

## Masterarbeit

Thema: **Entwicklung von Angebotsmatchingmechanismen für einen Flexibilitätsmarkt**

Ausarbeitung: Hochschule Darmstadt (h\_da)  
Fachbereich Elektro- und Informationstechnik (EIT)

Bearbeiterin: Carola Ochs (723421)

Referent: Prof. Dr. Klaus-Martin Graf

Korreferentin: Prof. Dr. Kerstin Hooß

Abgabe am: 07.Juni.2016





## INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VI
1 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	- 1 -
2 Einleitung .....	- 3 -
2.1 Politische und rechtliche Rahmenbedingungen .....	- 3 -
2.2 Entwicklung des Stromversorgungsystems .....	- 5 -
2.3 Resultierende Notwendigkeit für dezentrale Flexibilitätsmärkte.....	- 6 -
3 Bestehende Handelsplätze.....	- 8 -
3.1 Marktmodelle .....	- 8 -
3.2 Handelsformen und ihre Preisbildungsverfahren .....	- 11 -
3.2.1 Periodischer Handel .....	- 11 -
3.2.2 Kontinuierlicher Handel .....	- 14 -
3.3 Stromhandel an der EEX.....	- 16 -
3.3.1 Handelsverfahren am Spotmarkt.....	- 17 -
3.3.2 Handelsverfahren am Terminmarkt.....	- 20 -
3.3.3 Matchingprozesse im Auktionshandel.....	- 22 -
3.3.4 Matchingprozesse im kontinuierlichen Handel.....	- 26 -
3.4 Bereitstellung und Handel von Regelenergie .....	- 33 -
3.4.1 Primärregelenergie .....	- 36 -
3.4.2 Sekundärregelenergie.....	- 37 -
3.4.3 Minutenreserve.....	- 38 -
4 Flex4Energy.....	- 40 -
4.1 Projektrahmen .....	- 40 -
4.2 Marktkonzept.....	- 42 -
4.3 Marktteilnehmer und FHP-Nutzer .....	- 44 -
4.4 Flexibilitäten .....	- 48 -
4.5 Flexibilitätsprodukte .....	- 53 -
5 Matchingkonzepte für Flexibilitätsmärkte.....	- 58 -
5.1 Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen .....	- 60 -
5.1.1 Handelsverfahren im Ausschreibungsmarkt.....	- 61 -
5.1.2 Angebotsauswahl .....	- 65 -



5.2	Kontinuierlicher Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte .....	- 68 -
5.2.1	Handelsverfahren im kontinuierlichen Handelsmarkt .....	- 68 -
5.2.2	Anfrage- und Angebotsauswahl .....	- 71 -
5.2.3	Abbildung der Systemrelevanz .....	- 80 -
6	Flexibilitätshandel an der FHP .....	- 82 -
6.1	Gebotsspezifisches Orderbuch .....	- 84 -
6.2	Angebots- und Anfrageprozesse .....	- 85 -
6.2.1	Angebote .....	- 86 -
6.2.2	Anfragen .....	- 91 -
6.2.3	Plausibilitätsprüfung .....	- 94 -
6.3	Matchingprozess .....	- 97 -
6.3.1	Matchingreihenfolge der Anfragen .....	- 99 -
6.3.2	Datenbankabfrage .....	- 101 -
6.3.3	Preisbildung .....	- 104 -
6.4	Geschäftsschlussprozess .....	- 106 -
7	Fazit und Ausblick .....	- 108 -
	Anhang 1 Verwendete Notation .....	- 115 -
	Anhang 1.1 Notation von Flussdiagrammen .....	- 115 -
	Anhang 1.2 Notation von Sequenzdiagrammen .....	- 117 -
	Anhang 2 Ergänzende Sequenzdiagramme .....	- 118 -
	Anhang 2.1 Ablaufsequenz zur Prüfung der Zulassung der Teilerfüllung .....	- 118 -
	Anhang 2.2 Ablaufsequenz zur Priorisierung von Geboten .....	- 118 -
	Anhang 2.3 Ablaufsequenz zur Filterung der Angebote nach Angebotsforderungen .....	- 119 -
	Anhang 2.4 Ablaufsequenz zur Filterung der Angebote nach Kategorien .....	- 119 -
	Anhang 2.5 Deaktivierungsprozess korrelierender Angebote .....	- 120 -
	Literaturverzeichnis .....	- 121 -

## Abkürzungsverzeichnis

AON	<i>All-or-nothing</i>
AP	<i>Arbeitspreis</i>
API	<i>Application programming interface</i>
BMWi	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</i>
bne	<i>Bundesverband Neue Energiewirtschaft</i>
BPMN	<i>Business Process Modelling Notation</i>
DB	<i>Datenbank</i>
ECC	<i>European Commodity Clearing</i>
EEX	<i>European Energy Exchange</i>
EOM	<i>Energy Only Market</i>
EU	<i>Europäische Union</i>
FA	<i>Flexibilitätsanlage</i>
FHP	<i>Flexibilitätshandelsplattform</i>
FMS	<i>Flexibilitätsmanagementsystem</i>
FOK	<i>Fill-or-kill</i>
ID	<i>Identifikationsnummer</i>
IOC	<i>Immediate-or-cancel</i>
LP	<i>Leistungspreis</i>
MCP	<i>Market Clearing Price</i>
MMI	<i>Machine-Machine-Interface</i>
OKA	<i>One-kills-all</i>
OTC	<i>Over the counter</i>
PFM	<i>Portfoliomanagementsystem</i>
Phelix	<i>Physical Electricity Index</i>
RP	<i>Referenzpreis</i>
SOC	<i>State of Charge</i>
ÜNB	<i>Übertragungsnetzbetreiber</i>
VDE	<i>Verband Der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik</i>
VNB	<i>Verteilnetzbetreiber</i>
Web-UI	<i>Web-User-Interface</i>
ZDM	<i>Zählerdatenmanagement</i>



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Produktmerkmale im Regelenergiemarkt .....	- 39 -
Tabelle 2: Übersicht der Flexibilitätsprodukte .....	- 57 -
Tabelle 3: Angebotsparameter .....	- 88 -
Tabelle 4: Flexibilitätspool .....	- 89 -
Tabelle 5: Anfrageparameter .....	- 92 -
Tabelle 6: Lokalitätswertigkeitsstufen .....	- 93 -
Tabelle 7: Übersicht über den weiterführenden Handlungs- und Forschungsbedarf.....	- 113 -

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vertragsbeziehungen im OTC-Markt .....	- 9 -
Abbildung 2: Vertragsbeziehungen an der Börse.....	- 9 -
Abbildung 3: Preisermittlung im Einheitspreisverfahren .....	- 13 -
Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau eines Orderbuches .....	- 15 -
Abbildung 5: Organisationsstruktur EEX .....	- 17 -
Abbildung 6: Strommärkte an der EPEX Spot .....	- 18 -
Abbildung 7: Orderbuchansicht der EPEX Spot .....	- 20 -
Abbildung 8: Preisermittlung nach dem Meistausführungsprinzip .....	- 23 -
Abbildung 9: Preisermittlung unter Market Orders .....	- 24 -
Abbildung 10: Auftragslage ohne ausführbare Orders.....	- 24 -
Abbildung 11: Übersicht der Preisermittlung im Auktionshandel.....	- 25 -
Abbildung 12: Ausführbare Aufträge im Auktionshandel.....	- 26 -
Abbildung 13: Orderbuch ohne ausführbare Limit Orders.....	- 28 -
Abbildung 14: Orderbuch mit ausführbaren Limit Orders .....	- 29 -
Abbildung 15: Orderbuch mit ausführbaren Limit und Market Orders zum Referenzpreis ...	- 29 -
Abbildung 16: Orderbuch mit ausführbaren Limit und Market Orders zum besten Kauflimit .....	- 30 -
Abbildung 17: Orderbuch mit ausführbaren Market Orders zum besten Verkaufslimit .....	- 30 -
Abbildung 18: Übersicht der Preisbildungsregeln im kontinuierlichen Handel.....	- 32 -
Abbildung 19: Stufenkonzept der Regelenergiebereitstellung .....	- 34 -
Abbildung 20: Ausschreibung im Regelenergiemarkt .....	- 35 -
Abbildung 21: Überblick über die FHP und ihre Nutzer .....	- 44 -
Abbildung 22: Vertragsverhältnisse zwischen Betreiber und FHP-Nutzer.....	- 45 -
Abbildung 23: Beschreibung der Flexibilitätsqualität mit Hilfe von Flexibilitätsquadranten	- 49 -
Abbildung 24: Beschreibung der Flexibilitätsquantität – Höhe der Leistungsänderung.....	- 50 -
Abbildung 25: Beschreibung der Flexibilitätsquantität – Zeitdauer der Leistungserbringung .....	- 51 -
Abbildung 26: Aufbau einer Zählpunktbezeichnung.....	- 52 -
Abbildung 27: Grundprinzip der Spannungsregelung .....	- 55 -
Abbildung 28: Differenzierung von Kategorien, Prioritätskriterien und Angebotsanforderungen .....	- 58 -
Abbildung 29: Orderbucheintragung nach Kategorien, Angebotsanforderungen und Prioritätskriterien .....	- 60 -
Abbildung 30: Überprüfungsprozess von Angeboten im Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen .....	- 63 -
Abbildung 31: Vergabefristen im Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen .....	- 64 -



Abbildung 32: Prioritätssequenz im Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen.....	- 67 -
Abbildung 33: Produktspezifisches Orderbuch .....	- 69 -
Abbildung 34: Produktspezifisches Orderbuch .....	- 70 -
Abbildung 35: Prioritätssequenz im kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte (Beispiel 1) .....	- 75 -
Abbildung 36: Prioritätssequenz im kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte (Beispiel 2).....	- 77 -
Abbildung 37: Gewichteter Prioritätsschlüssel im kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte .....	- 79 -
Abbildung 38: Priorisierung nach Produkttyp .....	- 80 -
Abbildung 39: Gebotssuche in Reihenfolge der Produkttypen.....	- 81 -
Abbildung 40: Prozessablauf des Flexibilitätshandels an der FHP .....	- 83 -
Abbildung 41: Angebots- und Anfrageprozesse an der FHP .....	- 85 -
Abbildung 42: Ablaufsequenz der Plausibilitätsprüfung von Angeboten .....	- 94 -
Abbildung 43: Ablaufsequenz der Plausibilitätsprüfung von Anfragen .....	- 95 -
Abbildung 44: Matchingprozess an der FHP .....	- 97 -
Abbildung 45: Ablaufsequenz zur Festlegung der Matchingreihenfolge von Anfragen.....	- 99 -
Abbildung 46: Ermittlung der Matchingreihenfolge von Anfragen .....	- 100 -
Abbildung 47: Datenbankabfrage im Matchingprozess der FHP .....	- 101 -
Abbildung 48: Ablaufsequenz des Matchings einer Anfrage mit mehreren Angeboten.....	- 103 -
Abbildung 49: Matching einer Anfrage mit mehreren Angeboten zum Anfragelimit .....	- 104 -
Abbildung 50: Matching einer Anfrage mit mehreren Angeboten zu unterschiedlichen Preislimits .....	- 105 -
Abbildung 51: Übersicht der Preisbildungsregeln an der FHP .....	- 105 -
Abbildung 52: Geschäftsschlussprozess an der FHP .....	- 106 -
Abbildung 53: Vertragsabschluss an der FHP .....	- 107 -





## 1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Derzeit befindet sich der deutsche Strommarkt in einer Phase des Umbruchs. Mit Anstieg der Erneuerbaren Energieanlagen nimmt vor allem die Belastungen der Verteilnetze zu (BMW, 2015a, S. 17). Dementsprechend werden derzeit Lösungsoptionen für die bessere Integration volatiler Erzeugungsanlagen im Energiesystem gesucht. Die Hochschule Darmstadt entwickelt in Zusammenarbeit mit weiteren Mitgliedern des Vereins StoREgio Energiespeichersysteme e.V. eine Handelsplattform für dezentrale Flexibilitätspotenziale auf Verteilnetzebene. Ziel des Projektes Flex4Energy ist der Betrieb einer Pilot-Handelsplattform im Netzgebiet der ENTEGA AG über die Flexibilitätspotenziale bestehender Erzeugungsanlagen sowie eines Batteriespeichers vermarktet werden können (StoREgio Energiespeichersysteme e.V., 2015, S. 2). Bestehende Anlagen und Batteriespeicher werden gegenwärtig nur für ihre primäre Anwendung eingesetzt, z.B. Strombereitstellung zu Spitzenlastzeiten. Die Nutzung existierender Restkapazitäten, über ihre primäre Anwendung hinaus, können die Auslastung und die Deckungsbeiträge der Anlagen steigern. Die Handelsplattform Flex4Energy ermöglicht es Anlagenbetreibern diese Flexibilitätspotenziale gewinnbringend zu vermarkten (ebd.). Kapazitätsengpässe im Netz können durch die Nutzung dieser Flexibilitäten reduziert werden. Aufgabe der Hochschule Darmstadt ist die Konzeptionierung der Handelsplattform unter Berücksichtigung verschiedener Marktstrategien des Plattformbetreibers (ebd.).

In dieser Arbeit soll die Frage beantwortet werden, wie Flexibilitätsangebote und -anfragen an der Handelsplattform einander zugewiesen werden können. Ziel ist die Konzeptionierung von angebotsspezifischen Matchingprozessen in Form von Angebotsmatchingmechanismen, die der Implementierung in der Flex4Energy Pilotplattform dienen.

Zu diesem Zweck sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

1. Analyse von Marktmodellen anhand bestehender Handelsplätze
2. Definition von Auswahlkriterien für das Angebotsmatching
3. Entwicklung eines Konzeptes aus dem hervorgeht nach welchen Kriterien Angebote ausgewählt und priorisiert werden
4. Erstellung von Angebotsmatchingmechanismen als Grundlage für die Implementierung in der Pilot-Handelsplattform auf Basis des theoretischen Konzeptes

Als Ausgangspunkt für die Analyse bestehender Handelsplätze dienen existierende Publikationen. Die Auswahlkriterien der Matchingprozesse werden in Absprache mit den Projektbeteiligten des StoREgio Energiespeichersysteme e.V. erarbeitet. Da an der Handelsplattform Flexibilitätspotenziale für verschiedene Anwendungen (Systemdienstleistungen, Portfoliooptimierung) gehandelt werden sollen, sind produktspezifische Besonderheiten zu beachten. Außerdem werden notwendige Kommunikationsschritte zwischen Handelsplattform und Nutzern berücksichtigt. Zur Visualisierung der Ergebnisse werden Fluss- und Sequenzdiagramme erstellt. Anhand dieser sollen die Matchingprozesse im weiteren Projektverlauf in der Pilot-Handelsplattform implementiert werden. Dies ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Im Folgenden werden zunächst bestehende Handelsplätze analysiert. Hierfür werden der Strommarkt der EEX und der deutsche Regelenenergiemarkt herangezogen. Im nächsten Kapitel folgt die Vorstellung der für die Entwicklung der Matchingprozesse relevanten Rahmenbedingungen des Projektes Flex4Energy. Anschließend werden mögliche Auswahlkriterien und Matchingkonzepte für Flexibilitätsmärkte dargelegt. Auf Grundlage der erarbeiteten Matchingkonzepte wird im letzten Kapitel der für den Flexibilitätshandel an der Pilot-Handelsplattform entwickelte Matchingprozess vorgestellt.



## 2 Einleitung

Im folgenden Kapitel geht es um die Relevanz von Flexibilitätsmärkten. Es wird aufgezeigt wie politische und rechtliche Entscheidungen die Energieversorgung geprägt haben und wie dies zu einem Wandel im Stromsektor geführt hat. Grundlegende Beschlüsse und Gesetze werden dargelegt.

### 2.1 Politische und rechtliche Rahmenbedingungen

#### EU

Als Mitglied der Europäischen Union (EU) wird die deutsche Energiepolitik maßgeblich von Entscheidungen der EU beeinflusst. Diese legte Mitte der 90er Jahre den Grundstein für die heutige Energiepolitik. Im Weißbuch „Eine Energiepolitik für die Europäische Union“ wurden erstmals Vorschläge zu den Themen Energiebinnenmarkt, Diversifizierung der Energieträger und Bezugsquellen, Energieeffizienz und Erneuerbare Energien aufgegriffen (Nötzold, 2011, S. 216 f.). Diese stehen auch heute noch im Fokus der europäischen Energiepolitik. Mit dem „Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan“ wurden die energiepolitischen Ziele Versorgungssicherheit, Wettbewerbsfähigkeit, Umweltschutz und eine nachhaltige Entwicklung geprägt und erstmals konkrete Ausbauziele für Erneuerbare Energien festgelegt (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 1997, S. 11 f.). Treibende Kraft war mitunter die klimapolitische Debatte über die schädlichen Einflüsse von Emissionen auf das Ökosystem. Entsprechend einigten sich die Industriestaaten auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention, die ebenfalls im Jahr 1997 stattfand, auf verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen (BMU, 2015). Da energiebedingte Emissionen als Haupteinflussgröße gelten, ist ein Umbau des Energiesektors für die Reduktion von Treibhausgasen notwendig (VDE, 2014, S. 11). Die enge Verknüpfung zwischen Energie- und Klimapolitik zeigt sich auch im 2008 beschlossenen EU-Klima- und Energiepaket. Ausgehend vom Bezugsjahr 1990 einigten sich die Mitgliedsstaaten darauf bis zum Jahr 2020 ihre Treibhausgasemissionen um 20% zu reduzieren, den Anteil Erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch auf 20% auszuweiten und den Energieverbrauch um 20% zu senken („20-20-20-Ziele“) (BMW, 2015b). Im Oktober 2014 wurden diese Ziele erweitert. Nach

Beschluss des Europäischen Rates sollen bis zum Jahr 2030 die EU-internen Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % gemindert werden, der Anteil Erneuerbarer Energien auf mindestens 27% gesteigert werden und der Energieverbrauch um mindestens 27% gesenkt werden (BMWi, 2015b).

## **Deutschland**

In Anlehnung an die Klima- und Energiepolitik der EU verfolgt die Bundesregierung das Ziel eines effizienten Energieversorgungssystems, bei dem fossile Ressourcen geschont werden und die Emissionsbelastung reduziert wird. Weiteren Einfluss auf die Energiepolitik hatte der Reaktorunfall in Fukushima, in dessen Anschluss die Schrittweise Abschaltung aller deutschen Kernkraftwerke bis zum Jahr 2022 beschlossen wurde (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2015a). Zur energiepolitischen Zielverwirklichung wird insbesondere der Ausbau von Erneuerbaren Energien fokussiert. Entsprechend wurde bereits im Jahr 1990, durch die Einführung des Stromeinspeisegesetzes, mit der gezielten Förderung Erneuerbarer Energien begonnen (Konstantin, 2013, S. 108). Zehn Jahre später wurde das Stromeinspeisegesetz vom Erneuerbare Energie Gesetz (EEG) abgelöst, welches die vorrangige Abnahmeverpflichtung von EEG- Strom<sup>1</sup> durch die Netzbetreiber sowie dessen Mindestvergütung regelt (BMWi, 2015c). Bis heute wurde das EEG in regelmäßigen Abständen novelliert. Eine wichtige Neuerung des EEG 2009 war die Einführung des Einspeisemanagements. Es befähigt den Netzbetreiber dazu EEG, KWK- oder Grubengasanlagen mit einer installierten Leistung von über 100 kW unter bestimmten Voraussetzungen abzuregeln, um eine Überlastung des Netzes zu vermeiden (Bundesnetzagentur, 2014a). Im Jahr 2012 wurde die optionale Direktvermarktung als Alternative zu festen Vergütungssätzen aufgenommen (UBA, 2013). Sie ermöglicht es Anlagenbetreibern höhere Deckungsbeiträge zu generieren und soll die Markt- und Systemintegration Erneuerbarer Energieanlagen verbessern (UBA, 2013). Mit dem EEG 2014 wurde ein stufenweiser Plan für die verpflichtende Direktvermarktung für große Anlagen erarbeitet (BMWi, 2015c). Seit 1. Januar 2016 müssen alle Betreiber von Neuanlagen mit einer Leistung von 100 kW oder mehr ihren Strom direkt vermarkten (BMWi, 2015c). Des Weiteren

---

<sup>1</sup> Hierzu zählt Strom aus Wasserkraft, Deponie-, Gruben- und Klärgas, Biomasse, Geothermie, solarer Strahlungsenergie sowie Windkraft.



wurde beschlossen zukünftige Fördersätze wettbewerblich über Ausschreibungen zu ermitteln, um eine marktorientierte Integration der EEG-Anlagen zu gewährleisten (BMWi, 2015c). Der zunehmende Anteil von regenerativ erzeugtem Strom stellt neue markt- und systemtechnische Anforderungen. Vor diesem Hintergrund wird derzeit unter dem Begriff „Strommarkt 2.0 – Ein Strommarkt für die Energiewende“ diskutiert, wie das derzeitige Strommarktmodell weiterentwickelt werden muss, um eine langfristige Versorgungssicherheit, Kosteneffizienz und Umweltverträglichkeit gewährleisten zu können (BMWi, 2015d).

