der Fehlermeldungen gemäß der zugrundeliegenden Zusammenführung der Flexibilitäten	REQ-SF-042*	
Wichtige Schnittstellen:		
Merge-Schnittstelle: Die Schnittstelle eines Merge-Service bietet Funktionen für das Zusammenführen (Merge) von Flexibilitätsräumen, sowie die darauffolgende Auflösung der zugehörigen Flexible-Last-Maßnahme und Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle.		

Split-Service

Tabelle 23: Split-Service

Split-Service		Optional
Zweck/Verantwortung:		
Services zur Aufteilung von Energieflexibilitäten können die Energieflexibilität einer Anlage oder eines Systems aufteilen (Split), und diese Aufteilung bei einem Abruf über Flexible-Last-Maßnahmen auch wieder auflösen. Der Split-Service wird dazu von anderen UP-Services aufgerufen.		
Beispiel für einen Split: Die Vermarktungskomponente möchte gemäß einer Marktanforderungen Inserate in einer bestimmten zeitlichen Auflösung anbieten. Dazu teilt sie einen Flexibilitätsraum vor der Inserierung in mehrere Flexibilitätsräume auf. Der aufrufende UP-Service (hier die Vermarktungskomponente) tritt dabei als Origin (gem. EFDM) für die resultierenden Flexibilitäten auf. Er veranlasst daher im weiteren Verlauf des Vermarktungs- und Erbringungsprozesses die zur Laufzeit nötigen bidirektionalen Transformationen der EFDM-Objekte (Zusammenführung/Aufteilung), durch erneutes Aufrufen des Split-Service.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Aufteilung eines Flexibilitätsraums in mehrere neue Flexibilitätsräume (Split)	<u>REQ-SF-026</u>	
2. Zusammenführung von Flexible-Last-Maßnahmen auf eine neue Flexible-Last-Maßnahme gem. dem ursprünglich aufgeteilten Flexibilitätsraum (gemäß ursprünglichem Split)	<u>REQ-SF-026</u>	
3. Transformation der Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle gemäß der zugrundeliegenden Aufteilung der Flexibilität	REQ-SF-038*, REQ-SF-039*	
4. Transformation der Fehlermeldungen gemäß der zugrundeliegenden Aufteilung der Flexibilität	REQ-SF-042*	
Wichtige Schnittstellen:		
Split-Schnittstelle: Die Schnittstelle eines Split-Service bietet Funktionen für das Aufteilen (Split) eines Flexibilitätsraums, sowie die darauffolgende Auflösung der zugehörigen Flexible-Last-Maßnahmen und des Flexible-Last-Maßnahmen-Protokolls.		

EFDM-Mapping

Tabelle 24: EFDM-Mapping

EFDM-Mapping		Optional
Zweck/Verantwortung:		
Ein EFDM-Mapping übernimmt im Rahmen der Erfassung von Energieflexibilität die Übersetzung energieflexibilitätsrelevanter Daten der Systeme in Flexibilitätsräume, sowie die Übersetzung von Flexible-Last-Maßnahmen in systemspezifische Steuerungssignale zur Erbringung. Dies ist insbesondere dann nötig, wenn Konnektoren ohne EFDM-Mapping in der UP eingesetzt werden, da diese nur die Erfassung energieflexibilitätsrelevanter Daten und die Übermittlung der Steuerungssignale übernehmen, nicht aber die bidirektionale Übersetzung hinsichtlich des EFDM und die Anwendung der erweiterten Metadaten der UP. Ein EFDM-Mapping kann durch einen separaten Service, durch Middleware-Funktionen (siehe Middleware) oder durch eine Kombination aus separatem Service und Middleware-Funktionen umgesetzt werden. • Wird ein EFDM-Mapping als separater Service umgesetzt, übernimmt dieser auch die Funktion des Origin für die erstellten Flexibilitätsräume und muss die nachgelagerten Prozesse der Vermarktung und Erbringung zwischen EFMS und Unternehmenssystem (über Konnektor) vermitteln. Dabei setzt er die bidirektionalen Transformationen um. • Bei einer Kombination aus separatem Service und Middleware-Funktionen, kann eine Middleware-Funktion (bspw. ein Workflow in der Service-Orchestrierung) die nachgelagerten Prozesse orchestrieren und den EFDM-Mapping Service für die notwendigen Transformationen entsprechend einbinden. • Ist ein EFDM-Mapping Teil der Middleware-Funktionen (bspw. ein Workflow in der Service-Orchestrierung inklusive Daten-Mapping), übernimmt diese die Orchestrierung der nachgelagerten Prozesse und die Datentransformation.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Nutzung des EFDM	REQ-SF-019*, REQ-SF-020*	
2. Transformation von energieflexibilitätsrelevanten Daten in EFDM-Objekte (Flexibilitätsräume)	<u>REQ-SF-021*</u> , REQ-SF-005*	
3. Transformation von EFDM-Objekten (Flexible-Last-Maßnahmen) in systemspezifische Steuerungssignale zur Erbringung	<u>REQ-SF-021*</u> , REQ-SF-037*, REQ-SF-005*, REQ-SF-009	
4. Auftreten als Origin für die durch Mapping entstandenen Flexibilitätsräume (optional umgesetzt mit Middleware-Funktionen)	<u>REQ-SF-021*</u>	
5. Vermittlung der nachgelagerten Prozesse der Vermarktung und Erbringung zwischen EFMS und Unternehmenssystem (über Konnektor), mit Umsetzung der bidirektionalen Datentransformation (optional umgesetzt mit Middleware-Funktionen)	<u>REQ-SF-021*</u>	

6. Vermittlung der nachgelagerten Prozesse der Meldung und Protokollierung der Erbringung zwischen EFMS und Unternehmenssystem (über Konnektor), mit Umsetzung der Transformationen in Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolle (optional umgesetzt mit Middleware-Funktionen)	REQ-SF-038*, REQ-SF-039*
7. Vermittlung der nachgelagerten Prozesse der Meldung und Protokollierung von Problemen zwischen EFMS und Unternehmenssystem (über Konnektor), mit Umsetzung der Datentransformation in Fehlermeldungen (optional umgesetzt mit Middleware-Funktionen)	REQ-SF-042*
8. Berücksichtigung und Anwendung der erweiterten Metadaten der UP	REQ-SF-022*
9. Unterstützung eines Testbetriebs	REQ-SF-048
Wichtige Schnittstellen:	
• EFDM-Mapping-Schnittstelle: Wird ein EFDM-Mapping Service bereitgestellt, bietet dieser eine Schnittstelle für die bidirektionale Transformation zwischen Daten und Steuerungssignalen des Unternehmenssystems und den EFDM-Objekten an, sowie die Unterstützung der erweiterten Metadaten der UP. • Ein EFDM-Mapping kann je nach eingesetzter Middleware einer IIoT-Plattform auch über deren Funktionen (Orchestrierung, konfigurierbare/modellierbare Workflows, Daten-Mapping) realisiert werden.	

Produktionsplanung und –Steuerung (PPS)

Tabelle 25: Produktionsplanung und –Steuerung (PPS)

Produktionsplanung und –Steuerung (PPS)	Optional
Zweck/Verantwortung:	
Services zur Produktionsplanung und –Steuerung (PPS) können bspw. bei der Berechnung und monetären Bewertung von Änderungen des Produktionsprogramms, die aufgrund der Vermarktung von Energieflexibilität vorgenommen werden, aushelfen. Andererseits unterstützen die Services bei der Auswahl und Umsetzung von organisatorischen Energieflexibilitätsmaßnahmen in Produktionsunternehmen. Konnektoren für PPS, Manufacturing Execution Systems (MES) und Enterprise Resource Planning (ERP) ermöglichen die Einbeziehung von Daten, die auf einer höheren Ebene der Automatisierungspyramide erfasst und von bestimmten individuellen Services angefragt und genutzt werden können. Die Datenbereitstellung geschieht hierbei nicht zwingend über das EFDM.	
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):	

1. Energieflexible Produktionsplanung mit Berechnung und monetäre Bewertung von Änderungen des Produktionsprogramms	<u>REQ-SF-043</u> , REQ-SF-009
2. Unterstützung bei Auswahl und Umsetzung von organisatorischen Energieflexibilitätsmaßnahmen	REQ-SF-044
Wichtige Schnittstellen:	
Entsprechend der individuellen Services können verschiedene Schnittstellen zum Einsatz kommen.	

Lastmanagement

Tabelle 26: Lastmanagement

Lastmanagement		Optional
Zweck/Verantwortung:		
Services zum Lastmanagement bilden intelligente Systeme zum Managen und Schalten von Maschinen und Anlagen. Dabei werden die Energieinfrastruktur und der Energiemarkt mitberücksichtigt.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Lastplanung für angebundene Maschinen und Anlagen unter Berücksichtigung von Auftragsverschiebungen, Energieinfrastruktur und Energiemarkt gemäß definierter Zielkriterien	<u>REQ-SF-046</u>	
2. Realisierung von Schalthandlungen für die angebotenen Maschinen und Anlagen (abhängig von aktuellen Produktionsverfügbarkeiten, Maschinenprioritäten, Energieverbrauch und den Lastplanungsdaten)	<u>REQ-SF-046</u> , REQ-SF-009	
Wichtige Schnittstellen:		
Entsprechend der individuellen Services können verschiedene Schnittstellen zum Einsatz kommen.		

Optimierungs-Service

Tabelle 27: Optimierungs-Service

Optimierungs-Service		Optional
Zweck/Verantwortung:		
Services zur Optimierung führen eine systematische Optimierung von Anlagen der Produktionsinfrastruktur mit deutlichem Maschinenbezug durch oder erzielen eine Verbesserung von Produktionsvarianten. Im Kontext der UP steht dabei der optimale energieflexible Betrieb von Fabriken und Industrieanlagen im Fokus.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		

1. Optimierung des energieflexiblen Betriebs von Fabriken und Industrieanlagen auf Basis vorhandener Energieflexibilität	<u>REQ-SF-047</u>
2. Erschließung neuer Energieflexibilität durch Optimierung des Betriebs von Fabriken und Industrieanlagen	<u>REQ-SF-047</u>
Wichtige Schnittstellen:	
Entsprechend der individuellen Services können verschiedene Schnittstellen zum Einsatz kommen.	

Informationsservices

Tabelle 28: Informationsservices

Informationsservices		Optional
Zweck/Verantwortung:		
Services zur Informationsbeschaffung beziehen Marktinformationen, wie z.B. historische Strompreiszeitreihen bzw. Strompreisprognosen verschiedener Energiemärkte. Sie können von anderen Services der UP aufgerufen werden. Dabei sind zwei Szenarien denkbar: 1. Konnektoren (ohne EFDM-Mapping) oder Integrationsfunktionen der Middleware werden zu Integration externer Informationsquellen verwendet und stellen deren Daten internen Services auf Abruf zur Verfügung. 2. Es wird ein dedizierter UP-Service zur Marktinformationsbeschaffung (MIBS) bereitgestellt, der die relevanten externen Informationsquellen anbindet, zusammenführt und die Informationen anderen UP-Services auf Abruf bereitstellt.		
Top Funktionen (mit Anforderungsreferenzen):		
1. Anbindung externer Informationsquellen (z. B. Preisprognosen)	<u>REQ-SF-015</u>	
2. Umsetzen einer sicheren Kommunikation mit der Marktseite	REQ-SEC-012*, REQ-SEC-013*, REQ-SEC-014*, REQ-SEC-015*	
Wichtige Schnittstellen:		
• MIBS-Schnittstelle: Ein MIBS bindet ein oder mehrere externe Informationsquellen an und stellt diese über eine Schnittstelle in aggregierter Form zu Verfügung. • Alternativ können spezifische Schnittstellen der Middleware zur Informationsbeschaffung von externen Informationsdiensten eingesetzt werden.		

Anforderungsabdeckung

Nachfolgende Tabelle fasst die Abdeckung der funktionalen Anforderungen durch die Komponenten der UP-Referenzarchitektur in einer Übersicht zusammen.

Tabelle 29: Mapping funktionaler Anforderungen auf UP-Komponenten

		EFDM-Interface	Konnektoren (mit EFDM-Mapping)	Konnektoren (ohne EFDM-Mapping)	Energieflexibilitätsmanagementservice	Vermarktungskomponente	Middleware	Plattform-Dienste	Individuelle Dienste	Merge-Service	Split-Service	EFDM-Mapping	Produktionsplanung und -Steuerung	Lastmanagement	Optimierungs-Service	Marktinformationsbeschaffung (MIBS)
Anforderungen an die grundlegenden Funktionen einer IIoT-Plattform																
REQ-SF-001	Erweiterbarkeit durch Nutzer						TM	~	~							
REQ-SF-002*	Ressourcenbegrenzung							~								
REQ-SF-003*	Datenerfassung		~	~			TM									
REQ-SF-004*	Datenspeicherung				TM											
REQ-SF-005*	Datentransformation		TM			TM	TM					TM				
REQ-SF-006*	Datenverarbeitung		TM	TM			TM									
REQ-SF-007*	Datenbereitstellung		~	~			~									
REQ-SF-008	Datenvisualisierung						TM		~							
REQ-SF-009	Steuerung		TM	TM			TM					TM	TM	TM		
REQ-SF-010*	Individuelle Konnektoren		~	~			TM									
REQ-SF-011	Anwenderkonfigurierbare Integration von Datenquellen und Unternehmensanwendungen		~	~			TM									
REQ-SF-012	Individuelle Services								~							
REQ-SF-013	Orchestrierung						TM									
REQ-SF-014	Grafische Orchestrierung						TM									

REQ-SF-015	Anbindung von externen Services			TM			TM									~
REQ-SF-016	Nachrichtenverfolgung						TM	TM								
REQ-SF-017	Registrierung auf der Marktplattform (MP)	(aktuell manueller Schritt)														
REQ-SF-018	Certificate Authority (CA)							TM								
Anforderungen bzgl. der Verwendung des Energieflexibilitätsdatenmodells																
REQ-SF-019*	Nutzung des Energieflexibilitätsdatenmodells (EFDM)		TM		TM	TM	TM					TM				
REQ-SF-020*	EFDM-JSON-Schema		TM		TM	TM	TM					TM				
REQ-SF-021*	EFDM-Mapping		~			TM	TM					~				
REQ-SF-022*	Erweiterte Metadaten		TM		~	TM						TM				
REQ-SF-023*	EFDM-Schnittstelle	~			TM											
Anforderungen an das Management von Energieflexibilität																
REQ-SF-024*	Speicherung von Energieflexibilitätsdaten				~											
REQ-SF-025	Zusammenführung von Energieflexibilitätsräumen									~						
REQ-SF-026	Teilung von Energieflexibilitätsräumen										~					
Anforderungen an die Energieflexibilitätsvermarktung																
REQ-SF-027*	Marktanbindung					~										
REQ-SF-028	Mehrere Märkte					~										
REQ-SF-029*	Festlegung vermarktbare Energieflexibilitätsräume				TM	~										
REQ-SF-030*	Inseraterstellung					~										
REQ-SF-031*	Inseratsversand					~										
REQ-SF-032*	Buchungsempfang					~										
REQ-SF-033*	Buchungsspeicherung					~										
REQ-SF-034*	Konflikterkennung					~										
REQ-SF-035*	Aktivierungsempfang					~										
REQ-SF-036*	Aktivierungsübersetzung					~										
REQ-SF-037*	Flexibilitätserbringung		~	TM								TM				