## **2.2 Entwicklung des Stromversorgungssystems**

Bis zum Jahr 2035 soll der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung auf 55 bis 60% ansteigen (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2015b). Damit ergeben sich neue Herausforderungen für die Stromwirtschaft. Ein Großteil der benötigten Energie wird durch volatile Anlagen erzeugt, deren Einspeisemenge von witterungsbedingten Faktoren abhängig ist (Roß, 2012, S. 288). Entsprechend ist zu erwarten, dass Leistungsspitzen sowie Spannungs- und Frequenzschwankungen zunehmen werden.

### **Ausgangssituation**

Das ursprüngliche Stromsystem war von zentralen Großkraftwerken geprägt, die sich nah an Verbrauchszentren ansiedelten (Poppe, 2012, S. 308). Diese speisten in Höchst- und Hochspannungsnetze ein. Über Mittel- und Niederspannungsnetze wurde der Strom top-down zu den Endverbrauchern transportiert (Roß, 2012, S. 287 f.). Verteilnetze wurden, unter Berücksichtigung des zulässigen Spannungshubs, nach der bereitzustellenden Leistung beim Letztverbraucher dimensioniert (Hoffknecht, Wengeler, & Wunderer, 2012, S. 114). Anhand von Verbrauchsprognosen wurden Fahrpläne für die Erzeugungskapazitäten erstellt (Roß, 2012, S. 288).

### **Wandel zu dezentralem Energieversorgungssystem**

Aufgrund der Förderung von EEG- und KWK-Anlagen sowie durch innovative Erzeugungskonzepte, wie die Vernetzung dezentraler Erzeugungseinheiten zu virtuellen

Kraftwerken, ist aktuell ein Umbau des bestehenden Energiesystems von einem verbrauchsorientiertem hin zu einem erzeugungsorientiertem Stromsystem zu beobachten (Roß, 2012, S. 288 & 296). Entsprechend steigt der Bedarf an flexiblen Verbrauchs- und Erzeugungskapazitäten sowie Speichertechnologien, die das fluktuierende Stromangebot der EE ergänzen sollen (BMW, 2015a, S. 46). Der Stromtransport erfolgt zunehmend bottom-up von den Verteilnetzen auf Nieder- und Mittelspannungsebene hin zu den Übertragungsnetzen auf Hoch- und Höchstspannungsebene (Roß, 2012, S. 288). Durch die Entwicklung zu einem dezentralen Energiesystem mit einem hohen Anteil an Wind- und PV-Anlagen wächst insbesondere die Belastung des Mittel- und Niederspannungsnetzes. So sind derzeit rund 90% der Erneuerbaren Energieanlagen an das Verteilnetz angeschlossen (BMW, 2015a, S. 17). In immer mehr Netzabschnitten reicht die zur Verfügung stehende Kapazität nicht mehr aus, um der steigenden Belastung Stand zu halten (Hoffknecht, Wengeler, & Wunderer, 2012, S. 114). Des Weiteren werden Fahrplanprognosen mit steigendem Anteil unregelter Anlagen zunehmend schwieriger. Es kommt vermehrt zu Planabweichungen. Die Folge ist ein wachsender Bedarf an Regelleistung (Konstantin, 2013, S. 468 f.). Die Preise für die Bereitstellung von Regelleistung unterliegen starken Schwankungen. Die Kosten werden über die Netznutzungsentgelte auf die Endkunden umgelegt (Konstantin, 2013, S. 472). Gleiches gilt für Entschädigungszahlungen für die zunehmende Abschaltung von EEG-Anlagen in Netzengpasszeiten (Bundesnetzagentur, 2014b). Demzufolge ist mit steigenden volkswirtschaftlichen Kosten zu rechnen.

### **2.3 Resultierende Notwendigkeit für dezentrale Flexibilitätsmärkte**

Um im zukünftigen Stromversorgungssystem die langfristige, kosteneffiziente Versorgungssicherheit zu gewährleisten, sind neue Optionen für ein Kapazitätsmanagement zu entwickeln und Marktmechanismen zu etablieren. Mit zunehmender Entwicklung hin zu einem erzeugungsorientierten, dezentralen Versorgungssystem ändern sich die Rollen der Marktteilnehmer. So werden Stromkunden vermehrt nicht nur als Verbraucher, sondern auch als Erzeuger am Markt teilnehmen, z.B. als Betreiber von PV-Anlagen oder Batteriespeichern (Roß, 2012, S. 288). Die Anforderungen an die Verteilnetzbetreiber (VNB) verändern sich. Sie müssen vermehrt aktiv am Energiemarkt und an der Netzregelung teilnehmen (BMW, 2015a, S. 93). Die Anzahl innovativer Erzeugungskonzepte, wie virtuelle Kraftwerke oder



Speichertechnologien, die eine Bereitstellung systemorientierter Dienstleistungen über ihre Primäranwendung hinaus ermöglichen, wird zunehmen (Ahlers, 2014, S. 116). Um diese Marktakteure zu vernetzen und gewinnbringende Vermarktungsmöglichkeiten für Systemdienstleistungen zu bieten, werden intelligente Netze und neue Marktmechanismen benötigt (Ahlers, 2014, S. 120). Laut des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) beauftragten Gutachtens *„Arbeitspaket Funktionsfähigkeit EOM & Impact-Analyse Kapazitätsmechanismen“* zur Analyse der Funktionsfähigkeit des Energy Only Market (EOM) gewährleiste die Etablierung eines Kapazitätsmarktes zwar die langfristige Versorgungssicherheit, sei jedoch mit steigenden Stromversorgungskosten sowie regulatorischen Risiken verbunden (r2b Energy Consulting GmbH, 2014, S. 137 f.). Entsprechend sieht das BMWi im Weißbuch zum *Energiemarkt 2.0* die Aufrechterhaltung des EOM und die Etablierung eines technologieoffenen Wettbewerbes für Flexibilitätsoptionen vor (BMWi, 2015a, S. 44 f.). Der Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) fordert in diesem Zusammenhang die Einführung eines Marktes für Flexibilitäten auf Verteilnetzebene, der regionalen Engpässen entgegenwirken soll (bne, 2015). Ein solcher Handelsplatz, der eine kurzfristige Leistungsoptimierung ermöglicht, kann den Bedarf an Regelenergie kosteneffizient senken und eröffnet flexiblen Anlagen neue Möglichkeiten zur Refinanzierung (VDE, 2014, S. 11). Der Flexibilitätsmarkt bietet eine Alternative zum Verteilnetzausbau sowie zur Abregelung<sup>2</sup> von EEG-Anlagen in Engpasszeiten und führt so zur Reduzierung der volkswirtschaftlichen Kosten (VDE, 2014, S. 12 f.). Der Verband Der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) hat mit seiner Studie *„Regionale Flexibilitätsmärkte – Marktbasierte Nutzung von regionalen Flexibilitätsoptionen als Baustein zur erfolgreichen Integration von Erneuerbaren Energien in die Verteilungsnetze“* ein theoretisches Konzept eines Marktmechanismus für die Nutzung regionaler Flexibilitäten durch den Verteilnetzbetreiber erstellt (VDE, 2014, S. 7).

---

<sup>2</sup> Siehe EEG 2014, §9.

### 3 Bestehende Handelsplätze

In diesem Kapitel werden bestehende Stromhandelsplätze analysiert. Dies dient als Grundlage für die Entwicklung der Matchingmechanismen für den Flexibilitätsmarkt. Zunächst erfolgt eine Gegenüberstellung verschiedener Marktmodelle. Im Anschluss werden Handelsformen und ihre Preisbildungsverfahren vorgestellt. Im Projekt Flex4Energy wurden Anforderungen für den Flexibilitätshandel definiert, die Merkmale einer Strombörse als auch eines Regelenergiemarktes aufweisen. Daher erfolgt eine umfassende Untersuchung der Funktionsweise des Stromhandels an der European Energy Exchange (EEX) und des deutschen Regelenergiemarkts.

#### 3.1 Marktmodelle

Mit der fortschreitenden Liberalisierung und zunehmenden Anzahl an Handelsteilnehmern am Stromgroßmarkt haben sich unterschiedliche Marktmodelle etabliert. Der Großhandelsmarkt für Strom kann im Wesentlichen in den außerbörslichen *Over the counter-Markt* (OTC) und den *Börsenhandel* unterteilt werden.

##### OTC Markt

Wie Abbildung 1 zeigt, basiert der OTC Markt auf bilateralen Verträgen, die zwischen den Handelspartnern ausgehandelt und geschlossen werden. Der Vorteil besteht in der individuellen Vertragsgestaltung (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 71f.). So können individuelle Produkte entworfen und die Lieferkonditionen auf die Ansprüche der Vertragspartner ausgerichtet werden. Jedoch besteht insbesondere in Terminmärkten, bei denen Vertragsabschluss und Lieferzeitpunkt weit auseinanderliegen, ein erhöhtes Risiko, dass ein Vertragspartner seinen Vertragsverpflichtungen nicht nachkommen kann (Kontrahentenrisiko). Des Weiteren ist der OTC-Markt durch ein hohes Maß an Intransparenz gekennzeichnet, was sich durch unterschiedliche Preise für das gleiche Produkt äußert (Preisrisiko) (ebd.).

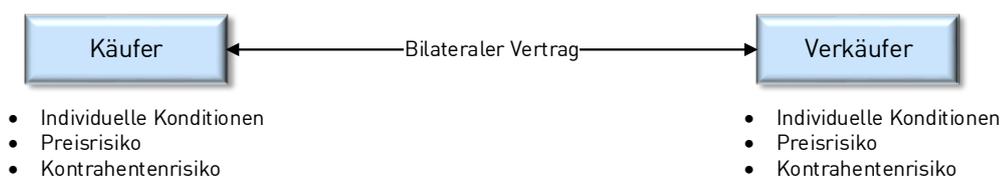


Abbildung 1: Vertragsbeziehungen im OTC-Markt [Eigene Darstellung]

### Börsenhandel

Der Börsenhandel erfolgt anonym. Da er vor allem durch seine weitreichende Transparenz charakterisiert ist, bestehen für die Handelsteilnehmer kaum Möglichkeiten einer Preisdifferenzierung (Roth, 2006, S. 95). An der Börse werden standardisierte Kontrakte gemäß vertraglich vereinbarter Handelsbedingungen geschlossen (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 71). Neben der Bereitstellung aller benötigten Informationen über Handelsprodukte und mögliche Transaktionspartner besteht die Hauptaufgabe der Börse in der Zusammenführung von Angebot und Nachfrage sowie der Preisbildung entsprechend standardisierter Regeln (Roth, 2006, S. 94). Alle getätigten Handelsabschlüsse werden über eine von der Börse eingerichteten Clearingstelle abgewickelt. Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, übernimmt diese als zentraler Vertragspartner der Handelsteilnehmer das Kontrahentenrisiko (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 71). Im Gegenzug müssen die Handelsteilnehmer finanzielle Sicherheitsleistungen hinterlegen (ebd.). Voraussetzung für einen funktionierenden Börsenhandel ist eine ausreichende Liquidität sowohl auf Angebots- als auch auf Nachfrageseite (Roth, 2006, S. 95). Um ein ausreichendes Handelsvolumen zu generieren, findet der Börsenhandel in zeitlich fixierten Handelsphasen statt.



Abbildung 2: Vertragsbeziehungen an der Börse [Eigene Darstellung]

Sowohl im OTC Markt als auch im Börsenhandel ist zwischen *Terminmärkten* und *Spotmärkten* zu unterscheiden.

## **Terminmarkt**

Auf Terminmärkten werden Verträge abgeschlossen deren Erfüllung erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet, d.h. es werden langfristige Produkte für die nächsten Wochen, Monate, Quartale oder Jahre gehandelt (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 73). Der Handel am Terminmarkt dient oftmals der Preisabsicherung zukünftiger Handelsgeschäfte (Hedging), sowie der Abschöpfung von Arbitrage- oder Spekulationseffekten (ebd.). Um Gewinne zu realisieren, identifizieren Arbitrageure Preisdifferenzen verschiedener Märkte und nutzen diese Marktunvollkommenheiten aus. Spekulanten erwerben hingegen Produkte zum aktuellen Preis, um sie zu einem späteren Zeitpunkt zu höheren Preisen weiterzuverkaufen (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 72). Im Terminhandel werden also neben physischen Geschäften, bei denen es um den Warenaustausch geht, auch finanzielle Geschäfte abgeschlossen, bei denen der Handel von Risiken im Vordergrund steht (ebd.).

## **Spotmarkt**

Auf Spotmärkten geht es hingegen primär um die kurzfristige Optimierung des Portfolios. Der Spotmarkt ermöglicht es auf plötzliche Prognoseabweichung, z.B. durch verbraucherbedingte Laständerungen oder Einspeisungen, zu reagieren und Produkte mit kurzer Vorlaufzeit zu handeln (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 65). Dementsprechend steht hier die physische Erfüllung im Fokus. Mit Zunahme der volatilen Stromerzeugung tritt der Spotmarkt, als wirksames Instrument zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen und zur Reduktion von Ausgleichsenergiekosten, immer mehr in den Fokus des Stromhandels (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 62).

In dieser Arbeit wird die Funktionsweise des Börsenhandels, mit Bezugnahme auf die EEX, sowie des deutschen Regelenergiemarktes fokussiert. Bei beiden Handelsplätzen wird der Handel über eine zentrale Instanz geregelt. Im Projekt Flex4Energy wird diese Aufgabe durch eine Handelsplattform realisiert.



### 3.2 Handelsformen und ihre Preisbildungsverfahren

Beim Handel an der Börse kann grundsätzlich zwischen dem *periodischen Handel* und dem *fortlaufenden Handel* unterschieden werden. Häufig ist jedoch eine Mischform beider Handelsformen anzutreffen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Preisbildung. In diesem Kapitel werden die grundlegenden Unterschiede im Handelsablauf und der Preisbildung erläutert.

#### 3.2.1 Periodischer Handel

Im periodischen Handel, der in Form von Auktionen durchgeführt wird, geben Käufer und Verkäufer innerhalb eines fest definierten Zeitfensters Gebote, die auch als Order bezeichnet werden, ab. Entsprechend erfolgt die Zuschlagserteilung und Preisermittlung nur zu diskreten Zeitpunkten (Roth, 2006, S. 101). An Strombörsen findet der Handel überwiegend in Form einer *zweiseitigen Auktion* statt, bei der sowohl Anbieter als auch Nachfrager aktiv am Markt auftreten, indem sie Gebote abgeben (Gerstbach, 2004, S. 2). In der Regel enthalten abgegebene Orders spezifische Angaben über Stückanzahl und Preislimit der Bieter, wobei es spezielle Ordertypen mit abweichenden Bedingungen gibt (siehe Kapitel 3.3.3 und 3.3.4). Für jeden Kontrakt, z.B. jede Stunde des Handelstages, gibt der Bieter ein Gebot ab. Entsprechend eignen sich Auktionen nur für Handelsgüter die hinreichend standardisiert sind (Roth, 2006, S. 114). Die Auktion kann in *geschlossener* oder *offener* Form erfolgen.

#### Geschlossene Auktion

In der geschlossenen Auktion werden die Gebote verdeckt abgegeben. Die Marktteilnehmer können für jeden Kontrakt nur ein Gebot mit Angabe ihres Preislimits abgeben (Barth & Weibert, 2003, S. 15). Im Anschluss findet die Preisermittlung statt. Typische Auktionsformen sind die *Höchstpreisauktion* und die *Vickrey Auktion*. Bei Ersterer erhält der Bieter des höchsten Gebotes den Zuschlag entsprechend seines Preislimits (Roth, 2006, S. 117). In einer Vickrey Auktion erhält der Höchstbietende den Zuschlag zum Preis des zweithöchsten Gebotes (ebd.). Da Gebote nicht zum eigens abgegebenen Preislimit sondern zum jeweiligen Preislimit des nächstniedrigeren Gebotes ausgeführt werden, orientieren sich Angebotslimits an den

Kraftwerksgrenzkosten (Ockenfels, Grimm, & Zoettl, 2008, S. 27f.). Strategische Kapazitätszurückhaltung mit dem Ziel höhere Marktpreise zu erzielen wird somit verhindert (ebd.). Allerdings findet dieses Auktionsmodell, aufgrund seiner Komplexität, in der Praxis in Strommärkten keine Anwendung (ebd.).

### **Offene Auktion**

In der offenen Auktion sind die Gebote für die anderen Handelsteilnehmer einsehbar (Barth & Weibert, 2003, S. 15). Diese können bis zum Auktionsschluss mehrfach Orders für denselben Kontrakt abgeben (ebd.). An der Strombörse unterteilt sich die offene Auktion klassischer Weise in die Phasen *Aufruf*, *Preisermittlung* und *Marktausgleich* (Härle, 2010, S. 424). In der Aufrufphase können Orders abgegeben, geändert oder gelöscht werden (ebd.). Anschließend wird der Preis ermittelt zudem das größte Auftragsvolumen erzielt wird, sprich der Preis mit geringstem Gebotsüberhang (ebd.). Sollten trotzdem Gebote nicht ausgeführt werden, besteht für die Marktteilnehmer in der Marktausgleichsphase die Möglichkeit komplementäre Gebote abzugeben (ebd.). Eine Form der offenen Auktion ist die *Englische Auktion*, bei der zunächst eine Mindestpreisanforderung gesetzt wird (Roth, 2006, S. 117). Die Handelsteilnehmer überbieten sich solange, bis nur noch ein Bieter übrig bleibt der den Zuschlag zum gebotenen Höchstpreis erhält (ebd.). In der *Holländischen Auktion* wird hingegen, ausgehend von einem Startpreis, der Preis solange gesenkt bis ein Bieter den aktuellen Preis als Zuschlagspreis akzeptiert (ebd.).

An Strommärkten erfolgt die Preisermittlung im periodischen Handel nach dem *Einheitspreisverfahren* oder nach dem *Pay-as-bid Verfahren*.

### **Einheitspreisverfahren**

Das Einheitspreisverfahren kennzeichnet sich dadurch aus, dass für ein Produkt ein einheitlicher Preis bestimmt wird. Alle Handelsteilnehmer deren Orders zur Ausführung kommen zahlen bzw. erhalten einen identischen Preis für den gleichen Kontrakt (Ockenfels, Grimm, & Zoettl, 2008, S. 17). Abbildung 3 zeigt wie dieser Einheitspreis ermittelt wird.

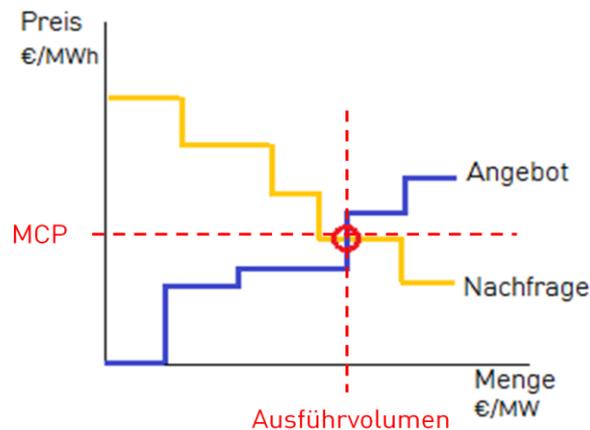


Abbildung 3: Preisermittlung im Einheitspreisverfahren  
 [Eigene Darstellung nach: (Konstantin, 2013, S.52)]

Alle in einer Handelsperiode abgegebenen Gebote werden von einem Auktionator oder einer virtuellen Plattform gesammelt (Roth, 2006, S. 101). Zur Preisermittlung werden die Kauforders, ausgehend vom höchsten Preislimit, absteigend entsprechend ihrer Nachfragemenge zu einer Nachfragefunktion aggregiert. Äquivalent werden die eingegangenen Verkauforders aufsteigend zu einer Angebotsfunktion aggregiert. Der Schnittpunkt dieser beiden Funktionen entspricht dem Gleichgewichtspreis, auch *Market Clearing Price* (MCP) genannt (Konstantin, 2013, S. 52). Ausgeführt werden diejenigen Verkauforders deren Preislimit gleich oder niedriger als der MCP ist und diejenigen Kauforders deren Preislimit gleich oder höher als der MCP ist (Konstantin, 2013, S. 46f.). Der Gleichgewichtspreis wird für jeden einzelnen Kontrakt (Stunde, Viertelstunde, etc.) berechnet und gilt für alle ausführbaren Orders (ebd.). Ziel ist es den Preis zu ermitteln, bei dem der höchste Stückumsatz generiert wird (*Meistausführungsprinzip*) (Roth, 2006, S. 101). Der höchste Stückumsatz wird realisiert, wenn der geringste Überhang an nicht ausgeführten Geboten erzielt wird.

Das Einheitspreisverfahren zeichnet sich durch seine hohe Transparenz aus (Ockenfels, Grimm, & Zoettl, 2008, S. 62). Da für alle Marktteilnehmer der MCP gilt, gibt es keine Vorteile Einzelner durch Informationsvorsprünge, wovon kleine und unerfahrene Handelsteilnehmer profitieren (Ockenfels, Grimm, & Zoettl, 2008, S. 62f.).

### **Pay-as-bid Verfahren**

Beim Pay-as-bid Verfahren wird die ausführbare Gesamtmenge ebenfalls durch die Überlagerung von aggregierter Angebots- und Nachfragekurve bestimmt (Ockenfels, Grimm, & Zoettl, 2008, S. 21). Sie entspricht, wie beim Einheitspreisverfahren, dem Schnittpunkt der Funktionen. Jedoch wird kein einheitlicher MCP gebildet. Stattdessen werden Kontrakte zum von Handelsteilnehmer gebotenen Preis ausgeführt. Ziel der Anbieter ist es den höchstmöglichen Preis am Markt zu erzielen. Dementsprechend besteht kein Anreiz Gebotspreise an den eigentlichen Grenzkosten auszurichten (ebd.). Da kein eindeutiger Referenzpreis ermittelt wird, besteht für Bieter mit besserer Marktinformationslage ein Vorteil (Ockenfels, Grimm, & Zoettl, 2008, S. 21f.).

Das Pay-as-bid Verfahren ist für zweiseitige Auktionen, wie sie an Strombörsen durchgeführt werden, schwierig umzusetzen (ebd.).

### **3.2.2 Kontinuierlicher Handel**

Im Gegensatz zum periodischen Handel, der nur zu diskreten Zeitpunkten stattfindet, erfolgt der kontinuierliche bzw. fortlaufende Handel stetig. Innerhalb der festgelegten Handelsphasen können Handelsteilnehmer zu jedem Zeitpunkt ihre Gebote abgeben. Eingehende Orders werden sofort auf Ausführbarkeit überprüft (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 29). Ist kein sofortiges Matching oder nur eine Teilausführung möglich wird die eingegangene Order bzw. die entsprechende Restmenge in das elektronische Orderbuch aufgenommen (ebd.). Trifft ein eingehendes Angebot auf eine passende Anfrage, oder umgekehrt, kommt es sofort zum Matching. Im Orderbuch werden auf einer Seite die unausgeführten Kauforders (Bids), im Folgenden auch als Anfragen bezeichnet, gelistet und auf der andern Seite die Verkauforders (Asks), im Folgenden als Angebot bezeichnet, gelistet. Für jeden einzelnen Kontrakt existiert ein eigenes Orderbuch. Die Matchingreihenfolge ist abhängig von festgelegten Prioritätskriterien. An traditionellen Handelsplätzen enthalten eingehende Orders ein Preislimit und eine Volumenangabe (Stückzahl) (Konstantin, 2013, S. 53). Wie aus Abbildung 4 hervorgeht, werden Gebote ausgehend vom jeweils besten Preislimit in absteigender Reihenfolge gelistet. Entsprechend steht auf Bid-Seite des Orderbuches als erstes das Gebot mit dem höchsten Preislimit und auf Ask-Seite das Gebot mit dem niedrigsten Preislimit.

Bid			Ask		
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit
09:00	1000	40	43	2000	08:59
09:01	2000	40	46	1000	09:00
08:58	1500	38	48	1000	09:00

↑ Preislimit (links)      Preislimit (rechts) ↓

Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau eines Orderbuches [Eigene Darstellung]

Der Handel kann entweder mit einem *offenen Orderbuch* oder einem *geschlossenen Orderbuch* erfolgen. Im offenen Orderbuch werden alle eingegangenen und noch nicht ausgeführten Gebote mit Angabe zu ihrem Preislimit und Volumen veröffentlicht (Konstantin, 2013, S. 53). Dies erlaubt den Handelsteilnehmern ihre Gebote der aktuellen Marktsituation anzupassen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit Gebote manuell, per Mausklick, anzunehmen (ebd.). Beim Handel mit geschlossenem Orderbuch sind verbleibende Orders hingegen nicht einsehbar. Die Handelsteilnehmer sind auf im Nachhinein veröffentlichte Kurse angewiesen (Klement, 2007, S. 333).

Im kontinuierlichen Handel existieren zwei grundlegende Systeme, die *kontinuierliche doppelte Auktion* sowie das *Market Maker System*. Diese weisen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Preisbildung auf.

### Kontinuierliche doppelte Auktion

Die kontinuierliche doppelte Auktion entspricht den zu Beginn dieses Abschnittes beschriebenen Regeln des *offenen Orderbuches*. Jeder Handelsteilnehmer kann selbst Gebote abgeben oder annehmen. Kauf- und Verkaufsgebote treffen direkt aufeinander und stehen in unmittelbarer Konkurrenz zu anderen Geboten der gleichen Marktseite (Heun, 2007, S. 114). Die Handelsteilnehmern sind selbst dafür zuständig einen passenden Matchingpartner zu finden (Roth, 2006, S. 99). Der Preis ergibt sich, unter Beachtung geltender Prioritätskriterien, aus den von den Handelsteilnehmern festgesetzten Preislimits (ebd.).

## **Market Maker System**

Im Market Maker System gibt es einen oder mehrere Händler die am Markt als Market Maker auftreten. Die Aufgabe des Market Makers besteht darin zwischen den Handelsteilnehmern zu vermitteln und Preise festzulegen (Heun, 2007, S. 114). Zu diesem Zweck stellt er zu jeder Zeit verbindliche Kauf- und Verkaufsgebote in das Orderbuch, zu von ihm festgelegten Preisen, ein (ebd.). Er nimmt jede eingehende Order zu dem von ihm festgelegten Preis an (Roth, 2006, S. 97). Die Herausforderung einen passenden Matchingpartner zu finden ist somit nicht Aufgabe der Handelsteilnehmer. Das Ausführungsrisiko aufgrund einer fehlenden Gegenposition wird vom Market Maker übernommen (ebd.). Die Kaufs- und Verkaufspreise werden nicht durch die individuellen Orders der Handelsteilnehmer bestimmt, sondern durch den Market Maker (Roth, 2006, S. 98). Da er auf eigene Rechnung handelt, zielen die von ihm definierten Preise auf eine möglichst hohe Gewinnspanne ab (ebd.). Der Vorteil des Market Maker Systems liegt in der stetigen Sicherstellung von Liquidität (Heun, 2007, S. 114).

### **3.3 Stromhandel an der EEX**

Die EEX mit Sitz in Leipzig gilt als führender Energiehandelsplatz in Europa (EEX, 2016a). Am Spot- oder Terminmarkt der EEX werden Strom, Erdgas, Kohle, CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte sowie Fracht- und Agrarprodukte gehandelt (ebd.). Der Handel erfolgt über das vollelektronische Handelssystem Xetra der Deutschen Börse AG (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 255 & EEX, 2016b). Termingeschäfte werden über die Power Derivates GmbH abgewickelt. Der Spotmarkt läuft über die EPEX Spot SE, einer Kooperation zwischen der EEX und der französischen Powernext SA (Zenke & Wollschläger, 2015). Die Abwicklung und das Clearing aller Handelsgeschäfte übernimmt das Clearinghaus European Commodity Clearing (ECC) (EEX, 2016a). In Abbildung 5 ist die wesentliche Organisationsstruktur der EEX aufgezeigt.

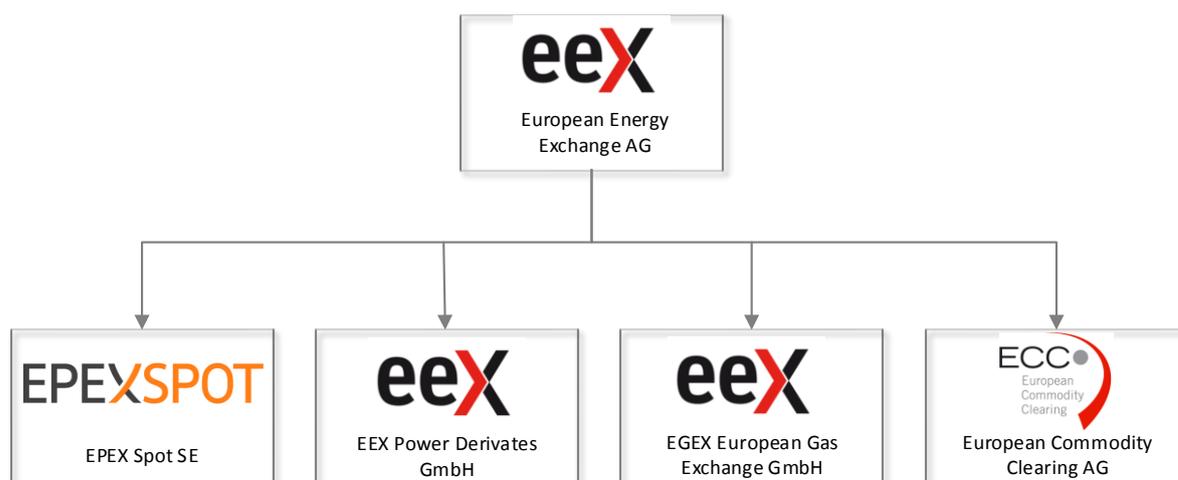


Abbildung 5 :Organisationsstruktur EEX [Eigene Darstellung nach: (Konstantin, 2013, S.49)]

Im folgenden Abschnitt werden die grundlegenden Handelsverfahren des Spotmarktes und des Terminmarktes an der EEX dargelegt. Anhand dieser wird anschließend auf die zugrundeliegenden Matchingprozesse im periodischen (Auktionshandel) und kontinuierlichen Handel eingegangen. Diese dienen als Grundlage für die Entwicklung der Matchingmechanismen für die Flex4Energy Handelsplattform.

### 3.3.1 Handelsverfahren am Spotmarkt

Die EPEX Spot betreibt den Spotmarkt für Deutschland, Frankreich, Österreich und die Schweiz (Konstantin, 2013, S. 49). Gehandelt werden physische Produkte mittels standardisierter Kontrakte. Im Marktgebiet Deutschland und Österreich werden sie unter dem Namen Phelix (Physical Electricity Index) geführt (Konstantin, 2013, S. 51). Der Phelix Base wird als arithmetisches Mittel aller 24 Stundenpreise ermittelt und bildet den Tagesdurchschnittspreis (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 72). Der Phelix Peak ist das arithmetische Mittel der Tagesstunden von 9 bis 20 Uhr (ebd.). Diese Indizes dienen auch als Orientierung für den Handel am EEX Terminmarkt und sind ein wichtiges Instrument zur Gewährleistung der Markttransparenz. Der Spotmarkt dient als Handelsplatz für kurzfristige Portfoliooptimierungen. Da jede Veränderung der prognostizierten Ein- und Auspeisemenge direkten Einfluss auf den Marktpreis hat, weist der Spotmarkt die höchste Volatilität auf (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 66). Wie Abbildung 6 zeigt, ist der Spotmarkt in den *Day-Ahead-Markt*

und den *Intraday-Markt* aufgeteilt. Der Day-Ahead-Handel wird als Auktion vollzogen, die der bereits beschriebenen periodischen Handelsform entspricht. Der Handel am Intraday-Markt kann in Auktionsform sowie in Form des kontinuierlichen Handels erfolgen. Auktionen können sowohl geschlossen als auch offen durchgeführt werden (EEX, 2015, S. 4).

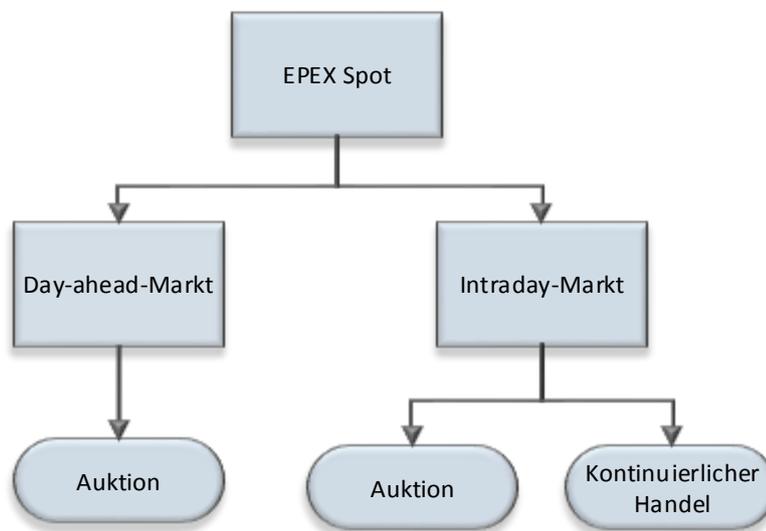


Abbildung 6: Strommärkte an der EPEX Spot [Eigene Darstellung]

### Day-Ahead-Markt

Im Day-Ahead-Markt können an 365 Tage im Jahr 24 einzelne Stundenkontrakte des Folgetages gehandelt werden (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 66). Die am Vortag abgeschlossenen Handelsgeschäfte sind am Folgetag physisch zu erfüllen (Konstantin, 2013, S. 52). Die physische Abwicklung erfolgt über eine Fahrplananmeldung beim zuständigen Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) seitens des Käufers und des Verkäufers (ebd.). Die Preisermittlung erfolgt durch eine zweiseitige Auktion (siehe Kapitel 3.2.1). Jeder Börsenteilnehmer erstellt eine Excel-Tabelle in der er für jede Stunde aufführt welche Menge er zu welchem Preis kaufen bzw. verkaufen will und reicht diese im Voraus bei der EPEX Spot ein (Pilgram, 2010, S. 364). Die Gebote müssen zwischen -500 €/MWh und +3000 €/MWh liegen und ein Mindestvolumen von 0,1 MW haben (EPEX Spot, 2016a). Neben Einzelkontrakten können im Day-Ahead Handel auch vordefinierte Blockkontrakte gehandelt werden, die mehrere Stunden umfassen (ebd.). Blockkontrakte unterliegen der Ausführbestimmung „*All-or-nothing*“ (siehe Kapitel 3.3.3) und können somit nur komplett ausgeführt oder



zurückgewiesen werden (ebd.). Eine Teilausführung einzelner Stunden des Blockkontraktes ist nicht möglich. Die Gebotsabgabe erfolgt anonym über ein geschlossenes Orderbuch (Konstantin, 2013, S. 52). Abgegebene Gebote sind bindend. Nach Schließung des Orderbuches können sie nicht mehr geändert oder gelöscht werden (EPEX Spot, 2015, S. 17). Im Anschluss findet eine Auktion statt, in der für jede Stunde des Folgetages der MCP entsprechend des Einheitspreisverfahrens ermittelt wird (Konstantin, 2013, S. 52). Das Auktionsergebnis, das den MCP und die ausgeführte Gesamtmenge für jeden Kontrakt enthält, wird zeitnah veröffentlicht (EPEX Spot, 2015, S. 20). Sollte die Ermittlung des MCP nicht möglich sein, bzw. liegt dieser über oder unterhalb der von der EPEX Spot festgelegten Grenzwerte, kann die EPEX Spot die Handelsteilnehmer über die angespannte Lage informieren und ein zweites Auktionsverfahren auslösen (ebd.).

### **Intraday-Markt**

Am Intraday-Markt können Produkte mit Fälligkeit am selben oder am nächsten Tag gehandelt werden. Um eine Portfoliooptimierung mit geringstmöglicher Vorlaufzeit zu ermöglichen und die Kosten für Ausgleichsenergie zu reduzieren, bietet die EPEX Spot im deutschen Marktgebiet eine 15-Minuten-Intaday-Auktion an (EPEX Spot, 2016b). Gebote werden für 96 Viertelstunden eines Tages mit einem Preislimit von -3000 €/MWh bis +3000 €/MWh abgegeben (ebd.). Die ermittelten Auktionspreise der Viertelstundenkontrakte dienen als Referenzpreise für den kontinuierlichen Handel (ebd.). Die Auktion erfolgt äquivalent zu den beschriebenen Prinzipien des Day-Ahead-Marktes. Neben dieser Auktion bietet die EPEX Spot einen kontinuierlichen Markt für verschiedene Marktgebiete an. In deutschen Regelzonen können 15-Minuten-Perioden, Einzelstunden oder standardisierte Blockkontrakte bis 30 Minuten vor Lieferbeginn gehandelt werden (EPEX Spot, 2016c). Das Mindestvolumen für abgegebene Gebote beträgt 0,1 MW und die Preisspanne liegt zwischen -999 €/MWh und +999 €/MWh (ebd.). Alle abgegebenen Gebote müssen folgende Angaben enthalten:

- Kauf- oder Verkaufsgebot
- Stunden
- Mengen
- Preislimit
- Liefergebiet
- etwaige Gültigkeitsbeschränkungen (EPEX Spot, 2015, S. 25)

Abgegebene Gebote werden in ein offenes, anonymes Orderbuch aufgenommen (EPEX Spot, 2015, S. 27). Zu jedem einzelnen Kontrakt (z.B. Stunde von 9.00 bis 10.00) existiert ein eigenes Orderbuch. In diesem werden alle Kauf- und Verkauforders sowie das jeweils zuletzt ausgeführte Gebot abgebildet. Abbildung 7 zeigt exemplarisch die EPEX Spot Orderbuchansicht des Stundenkontraktes 20-21. Auf der linken Seite sind alle vorliegenden Kaufgebote und auf der rechten Seite alle noch nicht ausgeführten Kaufgebote aufgeführt. Jedes Gebot enthält ein Preislimit (Bid/Ask) und eine Mengenangabe (Qty). Zusätzlich wird die akkumulierte Menge aller Gebote des gleichen Preises oder besser (Acc) und der sich daraus ergebene volumengewichtete Durchschnittspreis (VWAP) angegeben. Das letzte Matching wurde in diesem Beispiel zu einem Preis von 20,00 €/MWh ausgeführt.