REQ-SF-038*	Erbringungsprotokollierung		~	TM	~					TM	TM	TM			
REQ-SF-039*	Meldung der Erbringung		~	TM						TM	TM	TM			
REQ-SF-040	Bereitstellung rechnungsrelevanter Daten					~									
REQ-SF-041*	Erbringungsmonitoring				TM										
REQ-SF-042*	Meldung von Problemen		~	TM						TM	TM	TM			
Anforderungen bzgl. zusätzlicher Services															
REQ-SF-043	Energieflexible Produktionsplanung												~		
REQ-SF-044	Organisatorische Energieflexibilitätsmaßnahmen												TM		
REQ-SF-045	Bewertung von Produktionsrisiken							~							
REQ-SF-046	Lastmanagement													~	
REQ-SF-047	Optimierungsdienste														~
Anforderungen an einen Testbetrieb															
REQ-SF-048	Testbetrieb von Konnektoren		TM	TM	TM	TM						TM			
REQ-SF-049*	Berücksichtigung des Testbetriebs bei Vermarktung				TM	TM									
Energiewirtschaftsspezifische Anforderungen															
REQ-SF-050*	Marktspezifische Anforderungen					TM									
REQ-SF-051*	Regelreservespezifische Anforderung					TM									
REQ-SF-052*	Energiebilanzierung					TM									

~	Anforderung wird maßgeblich durch Komponente umgesetzt
TM	Anforderung wird unter Beteiligung der Komponente umgesetzt
	Anforderung wird ohne direkte Beteiligung der Komponente umgesetzt

Anwendung des EFDM in der Unternehmensplattform

Energieflexibilität wird in der UP anhand des EFDM beschrieben (siehe Kapitel Energieflexibilitätsdatenmodell). Die EFDM-Instanzen werden dabei entlang der zentralen UP-Prozesse zwischen den UP-Komponenten ausgetauscht. Das EFDM wird fortlaufend weiterentwickelt, um neue Anforderungen zu berücksichtigen. So wurden mit dem Übergang von Version 1.0 auf Version 1.1 des EFDM folgende Merkmale ergänzt, die für die UP besonders relevant sind:

1. Vermarktungsspezifische Konfigurationen
2. Statusinformationen für Flexibilitätsräume und Flexible-Last-Maßnahmen
3. Ausführungsprotokolle

EFDM-Eigenschaften

Das EFDM beschreibt eine Vielzahl an Eigenschaften. Diese werden im Detail im [EFDM Git-Repository](#) spezifiziert und ausführlich dokumentiert. Nachfolgend werden auszugsweise die Eigenschaften aufgeführt, die für die Automatisierung der Kernprozesse der UP besonders relevant sind.

Tabelle 30: Auszug an EFDM-Eigenschaften für die Automatisierung der Kernprozesse der UP

EFDM-Klasse	Eigenschaft	Datentyp	Beschreibung
Metadata	instanceId	<string:uuid>	Eindeutige Kennung eines Flexibilitätsraums, eines Pakets von Flexible-Last-Maßnahmen oder eines Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokolls.
	efdmVersion	<object>	Die EFDM-Version verweist auf das zugehörige Schema und dient der eindeutigen Zuordnung zur jeweiligen Version des EFDM-Datenmodells.
	origin	<object>	UUID des erzeugenden Services sowie Zeitstempel der Erstellung. Diese Informationen erlauben Rückschlüsse auf Herkunft des Objekts und unterstützen die eindeutige Zuordnung zu verantwortlichen Instanzen.
	modification	<object>	UUID der letzten Service-Instanz sowie Zeitstempel der letzten Änderung. Analog zur Erstellung dient dieses Element der Nachvollziehbarkeit von Änderungen.
FlexibilitySpace	utilizationContext .status	<string:enum>	Der Status eines Flexibilitätsraumes beschreibt dessen aktuellen Zustand innerhalb des Prozesses zur Nutzung energieflexibler Maßnahmen. Ziel ist es, den Verlauf und die Phasen eines jeden Flexibilitätsraums eindeutig

			nachvollziehbar zu machen (siehe Status-Tracking).
	utilizationContext .modelingScope	<string:enum>	Der Modellierungsumfang setzt einzelne EFDM-Instanzen und deren Kennzahlen in einen Kontext. • generalTechnicalPotential: Die Modellierung der Flexibilität umfasst allgemeingültige technische Eigenschaften und Restriktionen. Das Energieflexibilitätspotenzial ist in diesem Fall nicht direkt umsetzbar. Keine UP-Prozessierung notwendig! • operationalPotential: Die Flexibilität wird vollständig im Kontext des Produktionsumfelds betrachtet und enthält alle notwendigen Informationen, die für eine Nutzbarmachung der Flexibilität erforderlich sind. UP-Prozessierung möglich! • applicationTailoredPotential: Das Modell beschreibt ein auf einen konkreten Anwendungsfall zugeschnittenes Potenzial. UP-Prozessierung möglich!
	utilizationContext .trading .externallyTradeable	<boolean>	Gibt an, ob der Flexibilitätsraum für eine Teilnahme an externen Märkten vorgesehen ist (true) oder ausschließlich für innerbetriebliche Optimierungszwecke genutzt werden soll (false).
	utilizationContext .trading .autoTradeable	<boolean>	Definiert, ob der Handelsprozess automatisiert durchgeführt werden kann (true) oder ob zusätzliche manuelle Vorbereitungsschritte und Prüfprozesse erforderlich sind (false).
FlexibleLoadMeasurePackage .flexibleLoadMeasures	flexibleLoadId	<string:uuid>	Referenz auf die Flexible Last, auf die sich die jeweilige Flexible-Last-Maßnahme bezieht.
	status	<string:enum>	Der Status einer Flexible-Last-Maßnahme kennzeichnet deren aktuellen Fortschritt im Prozess zur Erbringung von Energieflexibilität. Ziel ist ein eindeutiges Tracking jeder Maßnahme über definierte Phasen hinweg (siehe Status-Tracking).
	loadChangeProfile	<array>	Das Laständerungsprofil beschreibt die zeitliche Entwicklung der Leistungsänderung der Flexiblen Last.

	reward	<object>	Geplanter Erlös für die Durchführung der Flexible-Last-Maßnahme.
FlexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry	flexibleLoadMeasureId	<string:uuid>	ID der Flexible-Last-Maßnahme, auf die sich der Protokolleintrag bezieht.
	loadChangeProfile	<array>	Gemessenes Laständerungsverhalten der Flexiblen Last während der Durchführung der Flexible-Last-Maßnahme. Die erfassten Leistungswerte beziehen sich auf denselben Referenzpunkt wie die Flexible-Last-Maßnahme.
	reward	<object>	Realisierter Erlös für die Durchführung der Flexible-Last-Maßnahme.
	exceptions	<array:object>	Erfassung von Fehlereignissen, die während der Durchführung der Flexible-Last-Maßnahme aufgetreten sind.

Informationsobjekte der UP werden in der Regel über die UUIDs identifiziert, die im EFDM spezifiziert sind. Zusätzlich können zwischen den Systemen bei Bedarf ergänzende Prozess-IDs ausgetauscht werden, um Informationsobjekte, insbesondere im Kontext der Vermarktung, eindeutig zu identifizieren und nachzuverfolgen. So könnte beispielsweise das ERP-System zusätzliche IDs für Angebote und Bestellungen vergeben. Ebenso könnte ein Vermarktungsservice eine spezifische ID für einen Abruf definieren. Über die Prozess-IDs können diese bei Bedarf bei der Kommunikation ergänzend übertragen werden.

Tabelle 31: Ergänzende UP-Prozess-IDs (optional)

Bereich	Eigenschaft	Datentyp	Beschreibung
Przess-IDs	offerID	<string:uuid>	Identifikation eines Angebots
	bookingID	<string:uuid>	Identifikation einer Bestellung

Status-Tracking

Die Statusinformationen ermöglichen eine durchgängige Nachverfolgung der EFDM-Instanzen entlang der UP-Prozesse und bilden die Basis für eine workflowgestützte Prozesssteuerung. Jede Statusänderung löst definierte Folgeaktionen aus und erlaubt, den Zustand von Flexibilitätsräumen und Flexible-Last-Maßnahmen zu überwachen. Je nach den Fähigkeiten der zugrunde liegenden IIoT-Plattform erfolgt die Automatisierung über Workflow-Management-Systeme (WMS), Funktionen der Middleware oder den zentralen Energieflexibilitätsmanagementservice.

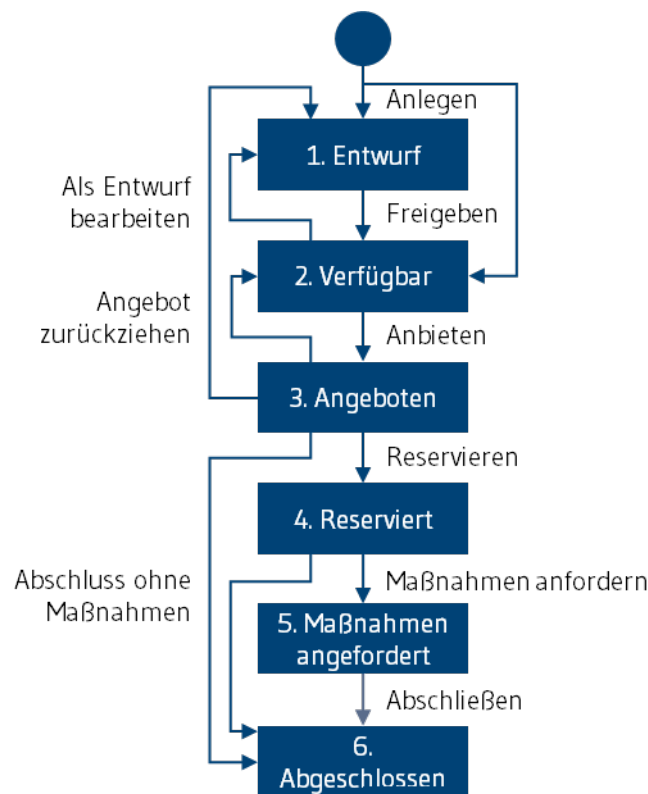


Abbildung 7: Status-Workflow eines Flexibilitätsraums

Der Status eines Flexibilitätsraums kann folgende Zustände annehmen:

1. Entwurf (draft): Flexibilitätsraum ist im Erstellungsprozess und noch nicht verwertbar.
2. Verfügbar (available): Flexibilitätsraum steht für interne Optimierung oder externe Vermarktung bereit.
3. Angeboten (offered): Flexibilitätsraum wurde einem Nachfrager angeboten; eine Reservierung liegt bisher nicht vor. Rücknahme oder Anpassung sind daher noch möglich.
4. Reserviert (reserved): Flexibilitätsraum ist gebucht und muss jetzt im Bereitstellungsmodus gehalten werden, bis sein Gültigkeitszeitraum endet oder eine Flexible-Last-Maßnahme angefordert wird.
5. Maßnahmen angefordert (measuresRequested): Flexible-Last-Maßnahmen sind angefordert und werden ausgeführt; es wird bis zum Ablauf des Gültigkeitszeitraums oder zur vollständigen Erschöpfung des Flexibilitätsraums auf weitere Anforderungen gewartet.
6. Abgeschlossen (finalized): Flexibilitätsraum ist abgeschlossen und kann nicht weiterverwertet werden.

Für jede Flexible-Last-Maßnahme durchläuft die UP einen separaten Status-Workflow, während ihr übergeordneter Flexibilitätsraum im Zustand „Maßnahmen angefordert“ verbleibt.

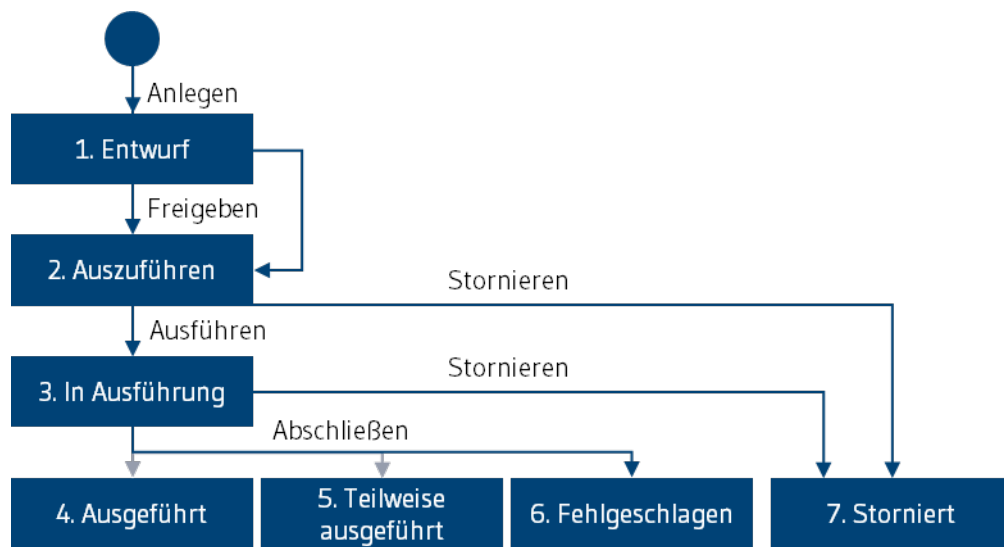


Abbildung 8: Status-Workflow einer Flexible-Last-Maßnahme

Der Status einer Flexible-Last-Maßnahme kann folgende Zustände annehmen:

7. Entwurf (draft): Flexible-Last-Maßnahme ist im Erstellungsprozess und noch nicht ausführbar.
8. Auszuführen (toExecute): Flexible-Last-Maßnahme steht bereit für die Ausführung.
9. In Ausführung (inExecution): Flexible-Last-Maßnahme wird aktuell ausgeführt.
10. Ausgeführt (executed): Flexible-Last-Maßnahme wurde erfolgreich abgeschlossen.
11. Teilweise ausgeführt (partiallyExecuted): Flexible-Last-Maßnahme wurde nicht vollständig ausgeführt; das tatsächliche Laständerungsprofil weicht vom Soll-Profil ab.
12. Fehlgeschlagen (failed): Während der Ausführung der Flexible-Last-Maßnahme trat ein Fehler auf, der diese verhindert hat.
13. Storniert (canceled): Flexible-Last-Maßnahme wurde vom Auftraggeber abgebrochen; auch laufende Ausführungen können jederzeit gestoppt werden.