Order Book Details							
EPEX		EON		20-21		Hi/Low: 20.00 / 20.00 Last: 1.0 @ 20.00	
VWAP	Acc	Qty	Bid	Ask	Qty	Acc	VWAP
20.00	9.0	9.0	20.00	22.00	10.0	10.0	22.00
20.00	10.0	1.0	20.00	23.00	10.0	20.0	22.50
15.00	20.0	10.0	10.00				
14.76	21.0	1.0	10.00				

Abbildung 7: Orderbuchansicht der EPEX Spot (Deutsche Börse AG, 2015a, S. 59)

### 3.3.2 Handelsverfahren am Terminmarkt

Am Terminmarkt der EEX werden langfristige Verträge über Produkte für die nächsten Wochen, Monate, Quartale oder Jahre geschlossen, die in erster Linie der Absicherung zukünftiger Preisrisiken dienen (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 73). Die Lieferbedingungen (z.B. Volumen, Preis) werden im Voraus vereinbart, wohingegen die Erfüllung erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet (ebd.). In Abhängigkeit der Handelsprodukte findet eine physische oder finanzielle Erfüllung statt. Im Falle einer physischen Erfüllung verpflichtet sich der Handelsteilnehmer zum zukünftigen Kauf bzw. Verkauf eines Basiswertes (Underlying) zu einem heute festgelegten Preis (Konstantin, 2013, S. 53). Bei einer finanziellen Erfüllung hat er das Recht am letzten Handelstag eine bestimmte Menge eines Basiswertes zum heute festgelegten Preis zu kaufen (call-Position) oder zu verkaufen (put-Position) (ebd.). Als Referenzpreis dienen dazu die Phelix-Indizes des Spotmarktes. Liegt der Referenzpreis über dem ausgehandelten Preis erhält der Handelsteilnehmer eine Ausgleichszahlung; ist er



niedriger muss er eine Ausgleichszahlung leisten (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 65). Jedoch ist bei Handelsabschluss nicht sofort der gesamte Kontraktwert fällig. Stattdessen muss der Käufer bzw. Verkäufer eine Grundsicherheit (Initial Margin) hinterlegen (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 73). Bis zur Fälligkeit des Kontraktes wird täglich der Tagesabrechnungspreis (Settlementpreis) ermittelt, der den aktuellen Wert des Kontraktes widerspiegelt (Härle, 2010, S. 368). Die Differenz zum Settlementpreis des Vortrages wird täglich finanziell ausgeglichen (Variation Margin) (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 73). Gehandelt werden standardisierte Base- und Peakload Produkte mit einer Lieferrate von 1 MW in Auktionen oder im fortlaufenden Handel (EEX, 2016c & EEX, 2015, S. 16). Der Handel erfolgt in drei aufeinanderfolgenden Phasen:

1. **Vorhandelsphase**

Börsensteilnehmer können Aufträge abgeben, ändern oder löschen; das Orderbuch ist geschlossen

2. **Handelsphase**

Zunächst findet eine Eröffnungsauktion statt, danach werden Kontrakte fortlaufend mit offenem Orderbuch gehandelt

3. **Nachhandelsphase**

Börsenteilnehmern können weiterhin Daten in das Handelssystem eingeben oder abfragen (EEX, 2015, S. 17)

### 3.3.3 Matchingprozesse im Auktionshandel

Im Auktionshandel können Aufträge in folgender Form abgegeben werden:

- **Limit Orders**

Diese enthalten ein vom Handelsteilnehmer festgelegtes Preislimit. Sie werde zu diesem Limit oder besser ausgeführt (EPEX Spot, 2015, S. 14). Das heißt Kaufaufträge können mit Verkaufsaufträgen zu ihrem Preislimit oder einem niedrigeren zusammengeführt werden. Verkaufsaufträge können mit Kaufaufträgen ausgeführt werden, die mindestens ihr Preislimit erfüllen.

- **Market Orders**

Market Orders sind unlimitierte Aufträge. Sie werden zum nächsten, von der Börse ermittelten Preis, ausgeführt (EEX, 2015, S. 16).

Des Weiteren können Orders mit der Ausführbedingung „*All-or-nothing*“ (*AON*) belegt sein. Diese Aufträge können nur für ihr Gesamtvolumen ausgeführt oder komplett abgelehnt werden (EPEX Spot, 2015, S. 14). Ein Matching einer Teilmenge der Order wird ausgeschlossen. Bei Blockkontrakten besteht die Möglichkeit sogenannte Blockfamilien zu bilden. Die Ausführung eines zugehörigen Gebotes ist von der Ausführung anderer Gebote innerhalb der Blockfamilie abhängig (EPEX Spot, 2015, S. 14f.). Auf diese Spezifikation wird nicht weiter eingegangen. Im Auktionshandel gelten abgegebene Orders als gültig, bis sie vom Börsenteilnehmer geändert oder storniert werden bzw. bis sie zur Ausführung kommen (EPEX Spot, 2015, S. 15).

Eingehende limitierte oder unlimitierte Aufträge müssen bestimmte Anforderungen erfüllen, um in der Auktion berücksichtigt zu werden. Andernfalls werden sie automatisch zurückgewiesen und der Handelsteilnehmer hierüber informiert (EPEX Spot, 2015, S. 16). Neben formalen Anforderungen, sind die von der Börse festgelegten Mindest- und Maximalpreise zu beachten sowie mengenmäßige und finanzielle Handelslimits des Börsenteilnehmers (EPEX Spot, 2015, S. 16 & 22). Erfüllen die abgegebenen Orders diese Bedingungen erhalten sie eine Identifikationsnummer (ID) und einen Zeitstempel (EEX, 2015, S. 12). Die Handelsplattform ordnet alle eingegangenen Gebote zunächst nach ihrem Preislimit; bei gleichem Preislimit ist der Eingabezeitpunkt entscheidend (*Preis-Zeit-Priorität*) (ebd.). Das Gebot mit dem höchsten Kauflimit, bzw. mit dem niedrigsten Verkaufslimit sowie der früheste

Eingabezeitpunkt erhält die höchste Priorität (ebd.). *Market Orders* erhalten dabei stets die höchste Preispriorität. Im Matchingprozess werden die Aufträge ausgehend von der höchsten Priorität in absteigender Reihenfolge berücksichtigt (ebd.). Bei Auftragsänderungen erhält eine Order einen neuen Zeitstempel, sofern sie den Preis betrifft oder sich nachteilig auf die Ausführung anderer Aufträge auswirken kann (z.B. Erhöhung des Volumens) (ebd.).

### Ermittlung des MCP

Die Preisermittlung erfolgt im Auktionshandel gemäß des Einheitspreisverfahrens nach dem *Meistausführungsprinzip* (siehe Kapitel 3.2.1). Folglich entspricht der Auktionspreis (MCP) dem Preislimit zu dem das höchste ausführbare Ordervolumen und der niedrigste Überhang je Limit besteht (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 28). Im Beispiel in Abbildung 8 liegt der geringste Überhang bei einem Preislimit von 40€/Stück vor. In diesem Fall wird das höchstmögliche Volumen von 350 Stück generiert. Die Angebotsseite wird komplett geräumt, während auf Nachfrageseite ein Überhang von 50 Stück zurückbleibt.

Bid				Ask		
Nachfrage- überhang	Kumuliertes Volumen	Volumen	Limit	Volumen	Kumuliertes Volumen	Angebots- überhang
	100	100	42		350	250
	200	100	41		350	150
50	400	200	<b>40</b>	100	350	
150	400		39	200	250	
350	400		38	50	50	

Abbildung 8: Preisermittlung nach dem Meistausführungsprinzip [Eigene Darstellung]

Im obigen Beispiel erfüllt nur ein Limit (40 €/Stück) das Meistausführungsprinzip. Jedoch kann es vorkommen, dass es mehr als ein Limit gibt bei dem ein identischer Überhang zurückbleibt. Für diesen Fall gilt, dass der MCP bei Nachfrageüberhang dem höchsten Limit und bei Angebotsüberhang dem niedrigsten Limit entspricht (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 48). Sollte es mehr als ein Limit geben bei dem der Überhang auf Nachfrage- und Angebotsseite identisch ist, so ist der MCP gleich dem Referenzpreis bzw. dem Limit das dem Referenzpreis am nächsten ist (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 49). Gleiches gilt für den Fall, dass es mehr als ein Limit gibt bei dem sowohl auf Nachfrage als auch auf Angebotsseite kein Überhang übrig bleibt (ebd.).

Im Beispiel in Abbildung 9 stehen sich nur Market Orders gegenüber. In diesem Fall entspricht der Auktionspreis dem Referenzpreis. Die Nachfrageseite (Bid) wird vollständig ausgeführt, während auf Angebotsseite (Ask) ein Überhang von 100 Stück übrig bleibt.

<b>Bid</b>				<b>Ask</b>		
Nachfrage- überhang	Kumuliertes Volumen	Volumen	Limit	Volumen	Kumuliertes Volumen	Angebots- überhang
	200	200	Market		300	100
	200		Market	300	300	100

*Abbildung 9: Preisermittlung unter Market Orders  
[Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 50)]*

Abbildung 10 zeigt eine Auftragslage bei der es zu keiner Ausführung kommt. Es liegen keine Kauf- und Verkaufsgebote mit identischem Preislimit vor. Entsprechend kann kein Auktionspreis bestimmt werden. Stattdessen wird das höchste Kauflimit [40 €/Stück] und das niedrigste Verkaufslimit [41 €/Stück] veröffentlicht (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 51).

<b>Bid</b>				<b>Ask</b>	
Kumuliertes Volumen	Volumen		Limit	Volumen	Kumuliertes Volumen
			42	100	400
			41	300	300
100	100		40		
150	50		39		

*Abbildung 10: Auftragslage ohne ausführbare Orders  
[Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 51)]*

In Abbildung 11 ist eine Übersicht über die Preisbildungsregeln dargestellt.

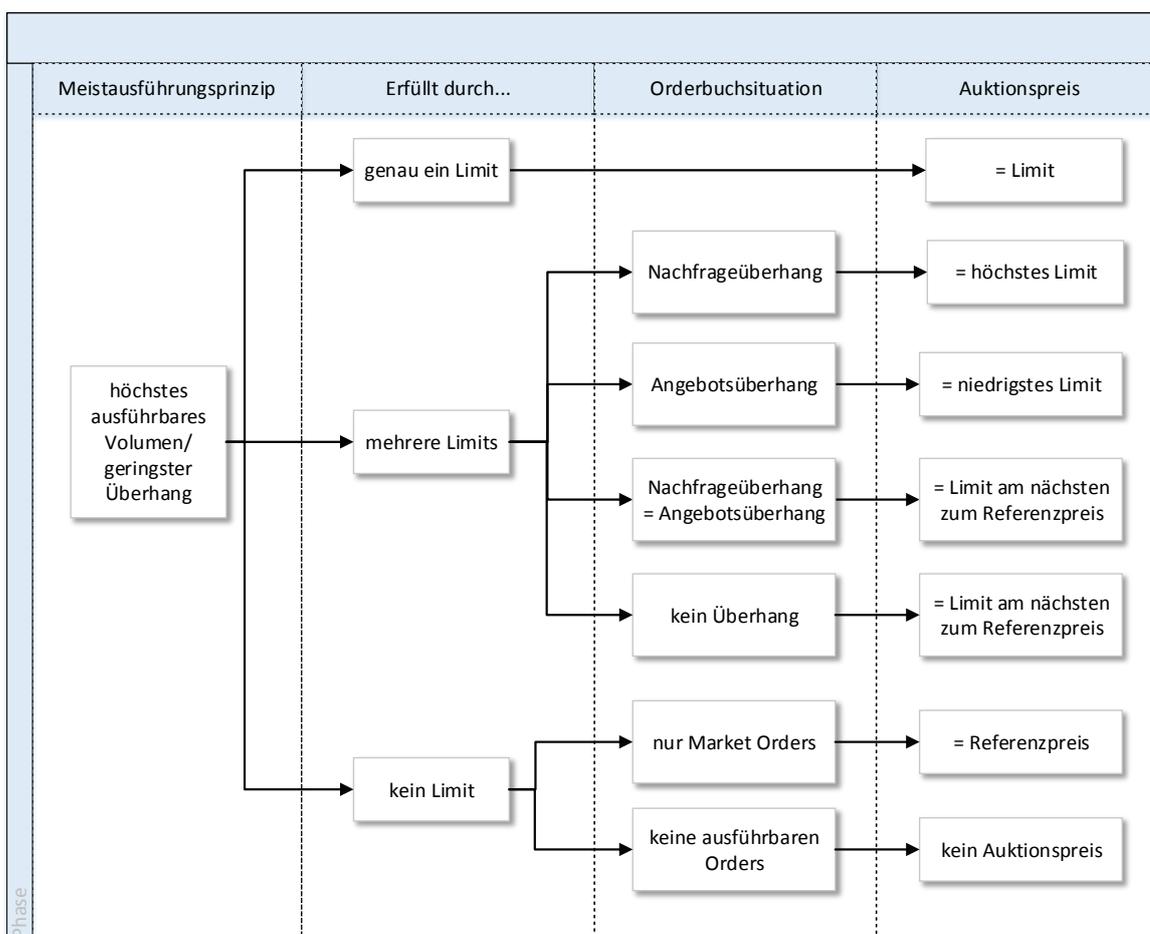


Abbildung 11: Übersicht der Preisermittlung im Auktionshandel  
[Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 47)]

## Matchingergebnisse

Wie in Abbildung 12 dargelegt, gilt für Einzelkontrakte, dass Verkaufsaufträge (Angebot) zur vollständigen Ausführung kommen, wenn ihr Preis unterhalb des MCP liegt. Dementsprechend werden Kaufaufträge (Nachfrage) vollständig ausgeführt, wenn ihr Preis oberhalb des Auktionspreises liegt. Entspricht das gesetzte Preislimit dem MCP wird der Auftrag nicht oder nur teilweise ausgeführt (EPEX Spot, 2015, S. 15). Welche Gebote teilausgeführt werden, wenn das Preislimit mehrerer Aufträge mit dem MCP übereinstimmt, ist abhängig vom Eingabezeitpunkt.

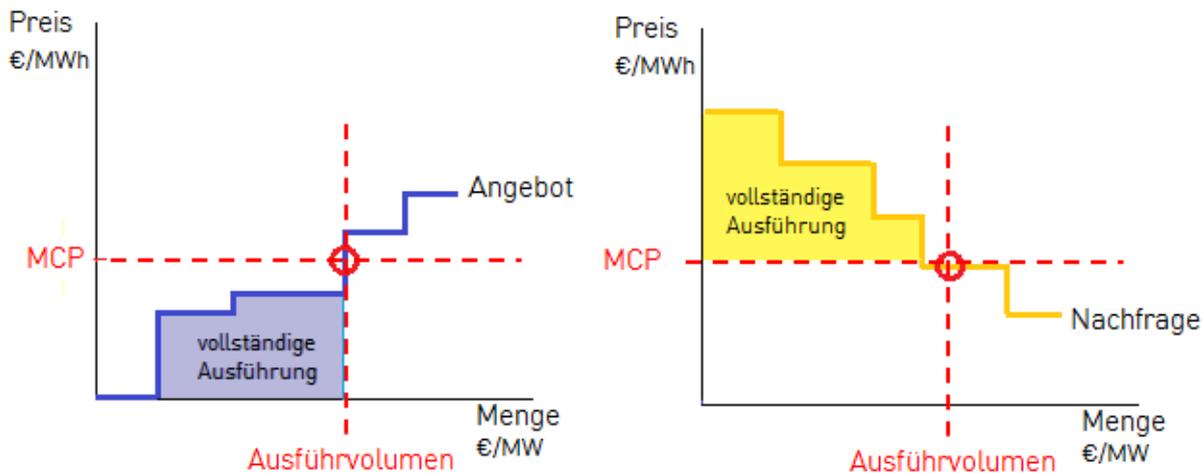


Abbildung 12: Ausführbare Aufträge im Auktionshandel [Eigene Darstellung]

Äquivalent gilt für Blockgebote, dass Verkaufsaufträge nur ausgeführt werden, wenn ihr Preislimit unterhalb der volumengewichteten durchschnittlichen Auktionspreise der Stundenkontrakte liegt auf denen sie basieren (ebd.). Gegenteiliges gilt für Kaufaufträge. Blockgebote können nur vollständig mit gleichen Blockkontrakten oder mit einer Kombination mehrerer Einzelstundenkontrakte ausgeführt werden (EPEX Spot, 2015, S. 14).

### 3.3.4 Matchingprozesse im kontinuierlichen Handel

Die wichtigsten Ordertypen im kontinuierlichen Handel an der EEX sind folgende:

- **Limit Orders** (siehe Kapitel 3.3.3)
- **Market Orders** (siehe Kapitel 3.3.3)
- **Iceberg Orders**

Große Aufträge können in mehrere kleine Teilmengen (Peaks) aufgeteilt werden, die nacheinander in das Orderbuch eingestellt werden (EPEX Spot, 2015, S. 26). Dies ermöglicht Marktteilnehmern das sukzessive Einstellen von Orders mit großem Volumen, ohne dass das Gesamtvolumen für andere Marktteilnehmer ersichtlich ist. Nachstehende Ausführbedingungen können nicht auf Iceberg Orders angewendet werden (EPEX Spot, 2015, S. 27).



Neben den genannten Ordertypen gibt es noch weitere, die in dieser Arbeit nicht betrachtet werden. Ausführbedingungen und Gültigkeitsbedingungen unterscheiden sich im Termin und Spotmarkt. Die wichtigsten werden im Folgenden genannt.

### **Spotmarkt Intraday: Ausführbedingungen**

- **Immediate-or-cancel (IOC)**  
Eine Order kann nur sofort ausgeführt werden. Liegt kein passendes Gebot vor, wird eine IOC-Order nicht ins Orderbuch übernommen sondern sofort gelöscht (EPEX Spot, 2015, S. 26). Eine Teilausführung ist möglich; verbleibende Restmengen werden automatisch gelöscht (ebd.).
- **Fill-or-kill (FOK)**  
FOK-Orders werden entweder sofort, komplett ausgeführt oder gelöscht (ebd.). Sie werden nicht ins Orderbuch übernommen (ebd.). Eine Teilausführung ist nicht möglich. Eine FOK-Ausführbedingung kann nicht auf Limit Orders angewendet werden (EEX, 2015, S. 23).
- **All-or-nothing (AON)** (siehe Kapitel 3.3.3)

### **Spotmarkt Intraday: Gültigkeitsbedingungen**

- **Good for session**  
Abgegebene Gebote sind bis zum Ende von Handelsdatum und –zeit des Kontraktes gültig, sofern sie nicht vorher gelöscht oder ausgeführt werden (ebd.).
- **Good till date**  
Abgegebene Gebote sind bis zu einem vom Handelsteilnehmer festgelegten Zeitpunkt gültig, sofern sie nicht vorher gelöscht oder ausgeführt werden (ebd.).

### **Terminmarkt: Gültigkeitsbedingungen**

- **Good for day**  
Abgegebene Orders sind nur an einem Tag gültig (EEX, 2015, S. 18).
- **Good till cancelled**  
Abgegebene Orders sind gültig, bis sie widerrufen werden (ebd.).
- **Good till date** (siehe oben)

Sofern eingehende Orders die im vorigen Kapitel genannten Anforderungen erfüllen, werden sie im kontinuierlichen Handel sofort auf Ausführbarkeit gegenüber Aufträgen im Orderbuch überprüft (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 23). Die Matchingreihenfolge wird entsprechend der *Preis-Zeit-Priorität* bestimmt (ebd.). Aufträge die nicht sofort ausgeführt werden können, werden entsprechend der *Preis-Zeit-Priorität* in das Orderbuch des zugehörigen Kontraktes übernommen, es sei denn dies widerspricht ihren Ausführbedingung (EEX, 2015, S. 16). *Market Orders* haben im Orderbuch Vorrang vor *Limit Orders* (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 29). Aufträge die sich im Orderbuch befinden können jederzeit vom Handelsteilnehmer geändert oder gelöscht werden (ebd.). Eine Preisänderung oder Volumenerhöhung gilt als neuer Auftrag mit neuem Zeitstempel (ebd.). Bei *Iceberg Orders* werden die von Auftraggeber definierten Peaks nacheinander eingestellt (EPEX Spot, 2015, S. 26f.). Sobald ein Peak ausgeführt wurde, wird das nächste eingestellt bis das Gesamtvolumen erfüllt ist. Dabei wird jedes Peak als neue Order mit neuem Zeitstempel behandelt (ebd.). Abgesehen vom letzten umfassen die einzelnen Peaks jeweils dasselbe Volumen (ebd.).

### Ausführungs- und Preisbildungsregeln

In Abbildung 13 stehen sich im Orderbuch nur limitierte Aufträge gegenüber. Da das beste Kauflimit (40 €/Stück) unterhalb des besten Verkaufslimit (43 €/Stück) liegt, kommt es in diesem Zustand zu keinem Matching.