Ausführungsprotokollierung

Je nach Endzustand werden Erfolge, Teilerfolge oder Ausfälle dokumentiert. Um Abweichungen zwischen beauftragtem und tatsächlich realisiertem Lastprofil zu quantifizieren, wird die Klasse Flexible-Last-Maßnahmen-Ausführungsprotokoll verwendet. Es ist einer Flexible-Last-Maßnahme zugeordnet und enthält das während der Ausführung protokollierte Laständerungsprofil sowie gegebenenfalls Fehlerinformationen. Damit schafft die UP eine belastbare Grundlage für transparente Abrechnungsprozesse, ein Energieflexibilitätsmonitoring und gezielte Qualitätssicherungsmaßnahmen.

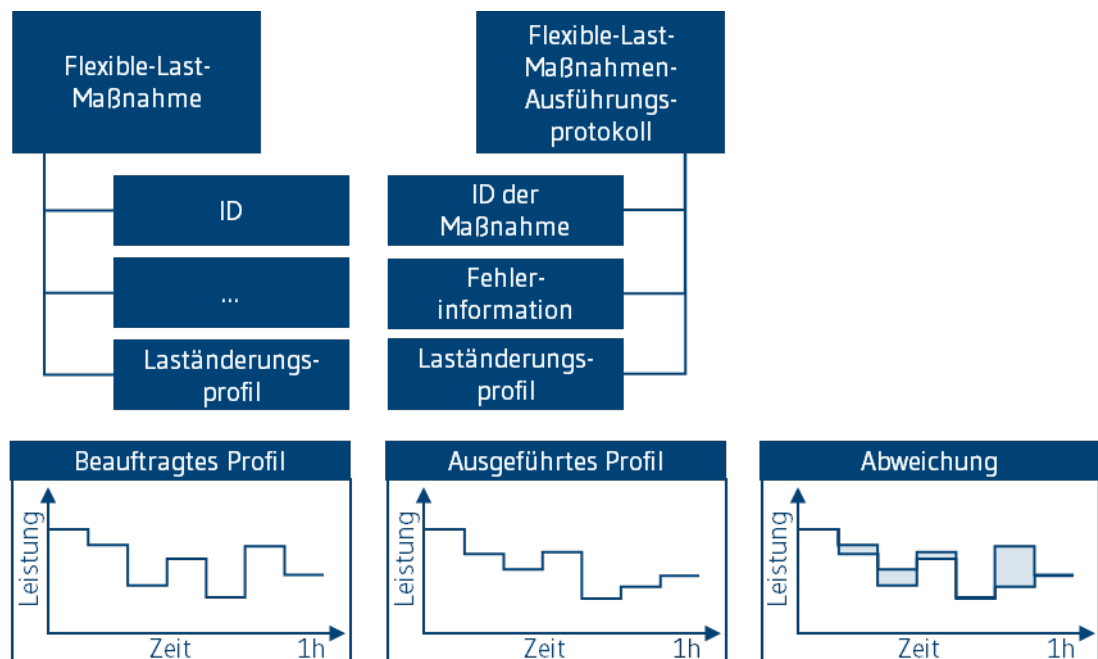


Abbildung 9: Abweichung zwischen ausgeführtem und beauftragtem Laständerungsprofil

Kollaboration

Dieses Kapitel beschreibt die grundlegende Kollaboration der wesentlichen Komponenten einer UP entlang der Kernprozesse. Ziel ist es, aufzuzeigen, wie die wichtigsten Komponenten der UP im Rahmen fachlich relevanter Prozesse zusammenwirken und welche Informationsobjekte dabei zwischen ihnen ausgetauscht werden.

Die Darstellung erfolgt bewusst auf einer fachlich-logischen und technologieunabhängigen Ebene. Beschrieben wird somit nicht die konkrete technische Realisierung des Datenaustauschs innerhalb einer Architektur-Instanz, sondern die fachliche Zusammenarbeit der beteiligten Komponenten sowie die dabei relevanten Informationen und Zustandsübergänge. Die konkrete Umsetzung – beispielsweise über Request/Response-Kommunikation, ereignisgesteuerte Interaktion, Workflow-Management oder Funktionen einer Middleware – ist abhängig von den Fähigkeiten der eingesetzten IIoT-Plattform und bleibt der jeweiligen Instanziierung überlassen.

Die Komponentenkollaboration dient damit als Brücke zwischen der Komponentenarchitektur und den zentralen Anwendungsfällen der Unternehmensplattform. Sie konkretisiert, welche Komponenten in den relevanten Prozessen zusammenwirken, welche fachlichen Rollen sie dabei übernehmen und welche Informationsobjekte zwischen ihnen ausgetauscht oder fortgeschrieben werden. Soweit möglich erfolgt die Beschreibung auf Basis des Energieflexibilitätsdatenmodells (EFDM), das innerhalb der Referenzarchitektur das Informationsmodell für die Beschreibung und Verarbeitung von Energieflexibilität darstellt.

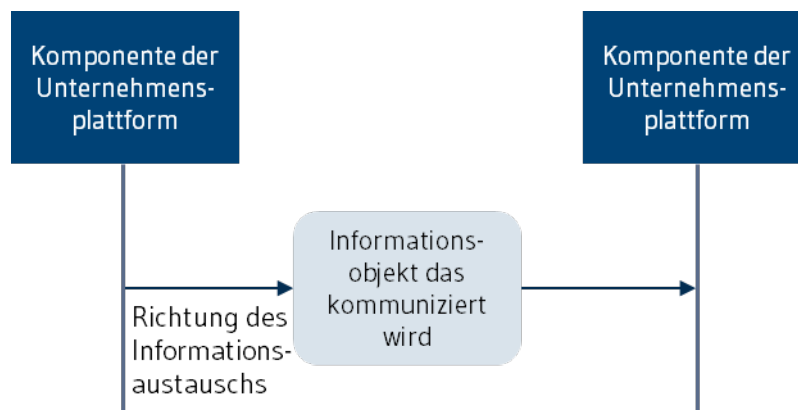


Abbildung 10: Bedeutung der Grafik-Bausteine in den Kollaborations-Diagrammen

Für jeden Anwendungsfall wird ein Kollaborationsdiagramm dargestellt. Die Bedeutung der grafischen Elemente ist in Abbildung 10 dargestellt. Ergänzend dazu werden die im jeweiligen Prozess verwendeten Informationsobjekte beschrieben und die für den Prozessschritt besonders relevanten Eigenschaften – insbesondere ausgewählte EFDM-Attribute – tabellarisch hervorgehoben. Die tabellarische Darstellung dient dabei nicht der vollständigen Spezifikation des EFDM, sondern der gezielten Verdeutlichung jener Inhalte, die für das Verständnis des jeweiligen Prozessschritts wesentlich sind.

Die dargestellten Kollaborationen definieren den fachlichen Kern der Referenzarchitektur, ohne die Freiheitsgrade künftiger Architektur-Instanzen einzuschränken. Abweichungen in der technischen Ausgestaltung, in der Verteilung von Verantwortlichkeiten auf konkrete Plattformdienste oder in der Zusammenlegung bzw. Trennung von Komponenten sind bei der Instanziierung zulässig, sofern die beschriebenen fachlichen Anwendungsfälle, Informationsflüsse und Zustandsübergänge weiterhin unterstützt werden. Eine Ausnahme bilden die standardisierten Außenschnittstellen der UP, die instanzübergreifend einheitlich ausgestaltet werden sollen (siehe Kapitel Standardisierte Schnittstellen).

Darüber hinaus können Plattformanbieter oder Betreiber einer konkreten Unternehmensplattform zusätzliche unternehmens- oder plattformspezifische Anwendungsfälle ergänzen. Die in diesem Kapitel dargestellten Kollaborationen bilden hierfür die Grundlage, indem sie die zentralen Muster der Zusammenarbeit innerhalb der UP beschreiben.

Flexibilitätserfassung

Die Flexibilitätserfassung beschreibt den Prozess zur erstmaligen oder wiederholten Bereitstellung von Energieflexibilität aus Unternehmenssystemen an die UP. Ziel dieses Anwendungsfalls ist es, energieflexibilitätsrelevante Informationen aus technischen oder übergeordneten Unternehmenssystemen in standardisierter Form in der UP verfügbar zu machen, sodass diese für nachgelagerte Prozesse wie innerbetriebliche Optimierung und Vermarktung genutzt werden können.

Die Bereitstellung der Energieflexibilität erfolgt durch Unternehmenssysteme, die als Quelle energieflexibler Potenziale fungieren. Hierzu zählen insbesondere Maschinen, Anlagen, Energiesysteme, Speicher, aber auch übergeordnete Systeme wie Manufacturing Execution Systeme (MES), Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS), Energiemanagementsysteme oder ERP-Systeme. Entscheidend ist, dass diese Systeme über Informationen verfügen, aus denen sich Energieflexibilität ableiten lässt, oder dass sie selbst in der Lage sind, flexibilitätswirksame Maßnahmen auszuführen.

Die Integration solcher Systeme in die UP kann auf drei Wegen erfolgen:

1. Direkte Integration über das EFDM-Interface

Das Unternehmenssystem erzeugt EFDM-konforme Flexibilitätsräume selbstständig und übermittelt diese direkt an den Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS).

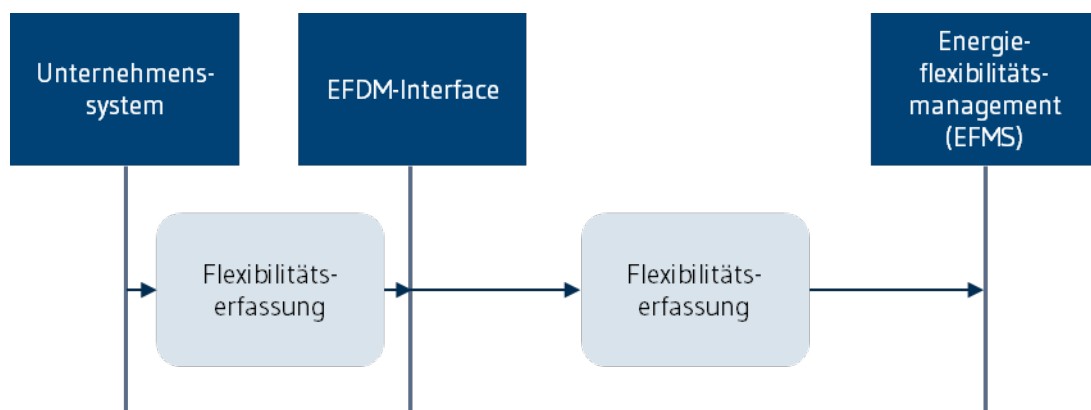


Abbildung 11: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätserfassung über das EFDM-Interface

2. Integration über Konnektoren mit EFDM-Mapping

Ein Konnektor bindet das Unternehmenssystem über dessen proprietäre Schnittstellen an und transformiert die bereitgestellten Daten in EFDM-konforme Flexibilitätsräume.

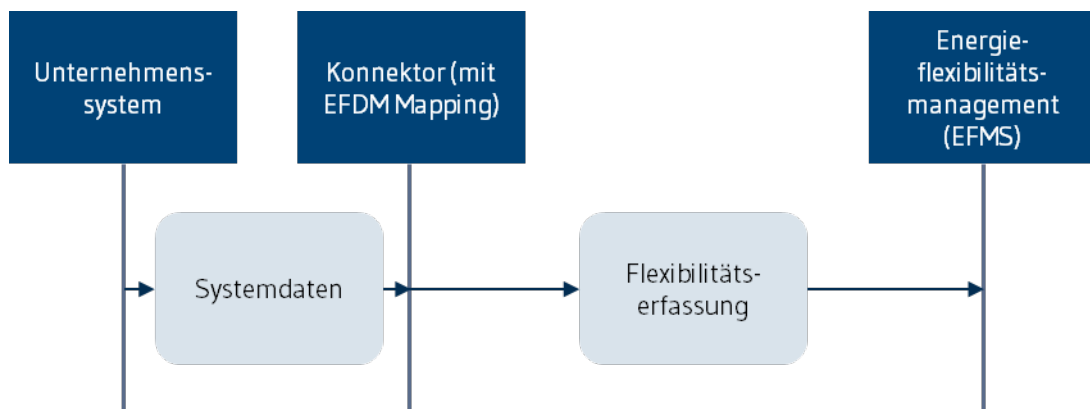


Abbildung 12: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätserfassung mit EFDM-Mapping

3. Integration über Konnektoren ohne EFDM-Mapping

Ein Konnektor übernimmt die technische Anbindung des Unternehmenssystems. Die fachliche Transformation in EFDM-Objekte erfolgt anschließend durch einen separaten EFDM-Mapping-Service, Middleware-Funktionen oder andere plattformspezifische Integrationsmechanismen.

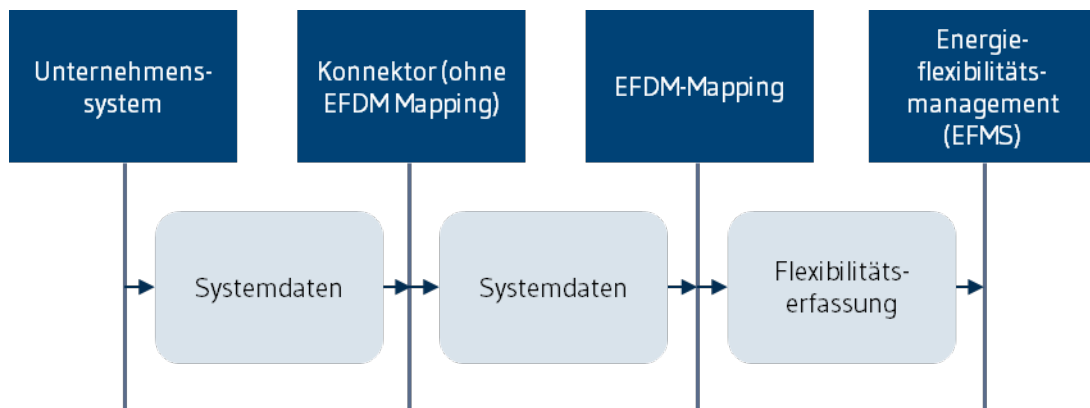


Abbildung 13: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätserfassung ohne EFDM-Mapping

Unabhängig vom gewählten Integrationspfad wird das Ergebnis der Flexibilitätserfassung in Form eines Flexibilitätsraums an den EFMS übergeben. Der EFMS übernimmt die Validierung, Persistierung, Versionierung und Bereitstellung der bereitgestellten Informationen. Damit bildet er die zentrale fachliche Instanz zur Verwaltung verfügbarer Energieflexibilität innerhalb der UP.

Der bereitgestellte Flexibilitätsraum kann initial unterschiedliche Zustände annehmen:

1. „draft“:
Der Flexibilitätsraum befindet sich noch in Erstellung oder Prüfung und steht noch nicht für nachgelagerte Prozesse zur Verfügung.
2. „available“:
Der Flexibilitätsraum ist fachlich vollständig, technisch nutzbar und kann für innerbetriebliche Optimierung oder externe Vermarktung verwendet werden.