Bid			Ask		
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit
09:00	100	40	43	200	08:59
09:01	200	40	46	100	09:00
08:58	150	38	48	100	09:00

**bestes Kauflimit < bestes Verkaufslimit**

Abbildung 13: Orderbuch ohne ausführbare Limit Orders [Eigene Darstellung]

Wenn nun wie in Abbildung 14 ein neuer Auftrag eingeht, wird sofort überprüft, ob für diesen ausführbare Orderbucheinträge auf der gegenüberliegenden Seite vorliegen. Sofern das beste Kauflimit dem besten Verkaufslimit entspricht oder über diesem liegt, kommt es zum Matching. Im folgenden Beispiel geht eine Limit Order auf Ask-Seite ein. Diese kann mit den im

Orderbuch befindlichen Bid-Aufträgen zu 40 €/St. ausgeführt werden. Zunächst werden die 100 Stück des besten Verkaufsgebotes ausgeführt, danach folgen die 200 Stück des Gebotes mit der nächstniedrigeren Priorität. Die verbleibenden 200 Stück der eingehenden Verkauforder, für die keine passenden Kaufaufträge vorliegen, werden in das Orderbuch übernommen. Trifft ein eingehendes Verkaufsgebot (Ask) auf ein ausführbares Kaufgebot (Bid), entspricht der Matchingpreis aufgrund der Zeitpriorität dem Preislimit des Kaufgebotes (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 55). Geht hingegen ein Kaufgebot ein, ist der Matchingpreis gleich dem Verkaufslimit (ebd.). Dies gilt sowohl für eingehende Limit Orders als auch für Market Orders (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 55f.).

Bid			Ask		
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit
09:00	100	40	43	200	08:59
09:01	200	40	46	100	09:00
08:58	150	38	48	100	09:00

**bestes Kauflimit  $\geq$  eingehendes Verkaufslimit**

**Ordereingang**  
Ask  
39 €/St.  
500 St.  
09:03 Uhr

Abbildung 14: Orderbuch mit ausführbaren Limit Orders  
[Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 66)]

Trifft eine Limit oder Market Order auf ein Orderbuch in dem sich sowohl limitierte als auch unlimitierte Aufträge befinden ist der, von der Börse festgelegte, Referenzpreis (RP) entscheidend (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 54f.). In Abbildung 15 trifft die eingehende Verkauforder auf limitierte und unlimitierte Kauforders. Die (Bid-) Market Order hat die höchste Priorität und kommt zur Ausführung. Da in diesem Fall der Referenzpreis (41 €/St.) über dem besten Kauflimit (40 €/St.) liegt, wird das Matching zum Referenzpreis ausgeführt.

**Referenzpreis = 41 €/St.**

Bid			Ask		
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit
09:05	300	Market			
09:01	200	40			
08:58	150	38			

**Referenzpreis  $\geq$  bestes Kauflimit**

**Ordereingang**  
Ask  
39 €/St.  
200 St.  
09:06 Uhr

Abbildung 15: Orderbuch mit ausführbaren Limit und Market Orders zum Referenzpreis  
[Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 66)]

Liegt, wie in Abbildung 16 dargestellt, der Referenzpreis (39 €/St.) hingegen unterhalb des besten Kauflimits (40 €/St.) wird die eingehende Ask Order mit der Bid-Market Order zum besten Kauflimit (40 €/St.) ausgeführt.

Bid			Ask		
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit
09:05	300	<b>Market</b>			
09:01	200	<b>40</b>			
08:58	150	38			

Referenzpreis = 39 €/St.

**Referenzpreis < bestes Kauflimit**

**Ordereingang**  
Ask  
39 €/St.  
200 St.  
09:06 Uhr

Abbildung 16: Orderbuch mit ausführbaren Limit und Market Orders zum besten Kauflimit [Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 66)]

Liegen für eine eingehende Limit Order nur ausführbare Market Orders auf der gegenüberliegenden Seite des Orderbuches vor, so entspricht der Ausführungspreis dem Preislimit des eingehenden Auftrags, wenn dessen Verkaufslimit unter, bzw. dessen Kauflimit über dem Referenzpreis liegt (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 55). Im Beispiel von Abbildung 17 wird die Bid-Market Order mit der eingehenden limitierten Ask-Order zum Verkaufslimit von 39 €/St. ausgeführt.

Bid			Ask		
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit
09:05	300	<b>Market</b>			

Referenzpreis = 38 €/St.

**Ausführungspreis = Verkaufslimit**

**Ordereingang**  
Ask  
**39 €/St.**  
200 St.  
09:06 Uhr

Abbildung 17: Orderbuch mit ausführbaren Market Orders zum besten Verkaufslimit [Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 67)]



Für eingehende Kaufaufträge gelten entsprechend umgekehrte Regeln. Diese gehen aus Abbildung 18 hervor. Liegen für eine eingehende Market Order nur Market Orders auf der gegenüberliegenden Seite des Orderbuches vor, so entspricht der Ausführungspreis dem Referenzpreis (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 54). Um faire Preise sicherzustellen, werden Market Orders nur mit Limit Orders zusammengeführt, wenn sich dessen Preislimit innerhalb einer festgelegten Preisspanne um den Preis des letzten zustande gekommenen Geschäftsabschluss befindet (EEX, 2015, S. 21f.). Andernfalls können eingehende Limit Orders mit passenden Limit Orders ausgeführt werden (ebd.).

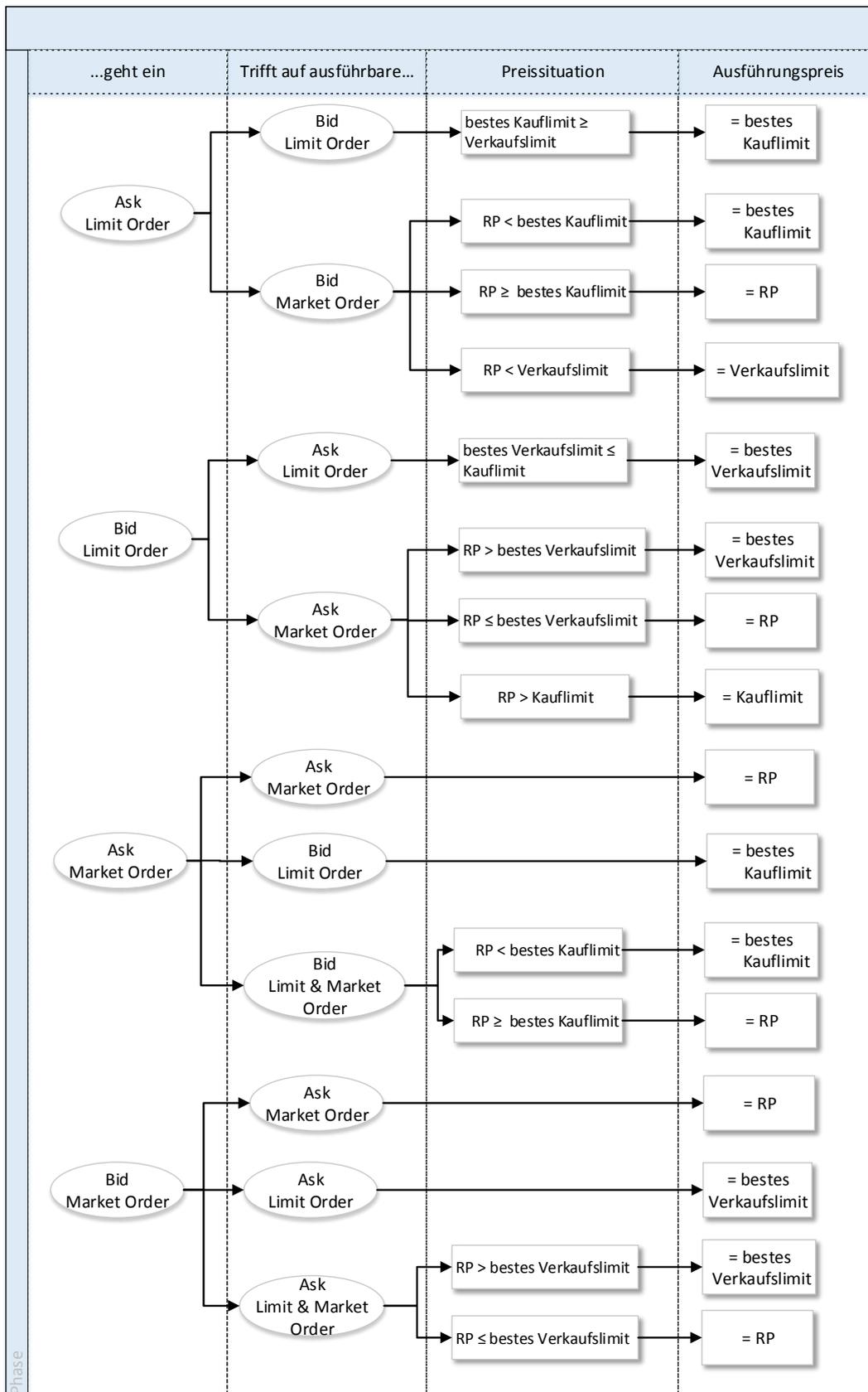


Abbildung 18: Übersicht der Preisbildungsregeln im kontinuierlichen Handel  
 [Eigene Darstellung nach: (Deutsche Börse AG, 2015b, S. 54f.)]



### 3.4 Bereitstellung und Handel von Regelenergie

Nachdem alle anderen Handelsaktivitäten abgeschlossen sind, findet der Handel von Regelenergie initiiert durch die Übertragungsnetzbetreiber statt. Der ÜNB ist für die Sicherstellung des stabilen Netzzustands verantwortlich. Zu seiner Hauptaufgabe gehört der ständige Ausgleich von Leistungsungleichgewichten und Frequenzabweichungen (*Leistungs-Frequenz-Regelung*) (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 257). Gründe für ein Ungleichgewicht zwischen Einspeisung und Entnahme können begründet sein durch:

- den Ausfall von Erzeugungseinheiten
- den Ausfall oder die Zuschaltung großer Lasten
- Prognoseabweichungen

(Konstantin, 2013, S. 468)

Je nach Abweichung kann die Netzfrequenz zu- oder abnehmen (Konstantin, 2013, S. 471). Liegt ein Leistungsdefizit vor wird positive Regelleistung, z.B. durch zuschalten von Reservekapazitäten, benötigt (ebd.). Bei einem Leistungsüberhang wird hingegen negative Regelleistung, z.B. durch abschalten steuerbarer Lasten, beansprucht (ebd.). Jede Regelzone enthält mehrere Bilanzkreise. Jeder Stromversorger und Stromhändler muss Zugang zu einem Bilanzkreis haben, in dem alle von ihm getätigten Einspeisungen und Entnahmen bilanziert werden (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 257). Ein Bilanzkreisverantwortlicher übermittelt die Fahrpläne mit den prognostizierten Einspeise- und Entnahmemengen an den zuständigen ÜNB (ebd.). Dem Bilanzkreisverantwortlichen obliegt die Aufgabe seine Bilanz für jede Viertelstunde ausgeglichen zu halten (Consentec GmbH, 2014, S. 6). Fahrplanabweichungen werden vom ÜNB durch den Einsatz von Regelenergie ausgeglichen und dem Bilanzkreisverantwortlichen als Ausgleichsenergie in Rechnung gestellt (Bundesnetzagentur, 2011a, S. 46). Abweichungen die einen Regelenergieeinsatz verursachen führen zu Kosten für den Bilanzkreisverantwortlichen, wohingegen Abweichungen die der Ursache entgegenwirken entlohnt werden (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 259). Als Basis für die Abrechnung dienen die durchschnittlichen gewichteten Arbeitspreise der eingesetzten Regelenergie (ebd.). Die Summe der Abweichungen aller Bilanzkreise einer Regelzone entsprechen dem Regelzonensaldo (Consentec GmbH, 2014, S. 6). Das deutsche Übertragungsnetz ist in vier Regelzonen unterteilt,

deren verantwortliche ÜNB im Rahmen des Netzregelverbundes miteinander kooperieren (Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 258). Die Leistungsungleichgewichte der einzelnen Regelzonen werden saldiert und der Gesamtsaldo durch den Einsatz von Regelenergie ausgeglichen (ebd.). Die Bereitstellung von Regelenergie erfolgt, wie in Abbildung 19 veranschaulicht, in drei Stufen:

### 1. Primärregelenergie

Sie wird innerhalb von 30 Sekunden vollautomatisch aktiviert und muss mindestens 15 Minuten lang zur Verfügung stehen. Sie dient der kurzfristigen Stabilisierung der Netzfrequenz (Bundesnetzagentur, 2013 & Ströbele, Pfaffenberger, & Heuterkes, 2013, S. 258).

### 2. Sekundärregelenergie

Sie löst die Primärregelung schrittweise ab und muss innerhalb von fünf Minuten in voller Höhe abrufbar sein (ebd.).

### 3. Minutenreserve

Sie wird manuell zur Ablösung der Sekundärregelenergie innerhalb von 7,5 Minuten eingeschaltet und wird mindestens 15 Minuten lang abgerufen (ebd.).

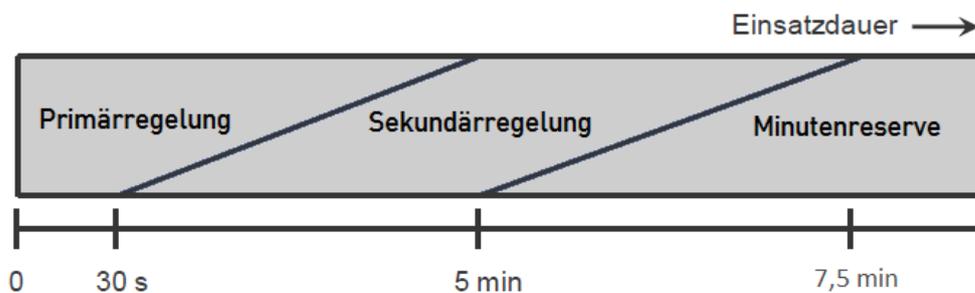


Abbildung 19: Stufenkonzept der Regelenergiebereitstellung  
[Eigene Darstellung nach: (Consentec GmbH, 2014, S. 13)]

## Ausschreibung

Die ÜNB sind verpflichtet durchgehend ausreichend Regelenergie bereitzustellen (Konstantin, 2013, S. 469). Zu diesem Zweck führen sie Ausschreibungen für die einzelnen Regelenergiearten durch, an denen alle Betreiber von geeigneten Anlagen teilnehmen können. Die prinzipielle Funktionsweise der Ausschreibung geht aus Abbildung 20 hervor. Die Ausschreibung erfolgt über die Internetplattform [www.regelleistung.net](http://www.regelleistung.net).

Regelleistungsanbieter können hier, für die Regelzone der sie angehören, Gebote abgeben. Die Ausschreibung für *Sekundärregelenergie* und *Minutenreserve* erfolgt getrennt nach positiver und negativer Regelleistung (Consentec GmbH, 2014, S. 21f.). Anlagen die *Primärregelenergie* bereitstellen müssen hingegen in der Lage sein sowohl eine Leistungserhöhung als auch eine Leistungsabsenkung zu erbringen (ebd.).

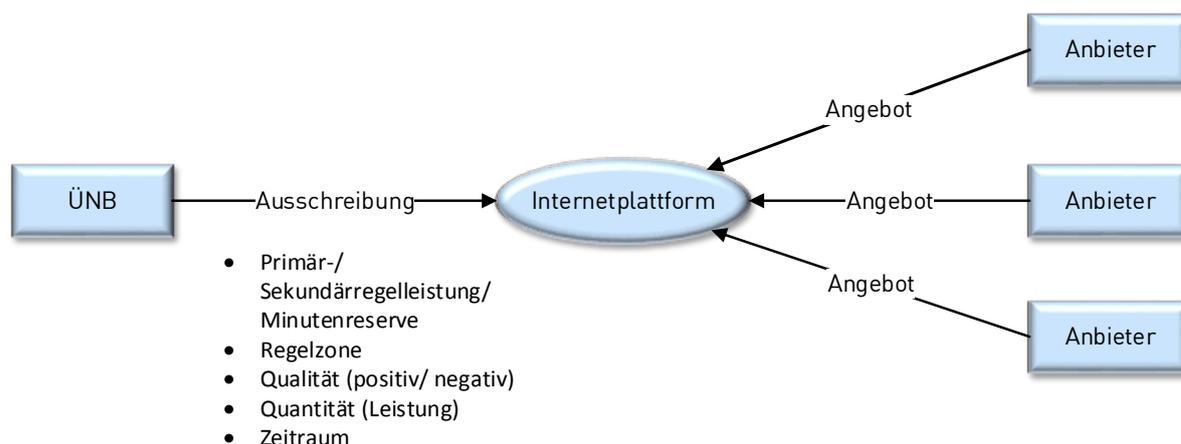


Abbildung 20: Ausschreibung im Regelleistungsenergiemarkt [Eigene Darstellung]

Die Ausschreibung für Regelleistung vergütet als einzige Marktform bereits die Bereitstellung von Kraftwerkskapazitäten (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 57). Die vorgehaltene Kraftwerksleistung kann im Bedarfsfall kurzfristig vom zuständigen ÜNB abgerufen werden (ebd.). Bei der Sekundärregelleistung und der Minutenreserve enthält jedes Gebot einen Leistungspreis und einen Arbeitspreis (Consentec GmbH, 2014, S. 22f.). Bei der Primärregelleistung wird indes nur die Kapazitätsvorhaltung entsprechend des Leistungspreises vergütet (ebd.). Die Preise werden im *Pay-as-bid* Verfahren ermittelt (siehe Kapitel 3.2.1) (Zenke & Wollschläger, 2015, S. 57). Die Bereitstellung von Regelleistung kann durch einzelne Erzeugungseinheiten oder durch einen Pool mit mehreren Anlagen erfolgen (Consentec GmbH, 2014, S. 17). Dies ermöglicht auch kleinen Anlagen die Teilnahme am Regelleistungsenergiemarkt. Sollte die vom ÜNB ausgeschriebene Regelleistungsmenge nach Durchführung der Auktion nicht gedeckt sein, wird eine weitere Auktion durchgeführt (Consentec GmbH, 2014, S. 3).

## **Präqualifikation**

Alle Anbieter, die an der Ausschreibung für Regellenergie teilnehmen wollen, müssen ihre Anlagen zunächst einer Präqualifikation unterziehen. Die Präqualifikation erfolgt durch einen Testabruf ihrer Leistung durch den zuständigen ÜNB. Ziel ist es die ordnungsgemäße Erbringung der Regelleistung, im laufenden Betrieb unter Beachtung wirtschaftlicher Aspekte, nachzuweisen (Consentec GmbH, 2014, S. 17). In der Präqualifikation wird die Höhe der Leistung, die innerhalb des Aktivierungszeitraums für die jeweilige Regelleistungsstufe abgerufen werden kann, festgelegt (Consentec GmbH, 2014, S. 18). Darüber hinaus werden leit- und kommunikationstechnische Anbindung und organisatorische Voraussetzungen (z.B. Zustimmung des Bilanzkreisverantwortlichen) überprüft (ebd.). Im Falle eines Anlagenpools wird dieser als Gesamteinheit präqualifiziert (Consentec GmbH, 2014, S. 18f.). Eine erfolgreiche Präqualifikation berechtigt den Anbieter zur Teilnahme am Regelleistungsmarkt für die entsprechende Regelleistungsstufe.

### **3.4.1 Primärregelenergie**

Primärregelenergie wird zumeist durch große thermische Kraftwerke erbracht. Diese halten im Normalbetrieb einen geringen Anteil ihrer Leistung vor, um diesen im Bedarfsfall zur Verfügung zu stellen (Konstantin, 2013, S. 469f.). Die Ausschreibung der Primärregelleistung findet in der jeweiligen Vorwoche für einen Erbringungszeitraum von Montag 00:00 Uhr bis Sonntag 24:00 Uhr statt (Bundesnetzagentur, 2011a, S. 2). Für die Zukunft strebt die Bundesnetzagentur eine tägliche Ausschreibung an, um eine kurzfristige Beschaffung und engere Vernetzung mit den Spotmärkten zu ermöglichen (Bundesnetzagentur, 2011a, S. 27). Die Ausschreibung der Primärregelenergie erfolgt regelzonenübergreifend (Bundesnetzagentur, 2011a, S. 2). Ausgewählt werden die Angebote nach ihrem Leistungspreis und Eingabezeitpunkt (ebd.). Auf Antrag des ÜNB kann die Anschlussregelzone als weiteres Kriterium herangezogen werden (ebd.). Die Mindestangebotsgröße beträgt 1 MW, wobei eine Poolung von Anlagen der gleichen Regelzone zulässig ist (Bundesnetzagentur, 2011a, S. 3). Dies ermöglicht den Einsatz von Anlagen deren Leistung nicht über dem gesamten Erbringungszeitraum zur Verfügung gestellt werden kann (z.B. Stromspeicher) (Bundesnetzagentur, 2011a, S. 40). Der Anbieter entscheidet welche Anlagen eines Pools er zur Erbringung der Regelleistung einsetzt (ebd.).



Präqualifizierte Anlagen können zu Beginn jeder Viertelstunde einem Pool zugeordnet werden (ebd.). Nach Durchführung der Auktion werden die Anbieter innerhalb einer Stunde darüber informiert, ob ihre Angebote einen Zuschlag erhalten haben (Bundesnetzagentur, 2011a, S. 33). So haben sie die Möglichkeit ihre verbleibenden Kapazitäten anderweitig anzubieten (ebd.).

### 3.4.2 Sekundärregelenergie

Für die Bereitstellung von Sekundärregelenergie werden flexiblere Anlagen, als für die Primärregelenergie, benötigt. Klassischerweise werden regelfähige thermische Kraftwerke oder auch (Pump-) Speicherkraftwerke eingesetzt (Consentec GmbH, 2014, S. 12). Inzwischen werden auch vermehrt Kraftwerkspools genutzt (ebd.). Die Ausschreibung findet in der jeweiligen Vorwoche, einen Tag nach Ausschreibung der Primärregelung, für einen Erbringungszeitraum von Montag 00:00 Uhr bis Sonntag 24:00 Uhr statt (Bundesnetzagentur, 2011b, S. 2). Die Vorhaltung und Erbringung der Sekundärregelenergie wird in zwei Zeitscheiben (Haupt- und Nebenzeit) differenziert (ebd.). Die Hauptzeit umfasst den Zeitraum Montag bis Freitag von 08:00 Uhr bis 20:00 Uhr, entsprechend beinhaltet die Nebenzeit die restlichen Zeitstunden sowie die Wochentage Samstag und Sonntag (ebd.). Um zukünftig kurzfristige Flexibilitäten in den Sekundärregelmarkt einzubeziehen, erwägt die Bundesnetzagentur künftig sechs Zeitscheiben von je vier Stunden anzubieten (Bundesnetzagentur, 2011b, S. 5). Die Zuschlagserteilung erfolgt in aufsteigender Reihenfolge nach den Leistungspreisgeboten, wohingegen der Abruf auf der Merit Order der Arbeitspreise basiert (Bundesnetzagentur, 2011b, S. 2). Der Sekundärregelbedarf wird regelzonenübergreifend ausgeschrieben (Bundesnetzagentur, 2011b, S. 3). Bei Bedarf kann der ÜNB beantragen neben dem Leistungspreis die Anschlussregelzone als Auswahlkriterium aufzuführen (ebd.). Die Mindestangebotsgröße beträgt 5 MW (ebd.). Eine Poolung von Anlagen ist zulässig (ebd.) Hierfür gelten die gleichen Regeln wie für die Primärregelung (siehe Kapitel 3.4.1).

### 3.4.3 Minutenreserve

Minutenreserve wird z.B. von schnellstartbaren Gasturbinen, virtuellen Kraftwerken, Biomasseanlagen oder auch nachfrageseitigen Flexibilitäten zur Lastreduktion bereitgestellt (Consentec GmbH, 2014, S. 12f.). Sie wird täglich, regelzonenübergreifend ausgeschrieben (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 2). Die Ausschreibung findet am jeweiligen Vortag des Erbringungszeitraumes, vor Beginn des EPEX Spot-Handels, statt (ebd.). Durch die zeitnahe Ausschreibung können Anbieter den Einsatz ihrer Kapazitäten, insbesondere kleinerer Anlagen, besser planen (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 27). Dies soll potenziellen Anbietern den Markteintritt erleichtern und zur Marktliquidität beitragen (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 26). Ausgeschrieben werden sechs Zeitscheiben zu je vier Stunden (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 2). Derzeit wird eine Umstellung auf 96 Viertelstundenzeitscheiben diskutiert. Dies berücksichtige die Tatsache, dass Minutenreserve ein Fahrplanprodukt darstellt und soll die Kompatibilität zu Börsenprodukten ermöglichen (Bundesnetzagentur, 2015, S. 15). Die Zuschlagserteilung erfolgt in aufsteigender Reihenfolge der Leistungspreisgebote, während die Abrufreihenfolge anhand der Arbeitspreisgebote ermittelt wird (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 2, 7). Auf Antrag des ÜNB kann für die Zuschlagserteilung neben dem Leistungspreis auch die Anschlussregelzone als Auswahlkriterium berücksichtigt werden (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 2). Die Mindestangebotsgröße beträgt 5 MW (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 3). Dabei können Anbieter ihre Angebote mit einer Leistung bis zu 25 MW als unteilbar kennzeichnen (ebd.). Sollte die Ausschreibungsgesamtmenge durch Berücksichtigung unteilbarer Angebote überschritten werden, kann der ÜNB diese Angebote bei Zuschlagserteilung überspringen (ebd.). Eine Poolung ist analog der Vorgaben in Kapitel 3.4.1 zulässig. Der bisher praktizierte manuelle Abruf durch telefonische Kontaktaufnahme mit den Anlagenbetreibern ist aufgrund steigender Angebotszahlen durch die zunehmende Teilnahme kleinerer Anlagen nicht mehr praktikabel (Bundesnetzagentur, 2011c, S. 39). Dementsprechend wurde ein automatischer Datenaustausch zum Abruf der Minutenreserve über eine Informationsschnittstelle zwischen ÜNB und Anbieter angeordnet (ebd.).

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Produktmerkmale der einzelnen Regelleistungsstufen zusammengefasst.

	<b>Primärregelung</b>	<b>Sekundärregelung</b>	<b>Minutenreserve</b>
<b>Ausschreibungszeitraum</b>	wöchentlich	wöchentlich	täglich
<b>Produktzeitscheiben</b>	keine	Hauptzeit: Mo-Fr, 8-20h Nebenzeit: restlicher Zeitraum	6 x 4h-Blöcke
<b>Produktdifferenzierung</b>	keine	positive/ negative Regelleistung	positive/ negative Regelleistung
<b>Mindestangebotsgröße</b>	1 MW	5 MW	5 MW; unteilbare Blockgebote bis 25 MW möglich
<b>Vergabekriterien</b>	Leistungspreis (Anschlussregelzone)	Leistungspreis (Anschlussregelzone)	Leistungspreis (Anschlussregelzone)
<b>Vergütung</b>	Pay-as-bid (Leistungspreis)	Pay-as-bid (Leistungspreis & Arbeitspreis)	Pay-as-bid (Leistungspreis & Arbeitspreis)

*Tabelle 1: Übersicht der Produktmerkmale im Regelenenergiemarkt  
[Eigene Darstellung nach: (Consentec GmbH, 2014, S. 22)]*

## 4 Flex4Energy

Im Projekt Flex4Energy wird eine Handelsplattform zur Vermarktung von dezentralen Flexibilitäten entwickelt. Neben einem theoretischen Konzeptentwurf für den Flexibilitätsmarkt, wird ein Pilotsystem der *Flexibilitätshandelsplattform* (FHP) umgesetzt (Ruppert & Ochs, 2016, S. 1). Die FHP dient dazu Handelsmechanismen unter realen Bedingungen zu testen. Zu diesem Zweck werden bestehende Anlagen im Netzgebiet der ENTEGA AG zu einer virtuellen Netzzelle zusammengefasst. Für diese Anlagen können an der FHP Angebote abgegeben werden, die bei einem Matching mit passenden Anfragen physisch erbracht werden. Im Testbetrieb übernimmt die ENTEGA AG als Verteilnetzbetreiber die Rolle des Anfragers. Die ads-tec GmbH tritt als Anbieter auf. Eine Anbindung weiterer Anbieter und Anfrager ist prinzipiell möglich. In diesem Kapitel wird das Konzept und die grundsätzliche Funktionsweise der FHP vorgestellt.

### 4.1 Projektraum

#### Relation zum aktuellen Stand der Forschung

Im Kontext der vom BMWi initiierten Diskussion über die Ausgestaltung des zukünftigen Strommarktes (Strommarkt 2.0) haben sich mehrere Institutionen und Unternehmen der Energiewirtschaftsbranche für die Einführung eines Flexibilitätsmarktes ausgesprochen. Die Diskussionsergebnisse wurden im Juli 2015 im Weißbuch: *„Ein Strommarkt für die Energiewende“* zusammengetragen (BMWi, 2015a). Zu nennen ist in diesem Zusammenhang das Positionspapier: *„Flexibilitätsvermarktung im deutschen Strommarkt“* des bne. In diesem befasst sich der bne mit der zukünftigen Rollenverteilung neuer Marktakteure im Flexibilitätsmarkt. Laut bne seien insbesondere die Kompetenzbereiche des klassischen Stromlieferanten, des integrierten Flexibilitätsvermarkters, der sowohl Stromlieferant als auch Flexibilitätsvermarkter ist, und des Aggregators zu differenzieren (bne, 2015, S. 2). Die Rolle des Aggregators wurde vom BMWi in das oben genannten Weißbuch aufgenommen. *„[Aggregatoren] identifizieren und bewerten flexible Verbraucher, stellen die notwendige technische Anbindung dieser Verbraucher sicher und bringen die Flexibilität in den Markt“* (BMWi, 2015a, S. 72). Der bne sieht als wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung eines Flexibilitätsmarktes die Erstellung eines Rechte- und Pflichtenkataloges für die Marktakteure



(bne, 2015, S. 2). Diese Thematik wurde im Projekt Flex4Energy bereits in einer weiteren Abschlussarbeit behandelt.<sup>3</sup> Weitere thematische Überschneidungen bestehen mit der VDE Studie *„Regionale Flexibilitätsmärkte – Marktbasierte Nutzung von regionalen Flexibilitätsoptionen als Baustein zur erfolgreichen Integration von Erneuerbaren Energien in die Verteilungsnetze“* aus dem Jahr 2014. In dieser wird die „konzeptionelle Ausgestaltung eines Marktmechanismus zur Nutzung regionaler Flexibilitätsoptionen bei auftretenden kritischen Netzsituationen durch den Verteilungsnetzbetreiber“ beschrieben (VDE, 2014, S. 7). Das Konzept des VDE baut auf der Einführung eines Netzampelmodells auf (VDE, 2014, S. 44). Mit der Netzampel werden unterschiedliche Netzzustände, vom regulären Netzbetrieb (grüne Ampelphase) bis zum kritischen Netzzustand (rote Ampelphase), abgebildet (VDE, 2014, S. 44f.). Die Ampelphase hat direkten Einfluss auf das Handelsgeschehen am Flexibilitätsmarkt, da dem Verteilnetzbetreiber als Sonderfunktion regulierende Eingriffe in den Handel bei kritischen Situationen ermöglicht werden (ebd.). Im Projekt Flex4Energy wird die Netzampel als separater, übergeordneter Prozess verstanden. Daher wird in dieser Arbeit die Thematik der Netzampel nicht weiter behandelt. Die beschriebenen Matchingprozesse beschränken sich auf den Handel während des regulären Netzbetriebes (grüne Ampelphase). Die Auswirkungen von Netzzuständen werden in einer gesonderten Arbeit betrachtet.<sup>4</sup> Flex4Energy schließt an das im April 2015 abgeschlossene Forschungsprojekt Solver an. Bei diesem hat die Hochschule Darmstadt in Kooperation mit der ENTEGA AG und der ads-tec GmbH ein Pilotsystem zur Ansteuerung dezentraler Speichertechnologien im Stromnetz entwickelt. Mit diesem wurde zum einen die nötige Kommunikationstechnologie sowie der Einsatz von Batteriespeichern für verschiedene Systemdienstleistungen erprobt (Glottzbach & Ritschel, S. 1). Im Projekt Flex4Energy soll eine Marktplattform für dezentrale Systemdienstleistungen entwickelt und getestet werden.

---

<sup>3</sup> Siehe Sarah Aphram (2015): „Rechte und Pflichten von Akteuren in Flexibilitätsmärkten“.

<sup>4</sup> Siehe Sebastian Schall (2016): „Netzzustände als Steuerungsindikator des Marktmechanismus einer Handelsplattform für Energieflexibilität“.

## **Projektbeteiligung**

Das Projekt Flex4Energy wird vom BMWi mit rund 3 Mio. Euro gefördert (StoREgio Energiespeichersysteme e.V., 2015, S. 3). Das Pilotsystem umfasst neben bestehenden Anlagen im Netzgebiet der ENTEGA AG ein von der ads-tec GmbH bereitgestelltes Speichersystem und wird von der HSE in Darmstadt betrieben (StoREgio Energiespeichersysteme e.V., 2015, S. 3). Die Hochschule Darmstadt entwickelt in Absprache mit den Projektpartnern das theoretische Handelskonzept und realisiert dieses in der FHP (Ruppert, 2015, S. 2). Die Implementierung der anbieterseitigen Schnittstelle erfolgt durch die ads-tec GmbH (ebd.). Um das System vor unerlaubtem Zugriff und Manipulation zu schützen, wird ein Sicherheitskonzept vom Fraunhofer Institut für Experimentelles Software Engineering erarbeitet (StoREgio Energiespeichersysteme e.V., 2015, S. 3). Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme befasst sich mit der alterungsbedingten Abnutzung von Speichersystemen zur wirtschaftlichen Bewertung ihrer Einsatzmöglichkeiten und resultierende Preisanforderungen (ebd.). Die Projektsteuerung übernimmt StoREgio Energiespeichersysteme e.V. (ebd.). Der Projektzeitraum erstreckt sich vom April 2015 bis März 2018.

## **4.2 Marktkonzept**

Es wurde beschlossen, dass die FHP die Stellung eines neutralen Marktinstrumentes einnehmen soll, das den Marktteilnehmern einen diskriminierungsfreien Zugang und Handel ermöglicht (Mildenberger, 2015, S. 2). Im Pilotprojekt wird die FHP im Netzgebiet der ENTEGA AG implementiert. Generell ist die Existenz mehrerer Handelsplattformen innerhalb eines Netzgebietes möglich (ebd.).

## **Betreibermodell**

Die Strategiewahl obliegt grundsätzlich dem Plattformbetreiber. Im Rahmen des Pilotprojektes wurde die Umsetzung eines Händlermodells beschlossen (Mildenberger, 2015, S. 2). Der Plattformbetreiber übernimmt die Rolle des Händlers und ist bei jedem Vertragsabschluss Vertragspartner des Anbieters bzw. des Anfragers (Mildenberger, 2015, S. 7). Im Pilotprojekt übernimmt die ENTEGA AG die Rolle des Plattformbetreibers. Gleichzeitig tritt sie in ihrer Rolle als VNB als Flexibilitätsanfrager am Markt auf. Bei einer realen



Umsetzung im liberalisierten Markt ist das Contracting organisatorisch vom Plattformbetreiber zu trennen. So werden z.B. an der EEX diese Aufgaben vom Clearinghaus ECC übernommen (siehe Kapitel 3.3). Die Finanzierung erfolgt über ein Provisionsmodell mit variabel festlegbaren Trading-Fee auf Basis des gehandelten Kontraktvolumens (€/kWh bzw. €/kW\*a) (Ruppert, 2015, S. 8). Darüber hinaus sind weitere Jahrespauschalen oder Beitrittsgebühren zu definieren.

Eine denkbare Alternative wäre ein Arbitragemodell auf Basis eines *Pay-as-bid* Preisbildungsmechanismus (siehe Kapitel 3.2.1), bei dem Angebote und Anfragen so kombiniert werden, dass der Plattformbetreiber höchstmögliche Gewinne generiert. Dieses Finanzierungsmodell würde die Komplexität der zugrundeliegenden Matchingmechanismen deutlich erhöhen und den volkswirtschaftlichen Nutzen der FHP in Frage stellen. Eine mögliche Alternative zum Händlermodell ist ein Maklermodell, bei dem der Plattformbetreiber bilaterale Handelsgeschäfte zwischen Anbieter und Anfrager vermittelt, ohne selbst Vertragspartner zu sein (Mildenberger, 2015, S. 7). Bei erfolgreichem Vertragsabschluss erhält er dafür eine Provision (ebd.).<sup>5</sup>

### **Handelsmodell**

Der Handel an der FHP erfolgt in kontinuierlicher Form (Ruppert & Ochs, 2016, S. 5). Innerhalb der noch zu definierenden Handelszeiten können Flexibilitätsanbieter und -anfrager Gebote über eine Web-Oberfläche oder eine automatisierte Schnittstelle (siehe Kapitel 4.3) an die FHP übermitteln (ebd.). Alle eingehenden Gebote werden in das entsprechende elektronische Orderbuch aufgenommen und beim Matchingprozess, der in Kapitel 6 beschrieben wird, berücksichtigt. Das Orderbuch ist während der Handelszeiten offen (siehe Kapitel 3.2.2). D.h. FHP-Nutzer können alle noch nicht ausgeführten Gebote in anonymisierter Form einsehen. Gebote können bis 15 Minuten vor physischer Fälligkeit abgegeben, geändert oder gelöscht werden, sofern sie noch nicht mit einem komplementären Gebot ausgeführt wurden (Ruppert & Ochs, 2016, S. 6).

---

<sup>5</sup> Für weitere Ausführung der Betreibermodelle siehe Sarah Aphram (2015): „Rechte und Pflichten von Akteuren in Flexibilitätsmärkten“.

### 4.3 Marktteilnehmer und FHP-Nutzer

Mit einer weiteren Zunahme Erneuerbarer Energieanlagen im Verteilnetz und innovativer Technologien, wie Speichersystemen, wird der Anteil dezentraler Flexibilitäten steigen. Am Flexibilitätsmarkt werden somit neben den klassischen Stromhändlern neue Marktakteure auftreten, die ihre Flexibilitätpotenziale vermarkten wollen. Im Folgenden werden die Rollen der Marktteilnehmer und FHP-Nutzer kurz vorgestellt.

Abbildung 21 zeigt das Systemmodell und die Benutzerschnittstellen der FHP. Die verschiedenen Akteure können über ein Web-User-Interface (Web-UI) auf die webbasierte FHP zugreifen (Ruppert & Ochs, 2016, S. 4). Neben der FHP auf der die Handelsteilnehmer Flexibilitätsprodukte handeln können, gibt es eine Informationsseite *FHP Info* auf der allgemeine Marktdaten veröffentlicht werden. Für die Abrechnungserstellung und Prüfung werden des Weiteren externe Abrechnungs- (ERM), Zählerdatenmanagement- (ZDM) und Portfoliomanagementsysteme (PFM) benötigt (ebd.). Diese werden im Pilotsystem jedoch nicht umgesetzt (ebd.).