Die Flexibilitätserfassung kann sowohl ereignisbasiert als auch zyklisch oder manuell angestoßen erfolgen. Typische Auslöser sind beispielsweise:

- Freigabe neuer Flexibilitätspotenziale
- Zeitbasierter Trigger bspw. einmal pro Stunde
- Änderungen im Produktionsplan
- Änderungen der Anlage (Anlagenzustände, Anlagenverfügbarkeiten)
- Aktualisierte Prognosen
- Änderungen interner Restriktionen

Durch die standardisierte Erfassung der Energieflexibilität schafft die UP Transparenz über verfügbare Potenziale und legt die Grundlage für alle weiteren Prozesse des energieflexiblen Fabrikbetriebs.

Tabelle 32: Informationsobjekt „Flexibilitätserfassung“

Informationsobjekt „Flexibilitätserfassung“		
Das Informationsobjekt der Flexibilitätserfassung basiert auf einem Flexibilitätsraum (FlexibilitySpace) im Format des EFDM. Es beschreibt das verfügbare Energieflexibilitätspotenzial eines Unternehmenssystems oder eines Systemverbunds und wird an den EFMS übertragen.		
Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation, Version, Ursprung, Änderungsinformationen	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	„draft“ oder „available“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.modelingScope	„operationalPotential“ oder „applicationTailoredPotential“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.externallyTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.autoTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.flexibleLoads	Enthaltene flexible Lasten	ja
flexibilitySpace.dependencies	Abhängigkeiten zwischen flexiblen Lasten	nein
flexibilitySpace.storages	Speicher bzw. speicherähnliche Potenziale	nein

Architektonische Hinweise zur Instanziierung

Bei der Ableitung konkreter Architektur-Instanzen sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Welche Unternehmenssysteme Flexibilität direkt als EFDM bereitstellen können
- Welche Systeme über Konnektoren integriert werden müssen
- Wo EFDM-Mapping technisch umgesetzt wird (Edge, Middleware, Service)
- Welche Qualitätsregeln vor dem Statuswechsel nach „available“ gelten
- Welche Frequenz und Latenz für die Flexibilitätserfassung erforderlich ist
- Wie Authentizität, Integrität und Nachvollziehbarkeit der Daten sichergestellt werden

Flexibilitätsvermarktung

Die Flexibilitätsvermarktung beschreibt den Anwendungsfall, bei dem innerhalb der UP verfügbare Energieflexibilität externen Vermarktungsservices oder direkt geeigneten Flexibilitätsmärkten bereitgestellt wird. Ziel ist es, wirtschaftlich nutzbare Flexibilitätspotenziale automatisiert oder teilautomatisiert am Markt zu platzieren, abzurufen, auszuführen und abzurechnen.

Grundlage der Vermarktung sind im Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS) gespeicherte Flexibilitätsräume, die sich im Zustand „available“ befinden und gemäß ihren Eigenschaften zur externen Nutzung freigegeben sind. Die Vermarktungskomponente übernimmt die Auswahl geeigneter Flexibilitätsräume, deren marktseitige Aufbereitung sowie die Kommunikation mit externen Vermarktungsservices. Dies können beispielsweise Aggregatoren, lokale Flexibilitätsmärkte oder weitere energiewirtschaftliche Marktakteure sein.

Die Vermarktungskomponente bildet dabei die fachliche und technische Entkopplung zwischen interner Flexibilitätslogik der UP und den Anforderungen externer Märkte. Sie übernimmt insbesondere:

- Auswahl geeigneter vermarktbaren Flexibilitäten
- Berücksichtigung marktspezifischer Anforderungen
- Transformation von EFDM-Objekten in marktseitige Datenmodelle
- Versand von Angeboten bzw. Inseraten
- Empfang von Reservierungen und Abrufen
- Rückführung in EFDM-konforme Objekte
- Verwaltung und Bereitstellung abrechnungsrelevanter Informationen

Die marktseitige Integration erfolgt über Marktadapter. Unterstützt ein Vermarktungsservice das EFDM direkt, kann ein standardisierter Adapter verwendet werden. Andernfalls erfolgt eine projektspezifische Transformation in proprietäre Formate.

Der Vermarktungsprozess gliedert sich fachlich in folgende Schritte:

1. Bereitstellung eines vermarktbaren Flexibilitätsraums
Ein geeigneter Flexibilitätsraum wird aus dem EFMS an die Vermarktungskomponente übergeben.
2. Platzierung eines Angebots
Der Flexibilitätsraum wird marktgerecht als Angebot veröffentlicht. Nach erfolgreicher Platzierung wird der Status auf „offered“ gesetzt.
3. Reservierung / Buchung
Ein Marktteilnehmer reserviert das Angebot. Der Status des Flexibilitätsraums wechselt auf „reserved“.

4. Abruf / Aktivierung

Auf Basis einer bestehenden Reservierung werden konkrete Flexible-Last-Maßnahmen angefordert. Diese werden als Flexible-Last-Maßnahmen-Paket an die ausführenden Systeme übermittelt. Der Flexibilitätsraum wechselt auf „measuresRequested“.

5. Ausführung und Protokollierung

Die Maßnahmen werden technisch umgesetzt und über Ausführungsprotokolle dokumentiert.

6. Abschluss und Abrechnung

Nach Abschluss wird eine Abrechnung erstellt und an die Marktseite übermittelt.

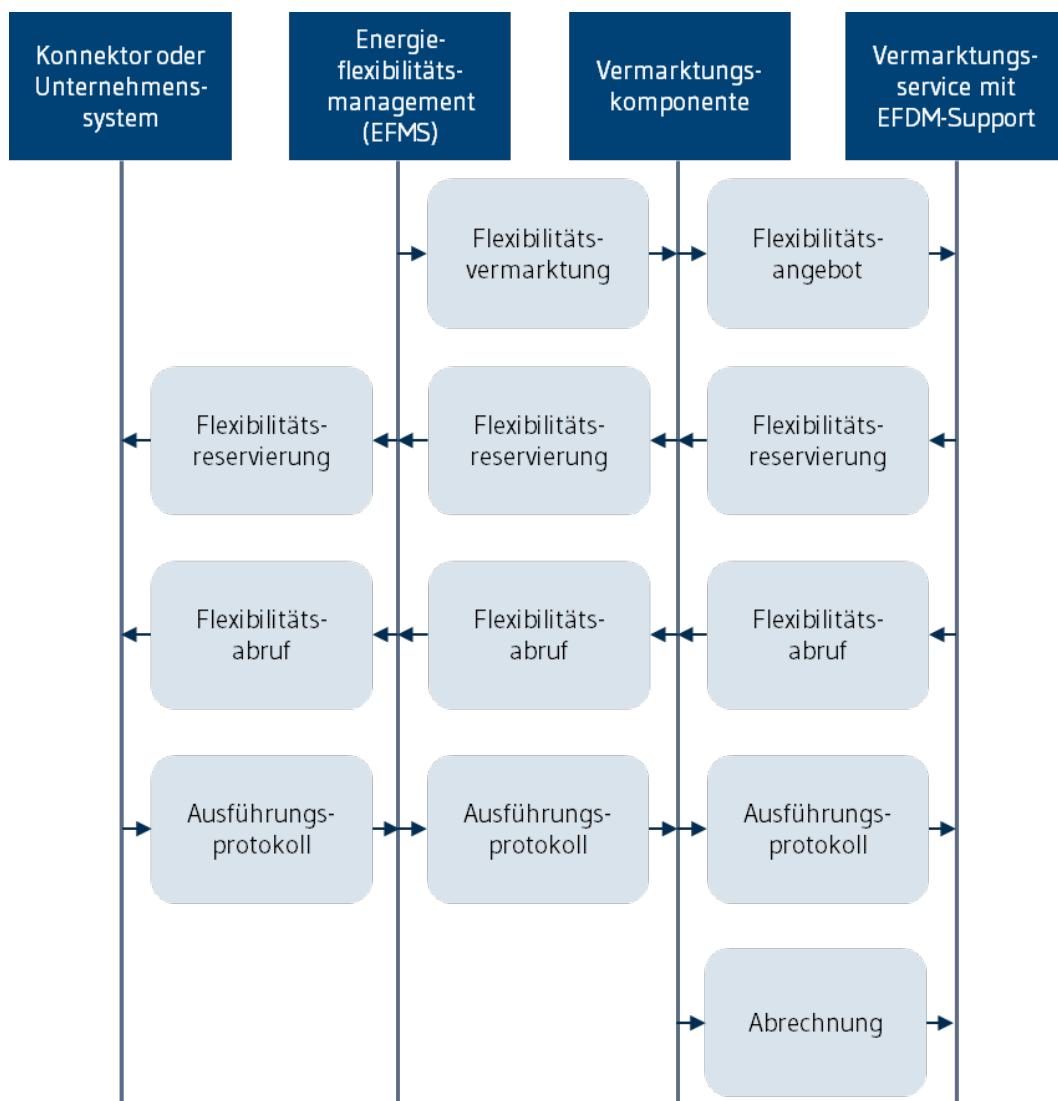


Abbildung 14: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätsvermarktung

Die Vermarktung kann vollständig automatisiert, teilautomatisiert oder manuell unterstützt erfolgen. Ob ein Flexibilitätsraum ohne manuelle Freigabe vermarktet werden darf, ergibt sich aus den im EFDM beschriebenen Eigenschaften, insbesondere autoTradeable.

Die konkrete technische Umsetzung der Kommunikation mit der Marktseite kann je nach Architektur-Instanz und Marktanforderungen synchron, asynchron, ereignisbasiert oder workflowgesteuert erfolgen.

Tabelle 33: Informationsobjekt „Flexibilitätsvermarktung“

Informationsobjekt „Flexibilitätsvermarktung“

Ein im EFMS gespeicherter Flexibilitätsraum wird der Vermarktungskomponente zur Prüfung und möglichen externen Nutzung bereitgestellt. Voraussetzung ist, dass sich der Flexibilitätsraum im Zustand „available“ befindet und gemäß seinen Eigenschaften für die externe Vermarktung freigegeben ist.

Besonders geeignet sind Flexibilitätsräume mit dem Modellierungsumfang „applicationTailoredPotential“, da diese bereits für einen konkreten Anwendungsfall (die Vermarktung) vorbereitet wurden. Alternativ kann die Vermarktungskomponente einen Flexibilitätsraum im Modellierungsumfang „operationalPotential“ weiterverarbeiten und marktgerecht aufbereiten, sofern hierfür die erforderlichen Kontextinformationen – insbesondere zum geplanten Referenzlastverlauf – verfügbar sind.

Die Vermarktungskomponente nutzt diese Informationen, um die Eignung für bestimmte Märkte zu bewerten und daraus marktgerechte Angebote abzuleiten.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation, Version, Ursprung	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	„available“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.modelingScope	„operationalPotential“ oder „applicationTailoredPotential“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.externallyTradeable	true	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.autoTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.flexibleLoads	Vermarktbbare flexible Lasten	ja
flexibilitySpace.dependencies	Abhängigkeiten zwischen flexiblen Lasten	nein
flexibilitySpace.storages	Speicher bzw. speicherähnliche Potenziale	nein

Tabelle 34: Informationsobjekt „Flexibilitätsangebot“

Informationsobjekt „Flexibilitätsangebot“

Ein zur Vermarktung geeigneter Flexibilitätsraum wird durch die Vermarktungskomponente – gegebenenfalls unter Nutzung eines Marktadapters – als Angebot an einen Vermarktungsservice oder Zielmarkt übermittelt.

Dabei stellt die Vermarktungskomponente sicher, dass das Angebot den jeweiligen Marktanforderungen entspricht. Dies kann beispielsweise Mindestleistungen, zeitliche Granularitäten, Reaktionszeiten, Preislogiken oder weitere regulatorische Anforderungen betreffen.

Vor dem Versand befindet sich der zugrunde liegende Flexibilitätsraum im Zustand available. Nach erfolgreicher Platzierung des Angebots am Markt wird sein Status im EFMS auf offered gesetzt.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation, Version, Ursprung	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	vor Versand „available“, nach Platzierung „offered“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.modelingScope	„operationalPotential“ oder „applicationTailoredPotential“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.externallyTradeable	true	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.autoTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.flexibleLoads	Marktgerecht strukturierte flexible Lasten inkl. Preisinformationen	ja

Tabelle 35: Informationsobjekt „Flexibilitätsreservierung“

Informationsobjekt „Flexibilitätsreservierung“

Eine Flexibilitätsreservierung beschreibt die Buchung eines zuvor angebotenen Flexibilitätsraums durch einen externen Nachfrager oder Vermarktungsservice. Dabei werden noch keine Flexible-Last-Maßnahmen gesendet.

Die Reservierung wird von der Marktseite an die Vermarktungskomponente übermittelt und innerhalb der UP an den EFMS weitergegeben. Der EFMS aktualisiert den Status des zugehörigen Flexibilitätsraums auf „reserved“ und informiert die verantwortlichen ausführenden Systeme bzw. deren Konnektoren.

Mit Erreichen dieses Zustands muss die reservierte Flexibilität für den vereinbarten Zeitraum bereitgehalten werden. Eine freie Rücknahme oder inhaltliche Änderung des Angebots ist ab diesem Zeitpunkt in der Regel nicht mehr zulässig.

Optional können ergänzende Prozessinformationen wie marktspezifische Vertragsdaten bis zur Vermarktungskomponente mitgeführt und dort gespeichert werden.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation des zu reservierenden Flexibilitätsraums	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	„reserved“	ja

Tabelle 36: Informationsobjekt „Flexibilitätsabruf“

Informationsobjekt „Flexibilitätsabruf“

Ein Flexibilitätsabruf beschreibt die konkrete Aktivierung einer zuvor reservierten Energieflexibilität.

Der Abruf wird in Form eines Flexible-Last-Maßnahmen-Pakets übermittelt, das eine oder mehrere Flexible-Last-Maßnahmen enthält. Jede Maßnahme beschreibt für eine definierte flexible Last ein auszuführendes Laständerungsprofil.

Das Maßnahmenpaket wird von der Marktseite über die Vermarktungskomponente an den EFMS übergeben und anschließend an die ausführenden Systeme weitergeleitet. Die enthaltenen Maßnahmen müssen den Status „toExecute“ tragen, damit die Ausführung gestartet werden kann.

Nach erfolgreicher Übernahme des Abrufs wird der zugehörige Flexibilitätsraum im EFMS in den Zustand „measuresRequested“ überführt.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibleLoadMeasurePackage.metadata	Identifikation des Maßnahmenpakets	ja
flexibleLoadMeasurePackage.flexibleLoadMeasures	1..n Maßnahmen	ja
flexibleLoadMeasure.flexibleLoadMeasureId	Eindeutige ID der Maßnahme	ja
flexibleLoadMeasure.flexibleLoadId	Referenz zur betroffenen flexiblen Last	ja
flexibleLoadMeasure.status	„toExecute“	ja
flexibleLoadMeasure.loadChangeProfile	Angefordertes Laständerungsprofil	ja
flexibleLoadMeasure.reward	Erwarteter Erlös / Vergütung	ja

Tabelle 37: Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll“

Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll“

Während der Durchführung angeforderter Flexible-Last-Maßnahmen werden Ausführungsprotokolle erzeugt und an die UP zurückgemeldet.

Ein Ausführungsprotokoll dokumentiert die tatsächliche Umsetzung der Maßnahme und enthält insbesondere gemessene Laständerungsprofile, Fehlermeldungen sowie gegebenenfalls realisierte Erlösinformationen.

Während der Durchführung befindet sich die jeweilige Maßnahme typischerweise im Zustand „inExecution“. Nach Abschluss wird anhand der protokollierten Ergebnisse der Endstatus bestimmt. Dieser kann beispielsweise „executed“, „partiallyExecuted“, „failed“ oder „canceled“ sein.

Die Ausführungsprotokolle bilden die Grundlage für Transparenz, Qualitätsbewertung, Monitoring sowie spätere Abrechnungsprozesse.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibleLoadMeasureExecutionLog.metadata	Identifikation des Protokolls	ja
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .flexibleLoadMeasureId	Referenz zu einer Flexible-Last-Maßnahme	ja
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .loadChangeProfile	Tatsächlich gemessenes Laständerungsprofil	Mindestens eines der beiden Objekte muss vorhanden sein
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .exceptions	Fehler- oder Abweichungsinformation	
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .reward	Realisierte Vergütung	ja

Tabelle 38: Informationsobjekt „Abrechnung“

Informationsobjekt „Abrechnung“

Auf Basis der angebotenen, reservierten, abgerufenen und tatsächlich erbrachten Energieflexibilität werden abrechnungsrelevante Informationen erzeugt.

Die Vermarktungskomponente konsolidiert hierzu die relevanten Prozessdaten und leitet daraus Vergütungen, Minderleistungen, Vertragsstrafen oder sonstige marktspezifische Abrechnungspositionen ab.

Die Kommunikation dieser Informationen erfolgt zwischen der Vermarktungskomponente, externen Vermarktungsservices sowie – falls erforderlich – internen Finanz-, ERP- oder Controlling-Systemen.

Das Abrechnungsobjekt ist kein originäres EFDM-Objekt, sondern ein geschäftsprozessbezogenes Informationsobjekt der jeweiligen Architektur-Instanz.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
references	Bezug zu Angebot, Reservierung, Abruf	ja
billingData	Vergütung, Minderleistung, Vertragsparameter	ja
logs	Protokollierte Ausführung	nein

Architektonische Hinweise zur Instanziierung

Bei der Ableitung konkreter Architektur-Instanzen sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Unterstützung verschiedener Markttrollen und Marktmodelle
- Adapterstrategie für EFDM-fähige und nicht EFDM-fähige Partner
- Umgang mit Teilreservierungen und Mehrfachabrufen
- Zeitkritische Abrufe und garantierte Zustellung
- Nachvollziehbarkeit für Audit, Marktkommunikation und Abrechnung
- Fehlerbehandlung bei verspäteter, teilweiser oder fehlerhafter Erbringung

Innerbetriebliche Optimierung

Die innerbetriebliche Optimierung beschreibt den Anwendungsfall, bei dem verfügbare Energieflexibilität zur Verbesserung betrieblicher Zielgrößen genutzt wird. Im Gegensatz zur externen Flexibilitätsvermarktung steht hierbei nicht die Erzielung direkter Markterlöse im Vordergrund, sondern die wirtschaftliche oder technische Optimierung interner Prozesse und Ressourcen.

Typische Zielstellungen der innerbetrieblichen Optimierung sind beispielsweise die Reduzierung von Lastspitzen, die Erhöhung des Eigenverbrauchs lokal erzeugter Energie, die Optimierung des Energiebezugs bei variablen Strompreisen oder die Lastverschiebung innerhalb zulässiger Produktionsgrenzen.

Grundlage der Optimierung sind im EFMS verfügbare Flexibilitätsräume, die durch Unternehmenssysteme, Maschinen, Anlagen oder übergeordnete Planungssysteme bereitgestellt wurden. Diese Flexibilitäten können durch interne Flexibilitätsnachfrager genutzt werden. Interne Nachfrager sind beispielsweise Lastmanagementsysteme, Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme, Optimierungsservices, Energiemanagementsysteme oder individuelle Analyse- und Planungsanwendungen.

Die UP koordiniert die Nutzung verfügbarer Flexibilitätspotenziale, verhindert Konflikte zwischen konkurrierenden Nutzungen und sorgt für einen nachvollziehbaren Ablauf. Die innerbetriebliche Optimierung nutzt weitgehend dieselben fachlichen Informationsobjekte wie die Flexibilitätsvermarktung. Die Semantik unterscheidet sich jedoch: Während bei der Vermarktung Angebot, Reservierung, Abruf und Abrechnung gegenüber externen Marktakteuren im Vordergrund stehen, werden bei der innerbetrieblichen Optimierung verfügbare Flexibilitäten intern ausgewählt, reserviert, abgerufen, ausgeführt und hinsichtlich ihrer Wirkung bewertet.

Der Prozess gliedert sich fachlich in folgende Schritte:

1. Bereitstellung verfügbarer Flexibilität
Flexibilitätsräume werden im EFMS verwaltet und internen Nachfragern zugänglich gemacht.
2. Auswahl
Ein interner Nachfrager wählt geeignete Flexibilitäten anhand definierter betrieblicher Zielgrößen aus.
3. Interne Reservierung
Zur konfliktfreien Nutzung wird die ausgewählte Flexibilität reserviert.
4. Abruf konkreter Maßnahmen
Zur Umsetzung werden Flexible-Last-Maßnahmen an ausführende Systeme übergeben.
5. Ausführung und Protokollierung
Die Systeme setzen die Maßnahmen um und melden die Ergebnisse über die Ausführungsprotokolle zurück.
6. Bewertung des Ergebnisses

Die tatsächliche Wirkung der Maßnahme wird auf Basis der Protokollierung ausgewertet.

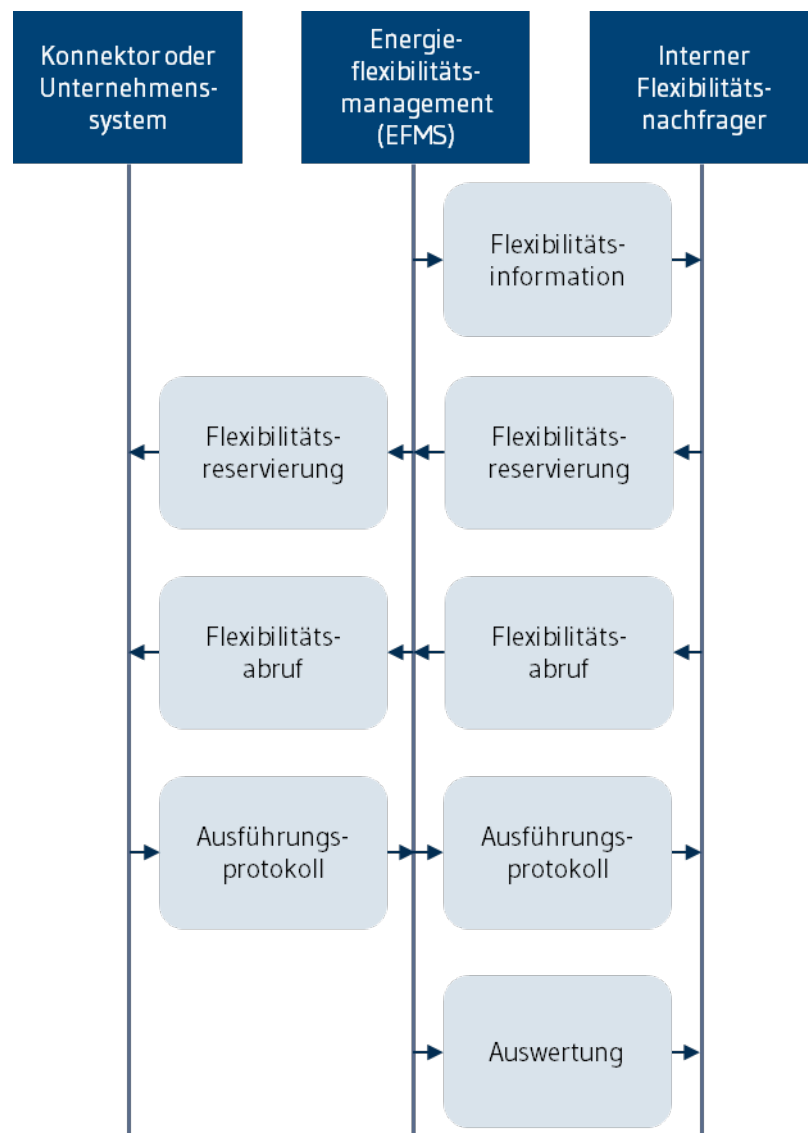


Abbildung 15: Kollaborationsdiagramm zur innerbetrieblichen Optimierung

Die konkrete technische Umsetzung der Kommunikation kann je nach Architektur-Instanz und Unternehmensanforderungen synchron, asynchron, ereignisbasiert oder workflowgesteuert erfolgen.

Tabelle 39: Informationsobjekt „Flexibilitätsinformation“

Informationsobjekt „Flexibilitätsinformation“

Ein interner Flexibilitätsnachfrager ruft im EFMS verfügbare Flexibilitätsräume zur Prüfung und möglichen innerbetrieblichen Nutzung ab. Voraussetzung ist, dass sich der Flexibilitätsraum im Zustand „available“ befindet und nicht bereits durch eine externe Vermarktung oder eine andere interne Nutzung reserviert ist.

Die Flexibilitätsinformation dient dem internen Nachfrager als Grundlage zur Bewertung, ob und in welchem Umfang ein Flexibilitätsraum für einen konkreten Optimierungszweck genutzt werden kann. Dabei sind insbesondere der Modellierungsumfang, die enthaltenen flexiblen Lasten, technische Abhängigkeiten sowie gegebenenfalls Speicherinformationen relevant.

Im Gegensatz zur Flexibilitätsvermarktung ist das Merkmal „externallyTradeable“ für die innerbetriebliche Optimierung nicht ausschlaggebend. Auch Flexibilitätsräume, die nicht für eine externe Vermarktung freigegeben sind, können intern genutzt werden.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation, Version, Ursprung	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	„available“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.modelingScope	„operationalPotential“ oder „applicationTailoredPotential“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.externallyTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.autoTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.flexibleLoads	Nutzbare flexible Lasten	ja
flexibilitySpace.dependencies	Abhängigkeiten zwischen flexiblen Lasten	nein
flexibilitySpace.storages	Speicher bzw. speicherähnliche Potenziale	nein

Tabelle 40: Informationsobjekt „Flexibilitätsreservierung (intern)“

Informationsobjekt „Flexibilitätsreservierung (intern)“

Eine interne Flexibilitätsreservierung beschreibt die verbindliche Zuordnung eines zuvor ausgewählten Flexibilitätsraums zu einem internen Flexibilitätsnachfrager. Dabei werden noch keine konkreten Flexible-Last-Maßnahmen übermittelt.

Die Reservierung wird vom internen Nachfrager an den EFMS übermittelt. Der EFMS aktualisiert den Status des zugehörigen Flexibilitätsraums auf „reserved“ und informiert die verantwortlichen ausführenden Systeme bzw. deren Konnektoren. Mit Erreichen dieses Zustands muss die reservierte Flexibilität für den vorgesehenen Zeitraum oder Nutzungskontext bereitgehalten werden.

Die interne Reservierung dient insbesondere der Vermeidung konkurrierender Nutzungen. Ab diesem Zeitpunkt darf der Flexibilitätsraum nicht mehr ohne weitere Prüfung für andere interne Optimierungen oder externe Vermarktungsprozesse verwendet werden.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation des zu reservierenden Flexibilitätsraums	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	„reserved“	ja

Tabelle 41: Informationsobjekt „Flexibilitätsabruf (intern)“

Informationsobjekt „Flexibilitätsabruf (intern)“

Ein interner Flexibilitätsabruf beschreibt die konkrete Aktivierung einer zuvor intern reservierten Energieflexibilität. Der Abruf wird in Form eines Flexible-Last-Maßnahmen-Pakets übermittelt, das eine oder mehrere Flexible-Last-Maßnahmen enthält. Jede Flexible-Last-Maßnahme beschreibt für eine definierte flexible Last ein auszuführendes Laständerungsprofil. Das Maßnahmenpaket wird vom internen Nachfrager über den EFMS an die ausführenden Systeme bzw. deren Konnektoren weitergegeben. Die enthaltenen Maßnahmen müssen den Status „toExecute“ tragen, damit die Ausführung gestartet werden kann.

Nach erfolgreicher Übernahme des Abrufs wird der zugehörige Flexibilitätsraum im EFMS in den Zustand „measuresRequested“ überführt. Im Unterschied zur externen Vermarktung steht beim internen Abruf nicht ein Markterlös im Vordergrund, sondern die Einsparung, die durch die Maßnahme erreicht werden kann.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibleLoadMeasurePackage.metadata	Identifikation des Maßnahmenpakets	ja
flexibleLoadMeasurePackage.flexibleLoadMeasures	1..n Maßnahmen	ja
flexibleLoadMeasure.flexibleLoadMeasureId	Eindeutige ID der Maßnahme	ja
flexibleLoadMeasure.flexibleLoadId	Referenz zur betroffenen flexiblen Last	ja
flexibleLoadMeasure.status	„toExecute“	ja
flexibleLoadMeasure.loadChangeProfile	Angefordertes Laständerungsprofil	ja
flexibleLoadMeasure.reward	Erwartete Einsparung	nein

Tabelle 42: Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll (intern)“

Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll (intern)“

Während der Durchführung angeforderter Flexible-Last-Maßnahmen werden Ausführungsprotokolle erzeugt und an die UP zurückgemeldet. Sie dokumentieren die tatsächliche Umsetzung der Maßnahme und ermöglichen den Vergleich zwischen angefordertem und realisiertem Laständerungsprofil.

Ein Ausführungsprotokoll enthält insbesondere das gemessene Laständerungsprofil sowie gegebenenfalls Fehler- oder Abweichungsinformationen. Während der Durchführung befindet sich die jeweilige Maßnahme typischerweise im Zustand „inExecution“. Nach Abschluss wird anhand der protokollierten Ergebnisse der Endstatus bestimmt. Dieser kann beispielsweise „executed“, „partiallyExecuted“, „failed“ oder „canceled“ sein.

Die Ausführungsprotokolle werden im EFMS gespeichert und können an den internen Nachfrager zurückgegeben werden. Sie bilden die Grundlage für die Bewertung, ob die Optimierungsmaßnahme fachlich erfolgreich war und in welchem Umfang die geplante Wirkung tatsächlich erreicht wurde.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibleLoadMeasureExecutionLog.metadata	Identifikation des Protokolls	ja
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .flexibleLoadMeasureId	Referenz zu einer Flexible-Last-Maßnahme	ja
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .loadChangeProfile	Tatsächlich gemessenes Laständerungsprofil	Mindestens eines der beiden

flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .exceptions	Fehler- oder Abweichungsinformation	Objekte muss vorhanden sein
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .reward	Realisierte Einsparung	ja

Tabelle 43: Informationsobjekt „Auswertung“

Informationsobjekt „Auswertung“

Auf Basis der angeforderten und tatsächlich umgesetzten Flexible-Last-Maßnahmen kann eine Auswertung der innerbetrieblichen Optimierung erstellt werden. Sie dient dazu, die Wirkung der Maßnahme fachlich, technisch oder wirtschaftlich zu bewerten.