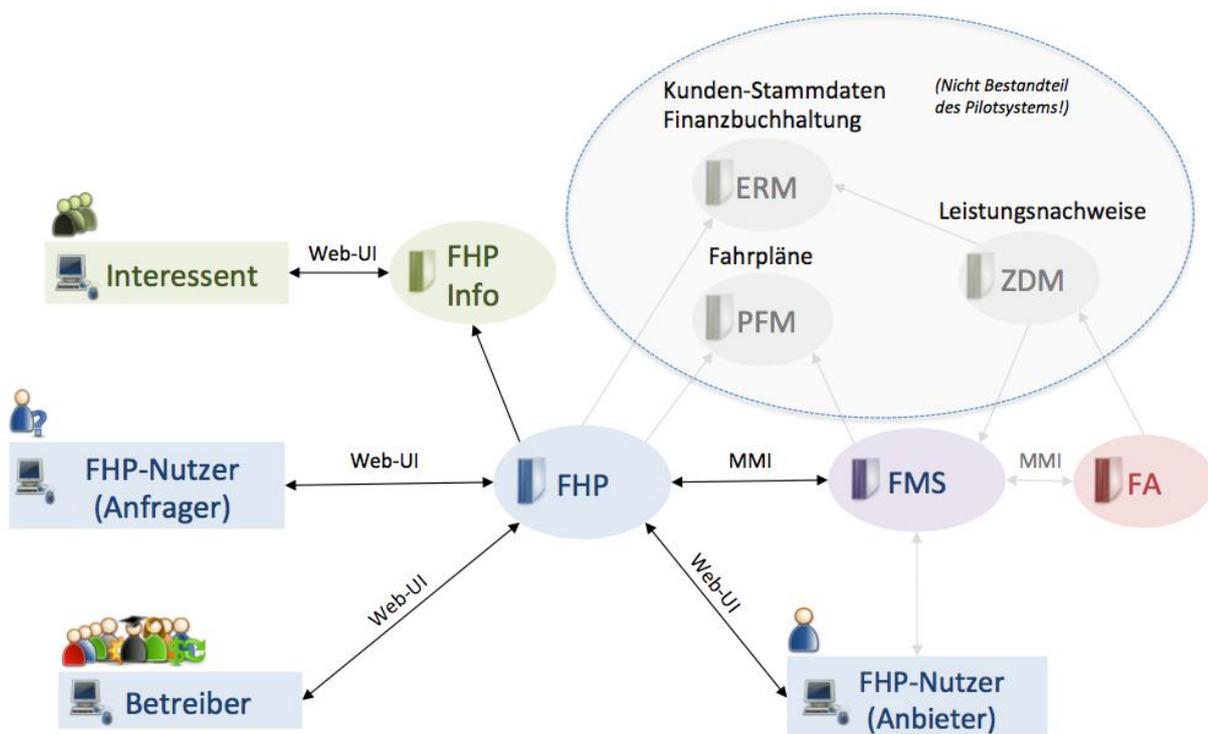


Abbildung 21: Überblick über die FHP und ihre Nutzer (Ruppert & Ochs, 2016, S. 4)

## Betreiber

Der FHP-Betreiber ist für den ordnungsgemäßen Betrieb der FHP, die die Vermarktung von Flexibilitätsprodukten auf Basis von Matchingmechanismen steuert, zuständig (Ruppert, 2016a, S. 3). Er definiert die Matchingmechanismen entsprechend seiner Betreiberstrategie (siehe Kapitel 4.2). Des Weiteren stellt er als Administrator die Onlineplattform FHP zur Verfügung, über die der Handel abläuft, sowie die Informationsseite *FHP Info*, auf der er anonymisierte Handelsergebnisse veröffentlicht. Der Betreiber schließt Rahmenverträge mit den FHP-Nutzern (Anbieter/ Anfrager) ab. Wie aus Abbildung 22 hervorgeht, ist der Betreiber bei jedem Geschäftsabschluss Vertragspartner. Kommt es zu einem Matching von Angebot und Anfrage, wird für jedes ausgeführte Gebot eine unabhängige Einzelvereinbarung mit dem jeweiligen Bieter erstellt.

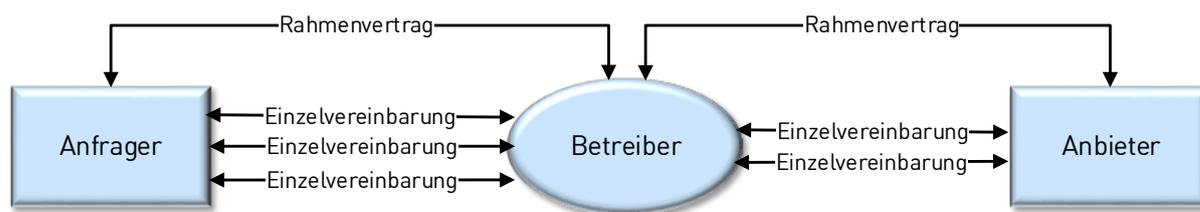


Abbildung 22: Vertragsverhältnisse zwischen Betreiber und FHP-Nutzer [Eigene Darstellung]

## Interessent

Interessenten können ohne vorherige Akkreditierung auf die öffentlich zugängliche FHP-Info Seite zugreifen. Dort können sie allgemeine Informationen über die FHP sowie veröffentlichte Marktdaten einsehen (Ruppert & Ochs, 2016, S. 3).

## FHP-Nutzer

FHP-Nutzer können mit Abschluss eines Rahmenvertrages als Anbieter oder Anfrager akkreditiert sein und Gebote über ein Web-UI auf der FHP einstellen. Hierfür steht jedem Nutzer ein geschützter Kundenbereich im Onlineportal zur Verfügung (Ruppert, 2016a, S. 9). In diesem können die Nutzer Gebote abgeben, ändern oder löschen, Orderbücher aufrufen sowie ihre Stammdaten einsehen und eigenverantwortlich pflegen (Ruppert, 2016a, S. 7). Der geschützte Kundenbereich dient ebenso der Kommunikation zwischen FHP-Betreiber und Nutzer (ebd.). So werden dort Einzelheiten zu erfolgten Vertragsabschlüssen und vergangenen

Geschäften angezeigt (Ruppert, 2016a, S. 8). Voraussetzung für die Akkreditierung und somit für die Teilnahme am Handel ist die Erfüllung verschiedener Anforderungen, die im Rahmenvertrag zwischen FHP-Betreiber und Nutzer vertraglich vereinbart werden. Für die Anbindung an die FHP müssen alle FHP-Nutzer die nötige IT-Infrastruktur bereitstellen (Ruppert, 2016a, S. 5f.). Anbieter und Anfrager bewirtschaften entweder selbst oder über einen Dritten einen Bilanzkreis beim zuständigen ÜNB (ebd.). Des Weiteren müssen ihre technischen Einrichtungen an die entsprechende Netzzelle des Verteilnetzes angebunden sein. Anbieter benötigen darüber hinaus Zugriff auf die Flexibilitätsanlagen, um ihre physischen Lieferverpflichtungen zu erfüllen. Bevor Anbieter am Handel teilnehmen können müssen sie, ähnlich wie im Regelenergiemarkt, an einem Präqualifikationsverfahren teilnehmen und nachweisen, dass sie technisch und organisatorisch zur Flexibilitätslieferung in der Lage sind (ebd.). Anbieter und Anfrager müssen vor Freischaltung der Handelsaktivitäten finanzielle Sicherheitsleistungen in Höhe von 25.000€ beim FHP-Betreiber hinterlegen (Ruppert, 2016a, S. 7 & Ruppert, 2016b, S. 6).

An der FHP können Angebote für einzelne Anlagen oder für einen Anlagenpool abgegeben werden. Die Poolung ermöglicht es kleine Flexibilitätskapazitäten zu einer virtuellen Einheit zusammenzufassen. Dies reduziert den Arbeitsaufwand und erlaubt eine wirtschaftliche Teilnahme kleiner Anlagen am Flexibilitätshandel. Außerdem bietet dies z.B. Betreibern von virtuellen Kraftwerken die Möglichkeit ihre Kapazitäten als Gesamtheit am Markt anzubieten. Flexibilitätspotenziale, die sich aus dem abgestimmten Betrieb der Anlagen ergeben, können so bestmöglich genutzt werden. Das BMWi hat für die lastseitige Poolung flexibler Verbraucher den Begriff des Aggregators definiert (siehe Kapitel 4.1). Im Projekt Flex4Energy wurde für die anbieterseitige Poolung die Rolle des *Flexibilitätsmanagers* eingeführt.

## **FMS**

Das Flexibilitätsmanagementsystem (FMS) beschreibt ein „Softwaresystem zur physikalischen Anbindung von Flexibilitätsanlagen (FA) oder Flexibilitäts-Pools“ (Ruppert, 2016a, S. 4). Flexibilitätspools können aus mehreren Einzelanlagen oder bereits existierenden virtuellen Kraftwerken bestehen. Ein Flexibilitätsmanager kann über mehrere Flexibilitätspools verfügen. Mit Hilfe des FMS kann er seine verfügbaren Anlagen eigenständig koordinieren und Angebote unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erstellen (ebd.). Die Angebotsübermittlung



wird entweder manuell vom Flexibilitätsmanager, in seiner Rolle als FHP-Nutzer, vorgenommen oder automatisiert über eine Softwareschnittstelle (API<sup>6</sup>) (ebd.). Die API dient des Weiteren dem Austausch von Einzelvereinbarungen, Lieferdetails und Abrufprotokollen (ebd.).

### **Präqualifikation**

Jeder Anbieter muss vor Teilnahme am Handel mittels eines Präqualifikationsverfahren nachweisen, dass er sowohl die technischen als auch organisatorischen Voraussetzungen zur Flexibilitätserbringung erfüllt.<sup>7</sup> Die Präqualifikation erfolgt durch mindestens einen Testabruf zuvor übermittelter Angebote (Ruppert, 2016a, S. 6). Die Angebotsmengen sind dabei entsprechend der Liefervereinbarungen am jeweiligen Netzanschlusspunkt einzuspeisen. Präqualifiziert werden können einzelne Flexibilitätsanlagen oder ein Flexibilitätspool. Ein Flexibilitätspool wird als virtuelle Gesamteinheit präqualifiziert. D.h. es wird nur überprüft, ob das Angebot physisch erfüllt wurde. Die Auswahl der hierfür eingesetzten Anlagen obliegt dem Flexibilitätsmanager. Dies entspricht der Vorgehensweise des Regelenergiemarktes (siehe Kapitel 3.4.1). Möchte ein Flexibilitätsmanager einen neuen Flexibilitätspool anbinden, wird für diesen ein neues Präqualifikationsverfahren durchgeführt (ebd.). Die Präqualifikation erfolgt produktspezifisch (ebd.). Demzufolge werden Flexibilitätsanlagen oder -pools nur für bestimmte Flexibilitätsprodukte zum Handel zugelassen. Dies ist notwendig, da für die Erbringung der verschiedenen Flexibilitätsprodukte unterschiedliche Voraussetzungen erfüllt werden müssen. Außerdem wird im Präqualifikationsverfahren die Wertigkeitsstufe der Flexibilität definiert, die eine FA bzw. ein Flexibilitätspool anbieten kann. Diese ergibt sich aus der *Qualität* und *Quantifizierbarkeit* der technischen Einheit (siehe Kapitel 4.4). Wird ein Flexibilitätspool präqualifiziert, müssen alle ihm zugehörigen Anlagen dem gleichen Anlagentyp entsprechen (Ruppert, 2016a, S. 6).

---

<sup>6</sup> Schnittstellenbeschreibung siehe Ritschel, Gollmer, Schneider (2016): „Spezifikation der Kommunikationsschnittstelle (API) für Flexibilitätshandelsplattform (FHP) und Flexibilitätsmanagementsystem (FMS)“.

<sup>7</sup> Die Vollständigen Voraussetzungen und Anforderungen sind den Rahmenverträgen für Anbieter und Anfrager zu entnehmen.

Nach einer erfolgreichen Präqualifikation eines Flexibilitätspools, darf der Flexibilitätsmanager diesem weitere Anlagen hinzufügen, sofern diese die erforderlichen Voraussetzungen erfüllen und dem Anlagentyp des Flexibilitätspools entsprechen (ebd.). Auf Verlangen des FHP-Betreibers, kann ein erneutes Präqualifikationsverfahren durchgeführt werden (ebd.)

#### 4.4 Flexibilitäten

Jede FA bzw. jeder Flexibilitätspool verfügt über einen flexiblen Leistungsanteil, der zur Flexibilitätserbringung eingesetzt werden kann. Gemeint ist dabei jene Kapazität einer Anlage, die über ihre Primäranwendung hinaus zur Verfügung steht. Die Ausprägung dieser Flexibilität ist dabei vom Anlagentyp abhängig. Industriebetriebe können z.B. als flexible Last ihren Strombezug in einem begrenzten Maße oder zu bestimmten Tageszeiten regulieren. Ebenso können regelbare Erneuerbare Energieanlagen ihre Einspeisung erhöhen oder reduzieren. Batteriespeicher, die zur Begrenzung des Leistungsbezugs aus dem öffentlichen Stromnetz eingesetzt werden, können, in Abhängigkeit von ihrem Lade-Entladezyklus, sowohl last- als auch einspeiseseitig Flexibilität anbieten.

In Abhängigkeit vom Anlagentyp kann Flexibilität als Wirk- oder Blindleistung in negativer oder positiver Richtung angeboten werden. Außerdem gibt es für Flexibilitäten unterschiedliche Wertigkeitsstufen, abhängig davon wie genau der flexible Leistungsanteil einer Anlage angegeben werden kann. Diese Faktoren werden bei Flex4Energy über die *Qualität* und *Quantifizierbarkeit* ausgedrückt.

##### Qualität

Für die Beschreibung der Qualität dienen die in Abbildung 23 dargestellten Flexibilitätsquadranten. Es wird differenziert, ob die angeschlossenen Anlagen Wirk- oder Blindleistung bereitstellen und ob sie diese steigern (+) oder verringern (-) können.

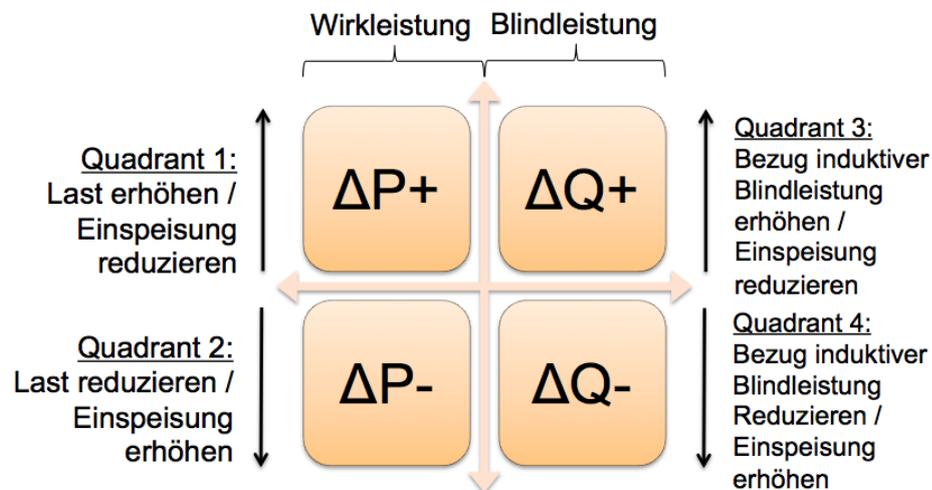


Abbildung 23: Beschreibung der Flexibilitätsqualität mit Hilfe von Flexibilitätsquadranten (Ruppert & Ochs, 2016, S. 8)

Eine Wirkleistungssteigerung (Quadrant 1) kann durch eine Lasterhöhung oder Einspeisereduzierung realisiert werden. Dies könnte z.B. durch Ladezyklen von Batteriespeichern oder durch Abregelung von Erneuerbaren Energieanlagen umgesetzt werden. Eine Wirkleistungsverringering (Quadrant 2) wird entsprechend durch eine Lastverringering oder Einspeisesteigerung erzielt. Quadrant 3 beschreibt hingegen eine Flexibilität, die ihren Bezug an induktiver Blindleistung erhöhen, bzw. ihre Einspeisung verringern kann. Hierfür könnten z.B. Blindleistungskompensationsanlagen genutzt werden. Entsprechend können Flexibilitäten des Quadranten 4 ihren Bezug an induktiver Blindleistung verringern, bzw. ihre Einspeisung erhöhen.

### Quantifizierbarkeit

Die Quantifizierbarkeit einer Flexibilität beschreibt die Höhe der Leistungsänderung ( $\Delta P$ ;  $\Delta Q$ ) in kW bzw. kVAr und die Zeitdauer über die sie erbracht werden kann (Ruppert & Ochs, 2016, S. 9). Abbildung 24 zeigt die Klassen der *Leistungsänderungshöhe*. Der flexible Leistungsanteil einer FA bzw. eines Flexibilitätspools kann entweder variabel oder fix sein.

(i) variabler flexibler Leistungsanteil in unbekannter Höhe

(ii) fixer flexibler Leistungsanteil in bekannter Höhe

(iii) variabler flexibler Leistungsanteil in prognostizierbarer Höhe

*Abbildung 24: Beschreibung der Flexibilitätsquantität – Höhe der Leistungsänderung  
[Eigene Darstellung nach: (Ruppert & Ochs, 2016, S. 9)]*

Bei Anlagen und Pools der Klasse (i) ist der flexible Anteil der Leistung variabel, dessen Höhe jedoch unbekannt (Ruppert & Ochs, 2016, S. 9). Für diese technischen Einheiten können nur Nennwerte angegeben werden, nicht ihre tatsächlich zur Verfügung stehende Leistung (ebd.). Dies ist z.B. bei fluktuierenden Einspeisern, wie Wind- oder PV-Anlagen, der Fall. Zu den Anlagen der Klasse (ii) zählen Notstromaggregate, die eine konstante Leistung in bekannter Höhe anbieten können (ebd.). Ihre Flexibilität kann somit genau quantifiziert werden, wodurch sie für Anfrager höherwertig ist, als Flexibilitäten der Klasse (i). Die höchste Wertigkeit weisen technische Einheiten der Klasse (iii) auf. Ihr flexibler Leistungsanteil ist variabel und prognostizierbar. Die Erstellung der Leistungsprognose stellt jedoch einen erhöhten Aufwand für den Anbieter da. Ob es aus Anbietersicht lohnenswert ist nur für den Handel an der FHP Leistungsprognosen zu erstellen, ist fraglich. Es wird davon ausgegangen, dass hierfür nur technische Einheiten genutzt werden, für die ohnehin Leistungsprognosen erstellt werden. In Frage kommen z.B. Batteriespeicher, die über ein FMS angebunden sind (Ruppert & Ochs, 2016, S. 9).

Die *Zeitdauer*, über die der flexible Leistungsanteil bereitgestellt werden kann, ist von der Kapazität der FA bzw. des Flexibilitätspools abhängig (ebd.). Die Einteilung erfolgt entsprechend der Klassen in Abbildung 25. Eine technische Einheit wird danach klassifiziert, ob ihre Kapazität begrenzt oder unbegrenzt ist und in wie fern sie bekannt ist.

(i) begrenzte, unbekannte Kapazität

(ii) unbegrenzte Kapazität

(iii) begrenzte, prognostizierbare Kapazität

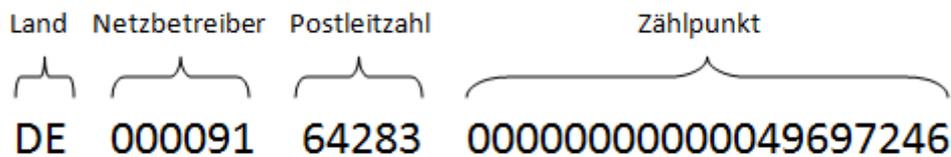
*Abbildung 25: Beschreibung der Flexibilitätsquantität – Zeitdauer der Leistungserbringung  
[Eigene Darstellung nach: (Ruppert & Ochs, 2016, S. 9)]*

Einheiten der Klasse (i) verfügen über eine begrenzte Kapazität, die nicht genauer bestimmt werden kann. Hierzu gehören Elektroheizungen oder Kühlaggregate (ebd.). Ein Kühlaggregat kann z.B. über einen gewissen Zeitraum abgeschaltet werden und so zur Lastreduktion (Quadrant 2; siehe Abbildung 23) eingesetzt werden. Wann das Kühlaggregat wieder anspringt ist jedoch von Einstellungsmerkmalen seiner Primäranwendung und äußeren Faktoren, wie der Umgebungstemperatur, abhängig. Technische Einheiten der Klasse (ii) haben hingegen eine (quasi) unbegrenzte Kapazität (ebd.). Dies ist z.B. bei Notstromdieselgeneratoren, die über einen großen Kraftstoffvorrat verfügen, der Fall (ebd.). Einheiten der Klasse (iii) besitzen eine begrenzte Kapazität, über die eine Prognose zum Ladezustand (State of Charge: SOC) vorliegt. In Frage kommen hier ebenfalls Batteriespeicher, die an ein FMS angebunden sind. Auch für die Zeitdauer der Leistungserbringung gilt, dass die Wertigkeit einer Flexibilität umso höher ist je besser ihre Kapazität quantifiziert werden kann.

### **Lokalität**

Da Flexibilitäten zur dezentralen Netzoptimierung eingesetzt werden sollen, ist der geografische Standort einer FA bzw. eines Flexibilitätspools von hoher Bedeutung. Im Folgenden wird dieser als *Lokalität* bezeichnet.

In Deutschland ist jedem Netzanschluss über den Strom eingespeist oder entnommen wird eine eindeutige Zählpunktbezeichnung zugeordnet (Schall & Glotzbach, 2016, S. 8). Der Aufbau der 33-stelligen Zählpunktbezeichnung ist in Abbildung 26 gezeigt.