Die Auswertung konsolidiert hierzu die relevanten Prozessdaten, insbesondere den ursprünglichen Flexibilitätsraum, die angeforderten Laständerungsprofile und die zurückgemeldeten Ausführungsprotokolle. Daraus können Zielerreichung, Abweichungen und betriebliche Auswirkungen abgeleitet werden.

Die Auswertung ist kein originäres EFDM-Objekt, sondern ein geschäftsprozessbezogenes Informationsobjekt der jeweiligen Architektur-Instanz. Sie kann durch den internen Nachfrager, ein Energiemanagementsystem oder ein angeschlossenes Controlling- bzw. Berichtssystem erzeugt und weiterverarbeitet werden.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
references	Bezug zu Flexibilitätsraum, Maßnahmen und Protokoll	ja
executionResult	Bewertung der tatsächlichen Ausführung und Zielerreichung	ja

Architektonische Hinweise zur Instanziierung

Bei der Ableitung konkreter Architektur-Instanzen sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Priorisierung konkurrierender interner Nachfrager
- Konfliktlösung zwischen interner Nutzung und externer Vermarktung
- Einbindung von Optimierern, EMS, PPS oder Lastmanagementsystemen
- Bewertung realer Einsparungen gegenüber Planwerten

Flexibilitätsaktualisierung

Die Flexibilitätsaktualisierung beschreibt den Anwendungsfall, bei dem bereits in der UP erfasste und im EFMS gespeicherte Flexibilitätsräume aufgrund veränderter technischer, betrieblicher oder wirtschaftlicher Rahmenbedingungen angepasst werden.

Ursachen für eine Aktualisierung können beispielsweise geänderte Produktionspläne, Maschinenzustände, Wartungsereignisse, neue Energieprognosen, veränderte Speicherzustände oder aktualisierte Kostenannahmen sein. Ziel der Aktualisierung ist es, dass in der UP jederzeit ein aktuelles und belastbares Abbild der tatsächlich verfügbaren Energieflexibilität vorliegt.

Die Aktualisierung betrifft insbesondere bereits bereitgestellte Flexibilitätsräume im Zustand „available“ oder „offered“. Befindet sich ein Flexibilitätsraum bereits im Zustand „reserved“ oder „measuresRequested“, ist eine freie Änderung in der Regel nicht mehr zulässig, da die Flexibilität bereits verbindlich zugesagt oder aktiviert wurde. In solchen Fällen sind stattdessen definierte Stornierungs- oder Fehlerprozesse anzuwenden.

Wird ein bereits vermarkteter Flexibilitätsraum im Status „offered“ aktualisiert, muss geprüft werden, ob diese Änderung Auswirkungen auf ein bestehendes Angebot hat. Ist dies der Fall, muss die Vermarktungskomponente die marktseitige Aktualisierung, Rücknahme oder Neuerstellung des Angebots veranlassen. Dabei sind die Regeln, Fristen und technischen Möglichkeiten des jeweiligen Vermarktungsservices oder Zielmarkts zu berücksichtigen.

Die Flexibilitätsaktualisierung erfüllt damit folgende zentrale Aufgaben:

- Sicherstellung aktueller und korrekter Flexibilitätsinformationen im EFMS
- Vermeidung der Nutzung veralteter oder nicht mehr verfügbarer Potenziale
- Synchronisation interner Änderungen mit externen Vermarktungsprozessen

Der Aktualisierungsprozess gliedert sich fachlich typischerweise in folgende Schritte:

1. Erkennung einer Änderung
Ein Unternehmenssystem, Konnektor oder interner Service erkennt geänderte Rahmenbedingungen.
2. Übermittlung des aktualisierten Flexibilitätsraums
Der aktualisierte Flexibilitätsraum wird an den EFMS übertragen.
3. Validierung und Statusprüfung
Der EFMS prüft, ob eine Aktualisierung im aktuellen Zustand zulässig ist.
4. Übernahme in das zentrale Repository
Der aktualisierte Flexibilitätsraum wird als neue Version übernommen. Die bisherige Fassung wird archiviert.
5. Folgeprozesse
Betroffene interne oder externe Nutzer werden informiert. Bei vermarkteten Flexibilitäten kann eine Angebotsanpassung erforderlich sein.

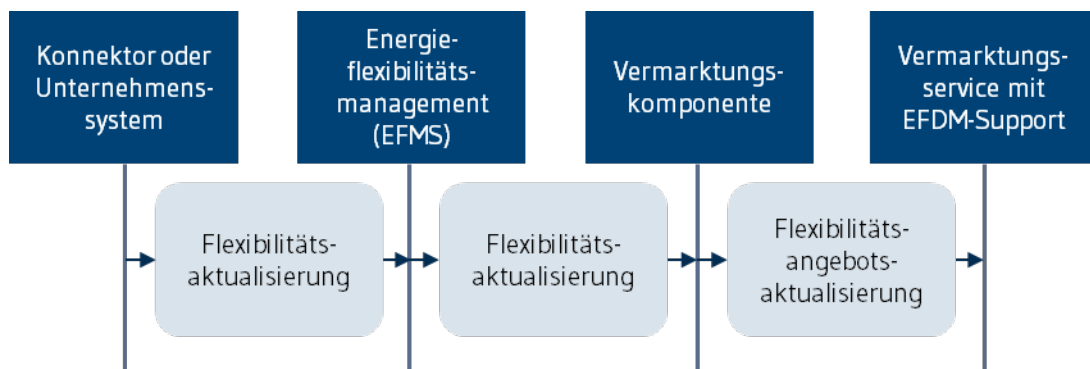


Abbildung 16: Kollaborationsdiagramm zur Flexibilitätsaktualisierung

Tabelle 44: Informationsobjekt „Flexibilitätsaktualisierung“

Informationsobjekt „Flexibilitätsaktualisierung“

Ein Unternehmenssystem, Konnektor oder interner Service übermittelt einen aktualisierten Flexibilitätsraum im EFDM-Format an den EFMS. Das Objekt beschreibt denselben fachlichen Flexibilitätskontext wie die bisherige Version, enthält jedoch geänderte technische, zeitliche oder wirtschaftliche Eigenschaften.

Vor der Übernahme prüft der EFMS, ob sich der Flexibilitätsraum in einem Zustand befindet, der eine Aktualisierung zulässt. Typischerweise ist dies im Zustand „draft“, „available“ oder – abhängig von Marktregeln – eingeschränkt im Zustand „offered“ möglich. Ab dem Zustand „reserved“ ist eine freie Änderung in der Regel nicht mehr zulässig.

Nach erfolgreicher Aktualisierung stellt der EFMS die neue Version für interne Nachfrager, die Vermarktungskomponente oder weitere betroffene Dienste bereit. Die vorherige Version wird archiviert.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation, Version, Ursprung	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	„draft“, „available“ oder eingeschränkt „offered“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.modelingScope	„operationalPotential“ oder „applicationTailoredPotential“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.externallyTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.autoTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.flexibleLoads	Aktualisierte flexible Lasten	ja
flexibilitySpace.dependencies	Aktualisierte Abhängigkeiten zwischen den flexiblen Lasten	nein
flexibilitySpace.storages	Aktualisierte Speicher, die durch flexible Lasten beeinflusst werden	nein

Tabelle 45: Informationsobjekt „Flexibilitätsangebotsaktualisierung“

Informationsobjekt „Flexibilitätsangebot“

Befindet sich zu einem Flexibilitätsraum bereits ein externes Angebot am Markt, kann eine interne Aktualisierung eine Anpassung dieses Angebots erforderlich machen. Die Vermarktungskomponente bewertet hierzu, ob die Änderungen marktseitig relevant sind und welche Folgeaktion notwendig ist.

Je nach Zielmarkt kann dies bedeuten:

- Aktualisierung eines bestehenden Angebots
- Rücknahme des bisherigen Angebots
- Neuerstellung eines Angebots
- Ablehnung der Aktualisierung bis zum Ablauf des Angebotszeitraums

Die Vermarktungskomponente stellt sicher, dass nur solche aktualisierten Flexibilitätsräume an die Marktseite kommuniziert werden, die weiterhin alle marktseitigen Anforderungen erfüllen.

Vor der marktseitigen Übermittlung befindet sich der Flexibilitätsraum typischerweise im Zustand „offered“. Nach erfolgreicher Anpassung bleibt dieser Zustand bestehen.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibilitySpace.metadata	Identifikation, Version, Ursprung	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.status	„offered“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.modelingScope	„operationalPotential“ oder „applicationTailoredPotential“	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.externallyTradeable	true	ja
flexibilitySpace.utilizationContext.trading.autoTradeable	true oder false	ja
flexibilitySpace.flexibleLoads	Marktgerecht aktualisierte flexible Lasten inkl. Preisen	ja

Architektonische Hinweise zur Instanziierung

Bei der Ableitung konkreter Architektur-Instanzen sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Versionierung und Historisierung aktualisierter Flexibilitätsräume
- Auswirkungen laufender Marktangebote auf Änderbarkeit
- Synchronisation zwischen EFMS, Vermarktungskomponente und internen Nachfragern
- Rückfallstrategien bei fehlgeschlagener Angebotsaktualisierung
- Nachvollziehbarkeit aller Änderungen für Monitoring und Abrechnung

Fehlerbehandlung

Die Fehlerbehandlung beschreibt den Anwendungsfall, bei dem innerhalb der UP Störungen, Abweichungen oder Ausfälle erkannt, bewertet, kommuniziert und prozesssicher behandelt werden. Ziel ist es, die Auswirkungen von Fehlern auf die Nutzung von Energieflexibilität zu begrenzen, Transparenz über den Fehlerzustand herzustellen und die Integrität laufender Geschäftsprozesse sicherzustellen.

Fehler können entlang des gesamten Lebenszyklus eines Flexibilitätsraums oder einer Flexible-Last-Maßnahme auftreten. Besonders relevant sind Fehler während der Ausführung bereits aktivierter Maßnahmen, denn diese können unmittelbare Auswirkungen auf zugesagte Leistungen, interne Optimierungsziele oder externe Vermarktungsverpflichtungen haben.

Typische Fehlerursachen sind unter anderem:

- technische Störungen an Maschinen, Anlagen oder Speichern
- Kommunikationsprobleme zwischen UP-Komponenten
- Zeitüberschreitungen, Latenzen oder Nichterreichbarkeit von Diensten
- fehlerhafte oder unvollständige Datenübertragungen
- Sicherheitsereignisse oder Zugriffsprobleme
- Abweichungen zwischen geplantem und realisiertem Laständerungsverhalten durch aufgetretene Fehler
- manuelle Eingriffe

Die Fehlerbehandlung umfasst dabei insbesondere folgende Aufgaben:

- Erkennung und Protokollierung von Fehlerereignissen
- Zuordnung des Fehlers zu betroffenen Flexibilitätsräumen oder Maßnahmen
- Bewertung der Auswirkungen auf Leistungserbringung und Zielerreichung
- Statusanpassung betroffener Objekte
- Information interner und externer Beteiligter
- Einleitung von Ersatz-, Abbruch- oder Rückfallmaßnahmen
- Berücksichtigung im Monitoring, Audit und in der Abrechnung

Je nach Fehlerbild kann eine Maßnahme trotz Störung erfolgreich abgeschlossen, nur teilweise erfüllt oder vollständig abgebrochen werden. Die Bewertung erfolgt anhand der Fehlerinformationen in den Ausführungsprotokollen.

Der Fehlerbehandlungsprozess gliedert sich fachlich typischerweise in folgende Schritte:

1. Erkennung des Fehlers
Ein ausführendes System, Konnektor oder interner Dienst erkennt eine Störung.
2. Meldung an die UP
Der Fehler wird über ein Ausführungsprotokoll an den EFMS gemeldet.
3. Bewertung der Auswirkungen

Es folgt eine Bewertung, ob der Fehler zu einer Verzögerung, Minderleistung, Teilumsetzung oder einem Abbruch führt.

4. Status- und Prozessreaktion

Betroffene Maßnahmen werden je nach Meldung fortgeführt, teilweise erfüllt, storniert oder auf „failed“ gesetzt.

5. Benachrichtigung relevanter Akteure

Interne Nachfrager, Vermarktungskomponente oder externe Vermarktungsservices werden informiert.

6. Abschluss und Nachverarbeitung

Fehlerfolgen werden in Monitoring, Analyse und gegebenenfalls Abrechnung berücksichtigt.

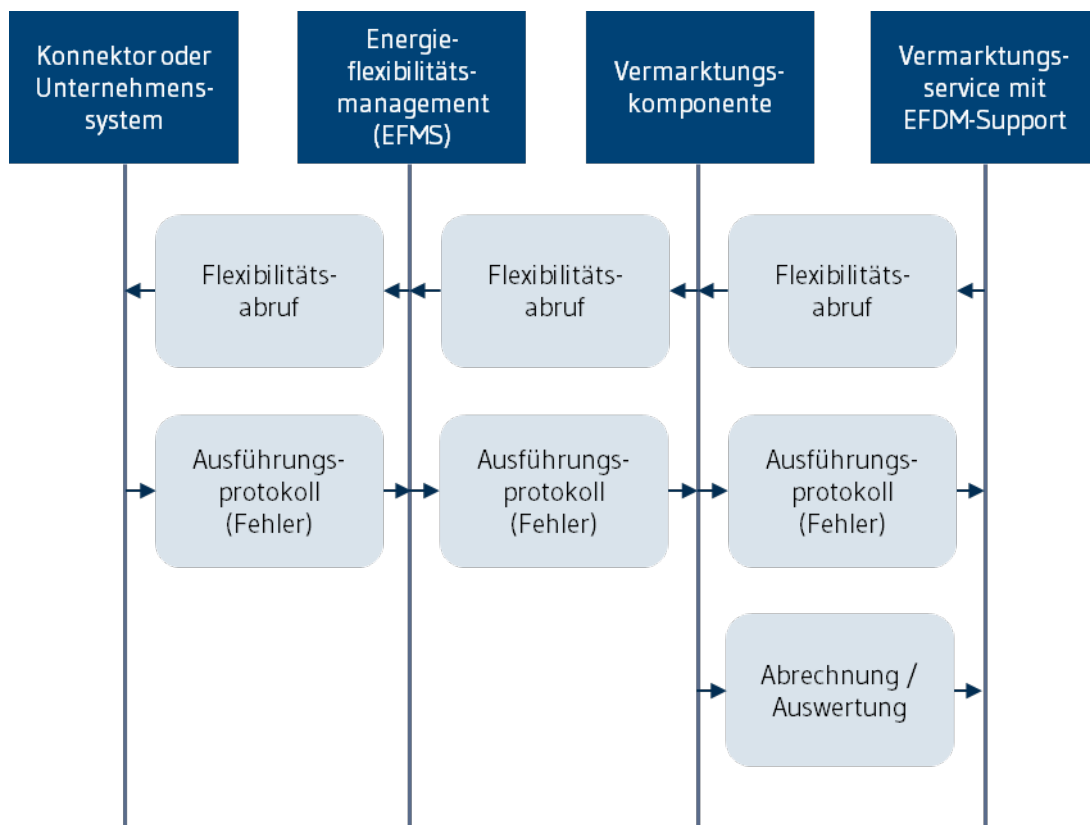


Abbildung 17: Kollaborationsdiagramm zur Fehlerbehandlung

Tabelle 46: Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll (Fehler)“

Informationsobjekt „Ausführungsprotokoll (Fehler)“

Ein Ausführungsprotokoll mit Fehlerbezug dokumentiert, dass während der Durchführung einer Flexible-Last-Maßnahme eine Störung, Abweichung oder Einschränkung aufgetreten ist. Es wird von ausführenden Systemen, Konnektoren oder nachgelagerten Services an den EFMS übermittelt.

Das Protokoll dient der strukturierten Erfassung des Fehlers sowie der fachlichen Bewertung seiner Auswirkungen auf die angeforderte Maßnahme. Neben der eigentlichen Fehlermeldung kann es bereits gemessene Teilverläufe des Laständerungsprofils enthalten, sofern die Maßnahme bereits begonnen wurde.

Auf Basis des Protokolls kann die jeweilige Flexible-Last-Maßnahme im Zustand „inExecution“ verbleiben, auf „partiallyExecuted“ wechseln oder unmittelbar auf „failed“ gesetzt werden. Erfolgt später eine weitere oder finale Rückmeldung, kann daraus der endgültige Zustand bestimmt werden.

Das Informationsobjekt bildet die Grundlage für Transparenz, Eskalation, Ursachenanalyse und gegebenenfalls marktseitige oder interne Folgeprozesse.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
flexibleLoadMeasureExecutionLog.metadata	Identifikation des Protokolls	ja
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .flexibleLoadMeasureId	Referenz zu einer Flexible-Last-Maßnahme	ja
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .loadChangeProfile	Optional bereits realisiertes Laständerungsprofil	nein
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .exceptions	Strukturierte Fehlermeldung / Störungsinformation	ja
flexibleLoadMeasureExecutionLog.logEntry .reward	Vorläufige oder reduzierte Vergütung / Einsparung	nein

Tabelle 47: Informationsobjekt „Abrechnung oder Auswertung (nach Fehler)“

Informationsobjekt „Abrechnung oder Auswertung (nach Fehler)“

Tritt im Rahmen einer vermarkteten oder intern bewerteten Flexibilitätsmaßnahme ein Fehler auf, müssen dessen Auswirkungen in der Ergebnisbewertung berücksichtigt werden.

Die Vermarktungskomponente oder ein interner Auswertungsservice konsolidiert hierzu die relevanten Prozessdaten aus Angebot, Reservierung, Abruf und fehlerbezogenen Ausführungsprotokollen. Daraus können reduzierte Vergütungen, Minderleistungen, Vertragsstrafen, Stornierungen oder interne Zielabweichungen abgeleitet werden.

Das Informationsobjekt ist kein originäres EFDM-Objekt, sondern ein geschäftsprozessbezogenes Objekt der jeweiligen Architektur-Instanz. Es kann zwischen Vermarktungskomponente, externen Vermarktungsservices sowie internen ERP-, Finanz- oder Controlling-Systemen ausgetauscht werden.

Bei rein innerbetrieblichen Optimierungen kann statt einer monetären Abrechnung auch eine Wirkungsbewertung im Vordergrund stehen, beispielsweise hinsichtlich verfehelter Lastreduktion oder nicht erreichter Einsparziele.

Eigenschaft	Erwartete Werte	Notwendig
references	Bezug zu Angebot, Reservierung, Abruf	ja
billingData	Erlös gem. Angebot bzw. Erlösminderung bei relevanter	ja

	Abweichung zwischen ausgeführtem und beauftragtem Laständerungsprofil	
logs	Fehler- und Ausführungsprotokolle	nein

Architektonische Hinweise zur Instanziierung

Bei der Ableitung konkreter Architektur-Instanzen sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Einheitliches Fehlermodell über alle Komponenten hinweg
- Korrelation technischer Fehler mit fachlichen Maßnahmen und Prozessen
- Zeitnahe Eskalation bei kritischen Markt- oder Produktionsereignissen
- Wiederholstrategien bei temporären Kommunikationsfehlern
- Transaktionssicherheit bei Teilfehlern in verteilten Prozessen

Persistenz- und Validierungskonzept des EFMS

Dieses Kapitel beschreibt exemplarisch, wie EFDM-Objekte innerhalb des Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS) persistiert, versioniert und validiert werden können. Ziel ist es, ein nachvollziehbares und konsistentes Datenmanagement für Energieflexibilität innerhalb der UP sicherzustellen.

Die dargestellten Konzepte dienen der Veranschaulichung möglicher Umsetzungsvarianten und stellen keine verbindliche technische Vorgabe für konkrete Architektur-Instanzen dar. Die konkrete technische Umsetzung – beispielsweise auf Basis dokumentenorientierter, relationaler oder hybrider Datenhaltungskonzepte – bleibt technologieoffen und ist abhängig von den Fähigkeiten und Anforderungen der jeweils eingesetzten IIoT-Plattform.

Im Mittelpunkt stehen dabei insbesondere:

- die strukturierte Persistenz von EFDM-Objekten,
- die Sicherstellung konsistenter Objektbeziehungen,
- die Validierung eingehender und aktualisierter Informationen,
- sowie die Versionierung und Archivierung.

Beispielhafte Persistenzstruktur des EFMS

Eine mögliche Umsetzung des EFMS kann die Verwaltung der EFDM-Objekte in mehreren logisch getrennten Collections oder Datenbereichen vorsehen. In einem dokumentenorientierten Datenbankmanagementsystem können beispielsweise folgende Collections verwendet werden:

Aktive Objekte

- *flexibilitySpaces*
- *flexibleLoadMeasurePackages*
- *flexibleLoadMeasureExecutionLogs*

Archivierte Objekte

- *flexibilitySpaces_archive*
- *flexibleLoadMeasurePackages_archive*
- *flexibleLoadMeasureExecutionLogs_archive*

Die aktiven Collections enthalten jeweils die aktuell gültigen und operativ relevanten Objekte. Die Archiv-Collections dienen der Historisierung und langfristigen Nachvollziehbarkeit früherer Zustände und Prozessverläufe.

Persistenz von Flexibilitätsräumen

Die Collection „*flexibilitySpaces*“ enthält die aktuell gültigen Flexibilitätsräume im Format des EFDM. Jeder Flexibilitätsraum beschreibt dabei ein verfügbares Energieflexibilitätspotenzial einschließlich seiner fachlichen Eigenschaften, Zustände und Restriktionen.

Wird ein Flexibilitätsraum aktualisiert, beispielsweise aufgrund geänderter Produktionsbedingungen, wird eine neue Version des Objekts gespeichert. Die zuvor gültige Version wird in die Collection „*flexibilitySpaces_archive*“ verschoben. Auf diese Weise bleibt die Entwicklung eines Flexibilitätsraums über den gesamten Lebenszyklus hinweg nachvollziehbar.

Ein Flexibilitätsraum verbleibt so lange in der aktiven Collection, wie er für operative Prozesse relevant ist. Dies umfasst insbesondere die Nutzung im Rahmen innerbetrieblicher Optimierung oder Vermarktung. Nach Abschluss seiner fachlichen Relevanz – beispielsweise durch Ablauf der zeitlichen Gültigkeit oder vollständige Ausschöpfung der enthaltenen Flexibilität – wird die finale Version archiviert.

Persistenz von Flexible-Last-Maßnahmen-Paketen

Die Collection „*flexibleLoadMeasurePackages*“ enthält alle Maßnahmenpakete, die im Rahmen eines Flexibilitätsabrufs erzeugt werden. Ein Maßnahmenpaket bündelt eine oder mehrere Flexible-Last-Maßnahmen und beschreibt die konkrete Aktivierung einer Energieflexibilität.

Die enthaltenen Flexible-Last-Maßnahmen referenzieren jeweils konkrete flexible Lasten eines zugehörigen Flexibilitätsraums. Dadurch entsteht eine Beziehung zwischen ursprünglichem Flexibilitätspotenzial und tatsächlich angeforderter Maßnahme.

Auch Maßnahmenpakete können im Verlauf ihres Lebenszyklus aktualisiert oder fortgeschrieben werden, beispielsweise durch Statusänderungen. Frühere Versionen werden dabei in die Collection „*flexibleLoadMeasurePackages_archive*“ überführt.

Persistenz von Ausführungsprotokollen

Die Collection „*flexibleLoadMeasureExecutionLogs*“ enthält die Ausführungsprotokolle zu den angeforderten Flexible-Last-Maßnahmen. Ein Ausführungsprotokoll dokumentiert die tatsächliche Umsetzung einer Maßnahme und dient der Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Bewertung der Ausführung.

Jeder Protokolleintrag bezieht sich auf genau eine Flexible-Last-Maßnahme. Während der Durchführung können mehrere Protokolleinträge entstehen, beispielsweise zur Dokumentation von Zwischenständen, Teilfortschritten oder Fehlerereignissen. Ein abschließender finaler Eintrag dokumentiert den Endzustand der Maßnahme und ermöglicht die Bewertung der tatsächlich realisierten Laständerung.

Nach Abschluss relevanter Folgeprozesse – insbesondere Abrechnung, Reporting oder Fehleranalyse – können ältere oder abgeschlossene Protokolle in die Collection „*flexibleLoadMeasureExecutionLogs_archive*“ überführt werden.

Validierung durch den EFMS

Der EFMS übernimmt eine zentrale Rolle bei der Sicherstellung von Datenqualität, Konsistenz und Nachvollziehbarkeit innerhalb der Unternehmensplattform. Vor der Persistierung oder Aktualisierung von EFDM-Objekten werden daher verschiedene fachliche und technische Validierungen durchgeführt.

Zunächst erfolgt eine Schema-Validierung der eingehenden Objekte. Dabei wird geprüft, ob die Struktur des jeweiligen Objekts den Anforderungen des EFDM entspricht. Dies umfasst insbesondere die Vollständigkeit notwendiger Attribute, die Einhaltung zulässiger Datentypen sowie die Validierung definierter Wertebereiche und Pflichtfelder.

Darüber hinaus prüft der EFMS die Konsistenz zwischen den einzelnen Objekten. Flexible-Last-Maßnahmen-Pakete müssen eindeutig einem vorhandenen Flexibilitätsraum zugeordnet werden können. Flexible-Last-Maßnahmen müssen auf existierende flexible Lasten innerhalb des referenzierten Flexibilitätsraums verweisen. Ebenso müssen Ausführungsprotokolle auf genau eine gültige Flexible-Last-Maßnahme referenzieren.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist die Sicherstellung der Eindeutigkeit aller relevanten Objekte. Der EFMS prüft insbesondere, dass UUIDs nicht mehrfach vergeben werden und keine widersprüchlichen Objektversionen entstehen.

Zusätzlich erfolgt eine Validierung der zulässigen Statusübergänge. Dabei wird geprüft, ob die Änderung eines Objektstatus fachlich zulässig ist. Die gültigen Statusübergänge ergeben sich aus den in der Referenzarchitektur beschriebenen Status-Workflows.

Durch diese Validierungsmechanismen stellt der EFMS sicher, dass nur konsistente und fachlich gültige Zustände innerhalb der Unternehmensplattform verarbeitet und persistiert werden.

Versionierung und Archivierung

Für alle EFDM-Objekte sollte eine Versionierung und Archivierung vorgesehen werden. Ziel ist die vollständige Nachvollziehbarkeit aller fachlich relevanten Änderungen und Prozesszustände innerhalb der UP.

Dies betrifft insbesondere:

- Änderungen an Flexibilitätsräumen,
- Anpassungen von Maßnahmenpaketen,
- sowie Statusänderungen im Verlauf der Prozessbearbeitung.

Durch die Trennung aktiver und archivierter Datenbestände können aktuelle Zustände effizient verarbeitet werden, während gleichzeitig historische Verläufe vollständig rekonstruierbar bleiben. Dies ist insbesondere relevant für:

- Monitoring,
- Fehleranalyse und Auditierung,
- Nachvollziehbarkeit von Markt- und Optimierungsprozessen,
- sowie Abrechnung, Reporting und regulatorische Nachweispflichten.

Das Persistenz- und Validierungskonzept bildet damit eine wesentliche Grundlage für die Integrität, Transparenz und langfristige Wartbarkeit der Unternehmensplattform.

Standardisierte Schnittstellen

Die Referenzarchitektur der UP erlaubt eine flexible Gestaltung interner Schnittstellen zwischen Komponenten. Für die Anbindung externer Systeme ist hingegen eine Standardisierung erforderlich, um Interoperabilität, Wiederverwendbarkeit und plattformübergreifende Integration sicherzustellen.

Zentrale Grundlage dieser Standardisierung ist das Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM), das als einheitliches Informationsmodell für den Austausch von Energieflexibilität dient.

Zu den wesentlichen Außenschnittstellen der UP zählen insbesondere:

- das EFDM-Interface zur Integration von EFDM-kompatiblen Unternehmenssystemen
- die Schnittstelle zu externen Vermarktungsservices

Dieses Kapitel beschreibt das EFDM-Interface als standardisierte Schnittstelle zur Integration von EFDM-kompatiblen Unternehmenssystemen, die als Flexibilitätsanbieter fungieren.

Kommunikationsparadigmen

Für die Spezifikation und Umsetzung standardisierter Schnittstellen werden drei grundlegende Kommunikationsmuster berücksichtigt.

Synchrone Kommunikation

Der Datenaustausch erfolgt über Funktionsaufrufe nach dem Request-Response-Prinzip.

Dieses Muster eignet sich insbesondere für:

- das gezielte Übermitteln von Daten (z. B. Flexibilitätsräume)
- das Abrufen von Informationen (z. B. Maßnahmenpakete)

Die Spezifikation erfolgt typischerweise über [OpenAPI](#).

Asynchrone Kommunikation

Der Datenaustausch erfolgt ereignisbasiert über Nachrichten. Systeme abonnieren relevante Events und reagieren darauf.

Dieses Muster eignet sich insbesondere für:

- Benachrichtigungen über neue oder geänderte Objekte
- Benachrichtigung bei Statusänderungen oder Prozessfortschritten

Die Spezifikation erfolgt typischerweise über [AsyncAPI](#).

Hybrider Ansatz

Der hybride Ansatz kombiniert synchrone und asynchrone Kommunikation.

Er ermöglicht:

- aktive Interaktion über APIs
- reaktive Verarbeitung über Events

Für das EFDM-Interface wird dieser Ansatz verwendet, da er sowohl die Integration klassischer IT-Systeme als auch eine effiziente, ereignisbasierte Prozesssteuerung unterstützt.

EFDM-Interface

Das EFDM-Interface stellt die standardisierte Schnittstelle zur Anbindung von Unternehmenssystemen dar, die Energieflexibilität im Format des EFDM bereitstellen oder verarbeiten können.

In der praktischen Umsetzung wird das EFDM-Interface in der Regel durch den Energieflexibilitätsmanagementservice (EFMS) bereitgestellt und um zusätzliche Operationen für UP-interne Dienste ergänzt. Fachlich ist das Interface jedoch unabhängig von der konkreten technischen Realisierung definiert.

Das Interface ermöglicht insbesondere:

- Übermittlung von Flexibilitätsräumen
- Empfang von Benachrichtigungen über Statusänderungen
- Bereitstellung und Abruf von Flexible-Last-Maßnahmen-Paketen
- Übermittlung von Ausführungsprotokollen

Damit bildet es die zentrale Integrationsschnittstelle zwischen externen Flexibilitätsanbietern und der UP.

Standardisierter Kommunikationsablauf

Der typische Kommunikationsablauf zwischen einem Unternehmenssystem und dem EFDM-Interface ist in Abbildung 18 dargestellt:

1. Bereitstellung von Flexibilität
Ein Unternehmenssystem übermittelt einen Flexibilitätsraum im EFDM-Format an die UP. Dabei kann es sich für Benachrichtigungen zu diesem Flexibilitätsraum registrieren.
2. Benachrichtigung bei Statusänderungen
Ändert sich der Status des Flexibilitätsraums (z. B. durch Reservierung), wird das angebundene System asynchron informiert. Das System kann daraufhin erforderliche Vorbereitungen treffen, beispielsweise das Bereithalten der Flexibilität.
3. Abruf und Ausführung von Maßnahmen
Werden Flexible-Last-Maßnahmen angefordert, erfolgt eine Benachrichtigung.

Das Unternehmenssystem ruft anschließend das zugehörige Maßnahmenpaket über die synchrone Schnittstelle ab.

4. Rückmeldung der Ausführung

Während (optional) und nach der Ausführung (notwendig) übermittelt das Unternehmenssystem Ausführungsprotokolle. Diese enthalten gemessene Laständerungsprofile und Fehler- oder Abweichungsinformationen. Die Rückmeldungen bilden die Grundlage für Monitoring, Bewertung und Abrechnung.



Abbildung 18: Kommunikationsverlauf zwischen Unternehmenssystem und EFDM-Interface

Spezifikation und Erweiterbarkeit

Die vollständige Spezifikation des EFDM-Interfaces wird in Form einer technischen [Online-Dokumentation](#) bereitgestellt.

Ergänzend können Architektur-Instanzen:

- zusätzliche Operationen für interne Dienste definieren
- projektspezifische Erweiterungen implementieren
- Konnektoren für nicht EFDM-native Systeme bereitstellen

Dabei ist sicherzustellen, dass die standardisierten Kernoperationen und Datenstrukturen unverändert unterstützt werden, um Interoperabilität zwischen verschiedenen Plattformen zu gewährleisten.

Ausblick

Die vorliegende Referenzarchitektur bietet eine fundierte Grundlage für die Planung, Implementierung und Weiterentwicklung von UP zur Nutzung industrieller Energieflexibilität. Gleichzeitig zeigt die praktische Anwendung, dass der Übergang von einer konzeptionellen Referenzarchitektur hin zu konkreten Architektur-Instanzen auf unterschiedlichen IIoT-Plattformen mit fachlichen, technischen und organisatorischen Herausforderungen verbunden ist.

Dieser Ausblick adressiert identifizierte Risiken und technische Schulden sowie potenzielle Maßnahmen zu deren Minimierung. Darüber hinaus werden zentrale Weiterentwicklungsperspektiven aufgezeigt, die für die langfristige Funktionalität, Skalierbarkeit, Interoperabilität und Zukunftsfähigkeit der Architektur von Bedeutung sind.

Risiken und technische Schulden

Die Identifikation technischer Schulden und potenzieller Risiken ist ein wesentlicher Bestandteil eines nachhaltigen Architekturmanagements. In der aktuellen Referenzarchitektur wurden insbesondere folgende Aspekte als relevante Herausforderungen identifiziert:

Tabelle 48: Risiken und technische Schulden

Risiko / technische Schuld	Beschreibung	Empfohlene Maßnahmen
Merge-/Split-Services nicht Teil der Kollaborationsbeschreibungen	Merge-/Split-Services sind in der Referenzarchitektur funktional beschrieben, jedoch nicht explizit in die Kollaborationsdiagramme und Prozessabläufe integriert. Dadurch bleibt offen, wie sich diese konkret auf Reservierung, Vermarktung, Abruf und Protokollierung auswirken.	Kurzfristig – Merge-/Split-Funktionalitäten müssen je Architektur-Instanz individuell umgesetzt werden. Mittelfristig – Erweiterung der Kollaborationsdiagramme um typische Merge-/Split-Prozesse. Langfristig – Standardisierung der Regeln und Zustandsübergänge für Teilräume und aggregierte Flexibilitätsräume sowie zugehöriger Maßnahmen und Ausführungsprotokolle.
Keine Details zu Marktadaptern für spezifische Vermarktungsservices / Märkte	Die Referenzarchitektur beschreibt Marktadapter bislang nur konzeptionell. Konkrete Referenzmuster für unterschiedliche Marktmodelle fehlen derzeit.	Kurzfristig – Marktadapter müssen projektspezifisch implementiert werden. Mittelfristig – Beschreibung typischer Marktintegrationsmuster für unterschiedliche Zielmärkte.
Abrechnung nicht konkretisiert	Unterschiedliche Märkte und Geschäftsmodelle erfordern variable Abrechnungsmodelle, beispielsweise leistungs-, zeit- oder erfolgsbasierte Vergütungen. Die Ableitung	Kurzfristig – Individuelle Umsetzung der Abrechnungslogik je Architektur-Instanz. Mittelfristig – Beschreibung von Abrechnungsvarianten und Referenzprozesse einschließlich ERP- / Controlling-Integration.

	abrechnungsrelevanter Informationen aus Ausführungsprotokollen ist derzeit nicht beschrieben.	
Fehlende Spezifikation des Vermarktungsservices mit EFDM-Support	Während das EFDM-Interface bereits spezifiziert ist, existiert für Vermarktungsservices bislang keine standardisierte Schnittstelle auf Basis des EFDM. Derzeit unterstützen bestehende Märkte oder Vermarktungsservices das EFDM nicht nativ.	Kurzfristig – Nutzung individueller Marktadapter und proprietärer Integrationen. Mittelfristig – Definition eines standardisierten Vermarktungsinterfaces auf Basis des EFDM.
Berücksichtigung neuer Datenräume	In der Energiewirtschaft entstehen zunehmend Datenökosysteme und Datenräume zur organisationsübergreifenden Vernetzung von Marktakteuren, beispielsweise im Kontext europäischer Gaia-X-Initiativen. Die Referenzarchitektur adressiert diese Entwicklungen bislang noch nicht.	Mittelfristig - Datenökosysteme wie energy data-X sollten im Kontext der Vernetzung zwischen UP und Vermarktungsservices sowie anderer Marktakteure betrachtet werden.

Perspektive

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Referenzarchitektur ist entscheidend, um neue technische Anforderungen, regulatorische Entwicklungen sowie Veränderungen in Energiemärkten und industriellen Prozessen adressieren zu können.

Es ergeben sich folgende zentrale Entwicklungsperspektiven:

1. Weiterentwicklung des EFDM

Das EFDM sollte weiterhin als zentrales Datenmodell zur Beschreibung von Energieflexibilität ausgebaut werden. Ziel ist eine möglichst vollständige, konsistente und interoperable Abbildung aller relevanten fachlichen Informationen, um zusätzliche plattformspezifische Erweiterungen zu minimieren und die Wiederverwendbarkeit von Services und Schnittstellen zu erhöhen.

2. Ausbau der Standardisierung

Die Standardisierung sollte insbesondere in den Bereichen Vermarktungsschnittstellen, Abrechnung, Integrationsmechanismen und Kommunikationsprozesse weiter vorangetrieben werden. Ziel ist eine durchgängige Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Plattforminstanzen, Marktakteuren und technischen Diensten.

3. Integration in Plattform- und Datenökosysteme

Die Einbindung von Unternehmensplattformen in übergreifende Datenräume und Plattformökosysteme wird zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen. Dies betrifft insbesondere die standardisierte organisationsübergreifende Kommunikation zwischen Industrieunternehmen, Netzbetreibern, Aggregatoren, Energieversorgern und weiteren Marktakteuren.

4. Flexibilitätsmärkte und neue Geschäftsmodelle

Mit der Weiterentwicklung von Flexibilitätsmärkten entstehen neue Anforderungen an Abrufe, Preisbildung, Markttrollen und automatisierte Handelsmechanismen. Die Referenzarchitektur sollte für diese Entwicklungen flexibel adaptierbar bleiben.

5. Plattformübergreifende Interoperabilität:

Zukünftig wird die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Unternehmensplattformen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dies betrifft insbesondere den standardisierten Austausch von Flexibilitätsinformationen, Maßnahmen und Zuständen zwischen verschiedenen Plattforminstanzen und Marktakteuren. Die Referenzarchitektur bildet hierfür die Grundlage eines offenen und interoperablen Plattformökosystems.

6. KI-gestützte Optimierung

Mit zunehmender Verfügbarkeit von Energiedaten und Flexibilitätspotenzialen gewinnen automatisierte Optimierungsverfahren sowie KI-gestützte Entscheidungsmechanismen an Bedeutung. Die Referenzarchitektur schafft hierfür die strukturellen Voraussetzungen, indem sie standardisierte Informationsobjekte, nachvollziehbare Prozesse und interoperable Integrationsmechanismen bereitstellt.

Langfristig schafft die Referenzarchitektur die Grundlage für eine Harmonisierung bestehender Lösungen und die Entwicklung eines interoperablen Ökosystems für industrielle Energieflexibilität. Unternehmen können dadurch zwischen unterschiedlichen Plattformanbietern wählen oder eigene Architektur-Instanzen auf Basis bestehender IIoT-Plattformen umsetzen. Gleichzeitig ermöglicht die Standardisierung die Entwicklung wiederverwendbarer Services, Integrationslösungen und Marktmechanismen.

Damit leistet die Referenzarchitektur einen wesentlichen Beitrag dazu, dass industrielle Energieflexibilität zukünftig einen signifikanten Beitrag zur Stabilisierung, Digitalisierung und Transformation des Energiesystems leisten kann.

Literatur

- [1] Sauer, A.; Abele, E.; Buhl, H. U. (2019): Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung - SynErgie. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- [2] Sauer, A.; Buhl, H.U.; Mitsos; Weigold, M. (2022): Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Band 2: Markt- und Stromsystem, Managementsysteme und Technologien energieflexibler Fabriken. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- [3] VDI-Richtlinie 5207 Blatt 1: VDI 5207 Blatt 1. Online verfügbar unter: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-5207-blatt-1-energieflexible-fabrik-grundlagen>.
- [4] VDI-Richtlinie 5207 Blatt 2: VDI 5207 Blatt 2. Online verfügbar unter: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-5207-blatt-2-energieflexible-fabrik-identifikation-und-technische-bewertung>.
- [5] VDI-Richtlinie 5207 Blatt 3: VDI 5207 Blatt 3. Online verfügbar unter: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-5207-blatt-3-energieflexible-fabrik-it-infrastruktur-zum-betrieb-energieflexibler-fabriken>.
- [6] Roth, S.; Schlereth, A. (2022): Leitfaden zur Energiesynchronisationsplattform. Version 1.0. Kopernikus Projekt SynErgie. Online verfügbar unter: <https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/SynErgie-ESP-Leitfaden.pdf>.
- [7] Oeder, A.; Winter, C.; Ahrens, R. (2022): Security Guide v. 1.0. Kopernikus Projekt SynErgie. Online verfügbar unter: <https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/SynErgie-Security-Guide.pdf>.
- [8] Schlereth, A.; Kaymakci, C.; Haffennegger, E.; Birkle, T.; Stöhr, M.; Winter, C.; Tordy, R.; Grigorjan, A.; Pelger, P.; Schel, D.; Laube, P.; Bauernhansl, T.; Sauer, A. (2024): An Architectural Blueprint for Digital Energy Platforms in Industrial Energy Flexibility Applications. In: Herberger, David (Hrg.) u.a.: *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics*: 9th – 12th July 2024 College of Engineering – University of Hawai'i at Mānoa Honolulu, Hawaii, USA. publish-Ing., 2024, S. 270-281. Online verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.15488/17719>.
- [9] Fridgen, G.; Potenciano Menci, S.; van Stiphoudt, C.; Schilp, J.; Köberlein, J.; Bauernhansl, T. et al. (2021): Referenzarchitektur der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642369>.
- [10] Buhl, H. U.; Duda, S.; Schott, P.; Weibelzahl, M.; Wenninger, S.; Fridgen, G. et al. (2021): Energieflexibilitätsdatenmodell der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642370>.
- [11] Schilp, J.; Bank, L.; Köberlein, J.; Bauernhansl, T.; Sauer, A.; Kaymakci, C. et al. (2021): Optimierung auf der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642371>.

- [12] Oeder, A.; Ronge, K.; Schimmelpfennig, J.; Winter, C.; Ahrens, R. (2021): IT-Sicherheit der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642372>
- [13] Bauernhansl, T.; Sauer, A.; Kaymakci, C.; Schlereth, A.; Schilp, J.; Kalchschmid, V. et al. (2021): Demonstratoren der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.24406/IGCV-N-642373>.
- [14] Schlereth, A.; Stöhr, M.; Kaymakci, C.; Drießen, E.; Birkle, T.; Tordy, R.; Junge, J.; Winter, C.; Schimmelpfennig, J. (2025): Leitfaden für die Umsetzung energieflexibler IIoT-Plattformen – Schritt für Schritt von der eigenen IIoT-Plattform zur energieflexiblen SynErgie-Unternehmensplattform. <https://synergie-projekt.de/news/leitfaden-fuer-die-umsetzung-energieflexibler-iiot-plattformen>.
- [15] EFDm-GUI (2024). Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15799936>.
- [16] Flexmarkt SynErgie (2024). Online verfügbar unter: <https://flexmarkt.synergie-projekt.de/login>.
- [17] Flex-Tool SynErgie (2022). Online verfügbar unter: <https://flextool.sng.cell.vfk.fraunhofer.de/start>.
- [18] Prognose-Service (2022). Online verfügbar unter: <https://prog.sng.cell.vfk.fraunhofer.de/>.
- [19] Schnell-Check-Tool (2022). Online verfügbar unter: <https://schnell-check.synergie-projekt.de/Home>.
- [20] Marktzugang und Präqualifikation: Regelreserven (2024). Online verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/de-de/Infos-f%C3%BCr-Anbieter/Wie-werde-ich-Regelenergieanbieter-Pr%C3%A4qualifikation>.
- [21] Schlereth, A. (2022): Energiesynchronisationsplattform – Energieflexibilität nutzen und zur Energiewende beitragen. Fraunhofer IPA. Online verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=rPhHICR6Tec>.
- [22] SynErgie-Projekt (2024). Online verfügbar unter: <https://synergie-projekt.de/>.