*Abbildung 26: Aufbau einer Zählpunktbezeichnung  
[Eigene Darstellung nach: (Schall & Glotzbach, 2016, S. 8)]*

Für die Erbringung bestimmter Flexibilitätsprodukte muss die Anschlussleitung einer Flexibilitätsanlage bekannt sein. Inwiefern diese über die Zählpunktbezeichnung abgebildet werden kann, ist noch nicht geklärt. Für die Abbildung der Lokalität liegt zu diesem Zeitpunkt noch kein vollendetes Konzept vor. Eine Möglichkeit ist die Benennung der Anschlussleitung im Präqualifikationsverfahren. Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Netzzelle mit dem Verteilnetz der ENETGA AG übereinstimmt und die Lokalität einer Anlage über einen einfachen Lokalitätsschlüssel abgebildet werden kann.

Prinzipiell ist eine weitere Unterteilung der Netzzelle in sogenannte Subzellen möglich. Dies erhöht die Granularität des Netzgebietes (*Lokalitätswertigkeit*) und ermöglicht eine schärfere Abbildung der Netzsituation. Als Herausforderung gestaltet sich die Zuordnung der Zählpunktbezeichnungen zu den einzelnen Netzbereichen (Schall & Glotzbach, 2016, S. 8). Als Möglichkeit wird hierfür die Einführung einer Inzidenzmatrix erachtet.<sup>8</sup> Aus Vereinfachungsgründen wurde im Projektverlauf beschlossen auf eine weitere Unterteilung der Netzzelle zu verzichten.

<sup>8</sup> Thematische Ausführung siehe Sebastian Schall (2016): „Netzzustände als Steuerungsindikator des Marktmechanismus einer Handelsplattform für Energieflexibilität“.



## 4.5 Flexibilitätsprodukte

An der FHP sollen standardisierte Flexibilitätsprodukte für unterschiedliche Anwendungen gehandelt werden. Neben *Fahrplanprodukten*, die Energiehändler zur Portfoliooptimierung nutzen können, sind sogenannte *latente Produkte* vorgesehen, die für Systemdienstleistungen eingesetzt werden können.

Die Produkte können für folgende Zeiträume gehandelt werden:

- Jahr
- Quartal
- Monat
- Woche
- Tag
- Stunde
- Viertelstunde

### Fahrplanprodukte

Fahrplanprodukte dienen dem physischen Energieaustausch zwischen verschiedenen Stromhändlern, wie dies an bestehenden Strombörsen praktiziert wird (siehe Kapitel 3.3.). Sie basieren auf im Voraus erstellten Fahrplänen, im 15 Minuten Raster (Ruppert & Ochs, 2016, S. 10). Menge, Arbeitspreis, Lieferort und -zeitpunkt sind vor Eintreten der Fälligkeit bekannt (ebd.). Bei Fahrplanprodukten ist die Energiemenge (kWh) durch den Fahrplan bestimmt. Darum erfolgt die Abrechnung entsprechend des Arbeitspreises (€/kWh). Die bilanzielle Abwicklung erfolgt über einen Fahrplanaustausch zwischen ÜNB und Anbieter bzw. Anfrager (ebd.). Eine messtechnische Erfassung der Ein- und Ausspeisemenge durch die FHP erfolgt nicht (ebd.). Fahrplanprodukte können nur von technischen Einheiten bereitgestellt werden, deren Flexibilität quantifizierbar ist. Hierfür in Frage kommen Anlagen des Quadranten 1 und 2 (siehe Abbildung 23) sowie der Klassen (ii) und (iii) (siehe Abbildung 24 & Abbildung 25) (ebd.). Im Pilotprojekt ist in der Kategorie der Fahrplanprodukte der Produkttyp *Netzzellenausgleich* vorgesehen.

## Netzzellenausgleich

Im Gegensatz zu Fahrplanprodukten anderer Handelsplätze hat der Netzzellenausgleich Bezug zum geografischen Standort der Flexibilität (*Lokalität*). Er dient dem physikalischen Energieausgleich innerhalb der Netzzelle. Lokale Last- und Einspeisespitzen können mit Hilfe des Netzzellenausgleichs reduziert werden (Ruppert & Ochs, 2016, S. 10f.). Hierzu müssen Anbieter und Anfrager der gleichen Netzzelle angehören (ebd.). Im Pilotprojekt stimmt die Netzzelle mit dem Verteilnetzgebiet der ENTEGA AG überein. Entsprechend sind keine weiteren Beschränkungen der Lokalität zu beachten.

## **Latente Produkte**

Latente Produkte sind dafür ausgelegt vom VNB zur Optimierung seines Versorgungsnetzes genutzt zu werden. Da mögliche Netzengpässe schwer vorhersehbar oder quantifizierbar sind, hat der VNB die Möglichkeit Kapazitäten im Voraus zu reservieren und bei Bedarf abzurufen. Weil die tatsächlich benötigte Energiemenge bei Vertragsabschluss noch nicht bekannt ist, wird die reservierte Flexibilitätsmenge auf Grundlage eines Leistungspreises (€/kW\*a) vergütet (Ruppert & Ochs, 2016, S. 11). Anbieter quantifizierbarer Flexibilitäten erhalten neben dem Leistungspreis einen Arbeitspreis (€/kWh). Diese Methodik wurde vom Regelenergiemarkt übernommen (siehe Kapitel 3.4). Allerdings können anders als beim Regelenergiemarkt auch Anlagen deren Flexibilitäten nicht vollständig quantifizierbar sind latente Produkte anbieten. Während Flexibilitäten der *Wertigkeitsstufe (iii)* zusätzlich zum Leistungspreis den Arbeitspreis für die tatsächlich abgerufene Energiemenge erhalten, bekommen Flexibilitäten der *Wertigkeitsstufe (i)* und *(ii)* nur die bereitgestellte Leistung vergütet, da ihre abgerufenen Arbeit schwer feststellbar ist (ebd.). Die Angebotsmenge kann vollständig oder teilweise zum Liefertermin abgerufen werden (ebd.). Die Abrechnung erfolgt im Nachhinein (Day-After) auf Basis von Fahrplänen (ebd.). Als Leistungsnachweis ist die messtechnische Erfassung der IST-Leistung erforderlich (ebd.). Diese wird jedoch im Pilotprojekt nicht umgesetzt. Für die FHP sind die Produkttypen *Spannungshaltung* und *Leistungsabruf* vorgesehen.

## Spannungshaltung

Lokal verfügbare Flexibilitäten können zur Reduzierung von Spannungsschwankungen in einer Netzzelle bzw. an einem bestimmten Leitungsstrang eingesetzt werden (Ruppert & Ochs, 2016, S. 11). Dies kann durch eine Anpassung der Wirk- oder Blindleistung realisiert werden. Daher können FA und Flexibilitätpools aller Flexibilitätsquadranten (siehe Abbildung 23) Spannungshaltung anbieten. Der Abruf erfolgt automatisch auf Basis von Messwerten am Netzanschlusspunkt der anbietenden Flexibilitätsanlagen oder -pools (ebd.). Der Anfrager gibt folgende Regelparameter vor:

- Netzzelle bzw. Leitung
- Sollwert der Spannung [V]
- Spannungsband in positiver und negativer Richtung [%]
- Hysterese [%]

Abbildung 27 zeigt, wie das Produkt *Spannungshaltung* zur Regelung der Spannung eingesetzt wird. Während des Erfüllungszeitraumes besteht die Aufgabe der Flexibilitäten darin, die Spannung innerhalb des angegebenen Spannungsbandes zu halten (Ruppert & Ochs, 2016, S. 12).

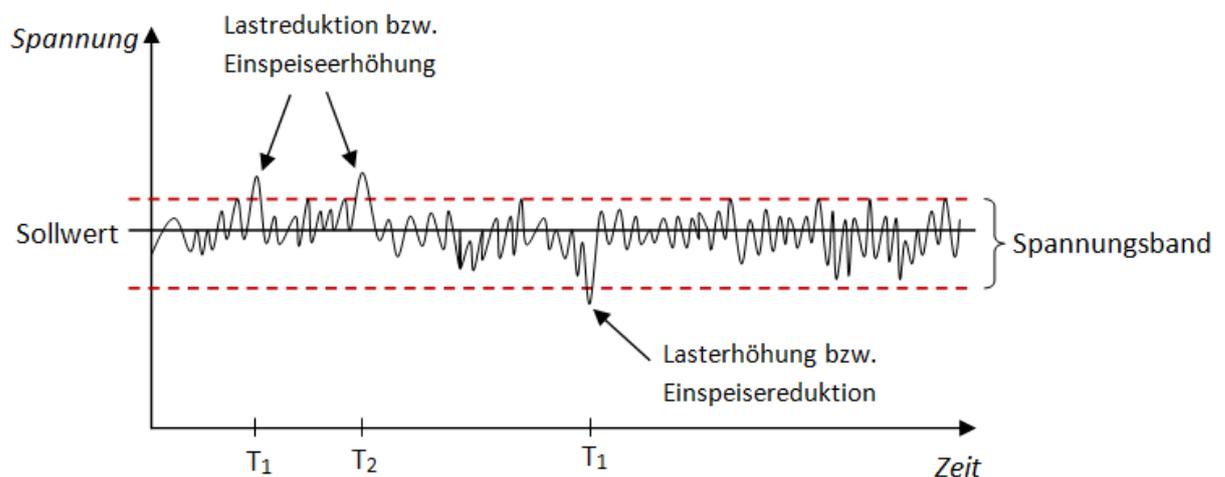


Abbildung 27: Grundprinzip der Spannungsregelung [Eigene Darstellung]

Sobald die IST-Spannung an der FA oder dem Flexibilitätpool den Sollwert und die positive zulässige Abweichung des Spannungsbandes überschreitet (T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub>), reduzieren die reservierten Flexibilitäten ihre Last, bzw. erhöhen ihre Einspeisung solange bis die Spannung

die zulässige Abweichung um den angegebenen Hysteresewert<sup>9</sup> unterschreitet (Ruppert & Ochs, 2016, S. 12). Entsprechend wird bei einer Unterschreitung der zulässigen negativen Abweichung (T<sub>3</sub>) die Last erhöht bzw. die Einspeisung reduziert (ebd.).

Die Ermittlung der tatsächlich erbrachten Energiemenge ist schwierig. Daher wird das Produkt *Spannungshaltung* nur mit dem Leistungspreis vergütet (ebd.). Entsprechend sind FA und Flexibilitäts-pools aller Wertigkeitsstufen für die Spannungshaltung geeignet. Jedoch können Anfrager die gewünschte Wertigkeitsstufe bei Gebotsabgabe angeben. Außerdem können Flexibilitätsanlagen bzw. -pools nur für die Netzzelle bzw. Leitung der sie angehören Spannungshaltung erbringen. Für Spannungshaltung an einer bestimmten Leitung kommen daher nur wenige Anbieter in Frage. Der Abruf des Produktes *Spannungshaltung* soll automatisch auf Basis der IST-Spannungsmessung erfolgen (ebd.). Auf Antrag des Anfragers kann eine Kundenmessung mit Leistungsintervallen <1 Min als Leistungsnachweis angefordert werden (ebd.)

### Leistungsabruf

Beim Leistungsabruf werden Wirkleistungskapazitäten an einer Netzzelle oder einem bestimmten Leitungsstrang reserviert und bei Bedarf abgerufen. Der Abruf erfolgt gemäß einer vom Anfrager festgelegten Leistungsvorgabe (Ruppert & Ochs, 2016, S. 13). Der Anbieter muss seine Anlagen innerhalb des Erfüllungszeitraumes entsprechend dieser Leistungsvorgabe regeln. Der Leistungsabruf kann prinzipiell von Flexibilitäten aller Wertigkeitsstufen angeboten werden. Für die verschiedenen Anlagen gibt es jedoch unterschiedliche Abrechnungs- und Abrufmodelle.

Flexibilitäten der Wertigkeitsstufe (i), die nicht vollständig quantifizierbar sind, werden auf Basis der Nennwerte für den Leistungsabruf reserviert (ebd.). Die im Erfüllungszeitraum tatsächlich zur Verfügung stehende Leistung kann jedoch vom Nennwert abweichen. Daher kann die abgerufene Energiemenge nicht bestimmt werden. Die Abrechnung erfolgt dementsprechend auf Basis des Leistungspreises (ebd.).

Flexibilitäten der Wertigkeitsstufe (ii) und (iii) sind quantifizierbar. Sowohl die tatsächlich zur Verfügung stehende Leistung als auch die abgerufene Energiemenge sind bekannt. Die reservierte Leistung wird mit dem vereinbarten Leistungspreis (LP) vergütet (ebd.). Die

---

<sup>9</sup> Die Hysterese gibt den Toleranzbereich des regelungstechnischen Totbandes an.

Abrechnung der abgerufenen Energiemenge erfolgt im Nachhinein über einen Day-After-Fahrplan auf Basis des Arbeitspreises (AP) (ebd.).

Der vom Anfrager vorgegebene Leistungswert kann entweder manuell oder automatisiert an den Anbieter übermittelt werden (Ruppert & Ochs, 2016, S. 14). Die manuelle Übermittlung erfolgt über das Web-UI. Der Leistungsparameter wird einmalig für den gesamten Erfüllungszeitraum vom Anfrager definiert und an den Anbieter übermittelt (ebd.). Bei der automatisierten Übermittlung wird der Leistungswert hingegen dynamisch angepasst. Für die dynamische Leistungsanpassung wird ein FMS mit automatisierter Schnittstelle benötigt (ebd.). Des Weiteren ist eine Echtzeitmessung und -übermittlung der IST-Leistung erforderlich (ebd.).

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die Produkte der FHP und ihre Eigenschaften.

Flexibilitätsprodukt		Anforderung Flexibilität			Übersicht Lieferung			
		$\Delta P$	$\Delta Q$	Wertigkeitsklasse	Abruf	Sollwert	Bilanzierung	Preismodell
Fahrplan Produkte	Netzzellenausgleich	+/-		(ii) (iii)	auto	Leistungsfahrplan	Fahrplan	AP
	Spannungshaltung	+/-	+/-	(i) (ii) (iii)	auto	Spannung		LP
Latente Produkte	Leistungsabruf	+/-		(i)	manuell/dynamisch	Leistung		LP
		+/-		(ii) (iii)	manuell/dynamisch	Leistung	Fahrplan, (DayAfter)	LP + AP

*Tabelle 2: Übersicht der Flexibilitätsprodukte  
[Eigene Darstellung nach: (Ruppert & Ochs, 2016, S. 14)]*

## 5 Matchingkonzepte für Flexibilitätsmärkte

Es gibt verschiedene Möglichkeiten das Matching in einem Flexibilitätsmarkt zu gestalten. Zunächst ist zu definieren, welchem Zweck der Flexibilitätsmarkt dient. Wie bereits dargestellt können Flexibilitäten eingesetzt werden, um Kapazitätsengpässen auf Verteilnetzebene entgegenzuwirken. Alternativ können sie für kurzfristige Portfoliooptimierungen von Energiehändlern genutzt werden. Ausschlaggebend für die Ausprägung der Matchingprozesse ist somit die gewählte Marktstrategie des Plattformbetreibers. In diesem Kapitel werden verschiedene Marktausprägungen beschrieben, für die jeweils ein Matchingkonzept entwickelt wird.

In den folgenden Matchingkonzepten werden *Kategorien*, *Prioritätskriterien* und *Angebotsanforderungen* unterschieden.

Abbildung 28 zeigt schematisch ihre Umsetzung in Orderbüchern.

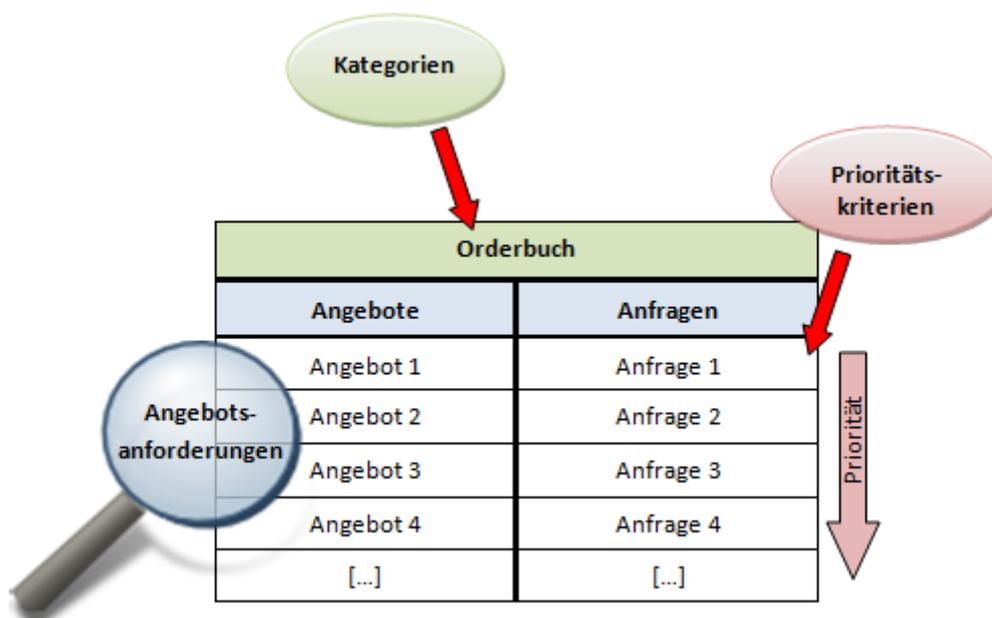


Abbildung 28: Differenzierung von Kategorien, Prioritätskriterien und Angebotsanforderungen [Eigene Darstellung]



### Kategorien

Kategorien beschreiben die unveränderlichen Eigenschaften der handelbaren Produkte. Im *Ausschreibungsmarkt* werden diese in der Anfrage des VNB definiert. Im *kontinuierlichen Handelsmarkt* entsprechen sie den Orderbuchmerkmalen. Eingehende Gebote werden von der Handelsplattform nach Kategorien gefiltert und gespeichert. Angebote können nur mit Anfragen der gleichen Kategorie ausgeführt werden. Zu den Kategorien an der EPEX Spot gehören das Netzgebiet (z.B. RWE) und der Kontrakt (z.B. Stundenkontrakt 9.00 bis 10.00 Uhr).

### Angebotsanforderungen

Anfrager können für bestimmte Angebotsauswahlkriterien Mindestanforderungen in ihren Anfragen definieren. Anhand dieser werden die Angebote einer Kategorie entsprechend der Wünsche des Anfragers von der Handelsplattform gefiltert und ihm im Orderbuch angezeigt. Im Matching werden nur Angebote berücksichtigt, die die Angebotsanforderungen mindestens oder besser erfüllen.

### Prioritätskriterien

Prioritätskriterien dienen dazu die eingegangenen Gebote innerhalb einer Kategorie zu sortieren (priorisieren). Anhand der Prioritätskriterien wird die Matchingrangfolge der Gebote festgelegt. Gebote, die die höchste Priorität erhalten, werden als Erstes ausgeführt, sofern passende Gegengebote vorliegen. Sobald alle Gebote der höchsten Priorität ausgeführt wurden, werden die Gebote der nächsthöchsten Priorität ausgeführt. An der EPEX Spot wurden der Preis und der Eingangszeitpunkt als Prioritätskriterien gewählt (*Preis-Zeit-Priorität*).

Wie Abbildung 29 zeigt, werden eingehende Angebote zunächst nach ihren *Kategorien* gefiltert und dem entsprechenden Orderbuch zugeordnet. Im nächsten Schritt wird überprüft, ob sie mögliche *Angebotsanforderungen* bestehender Anfragen erfüllen. Im Anschluss werden die gefilterten Angebote nach *Prioritätskriterien* priorisiert.

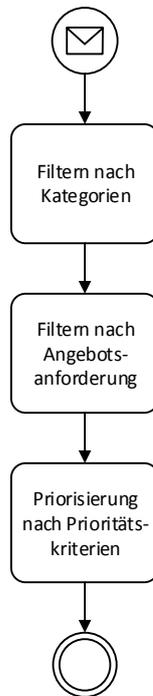


Abbildung 29: Orderbucheintragung nach Kategorien, Angebotsanforderungen und Prioritätskriterien [Eigene Darstellung]

## 5.1 Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen

In diesem Kapitel wird ein *Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen* beschrieben. Als Grundlage für die Entwicklung des Ausschreibungsmarktes dient der derzeitige Regelenergiemarkt der ÜNB (siehe Kapitel 3.4).

Es wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung zum dezentralen Energiesystem zukünftig Systemdienstleistungen auf Verteilnetzebene erforderlich macht. Für die Erbringung von Systemdienstleistungen können Flexibilitäten eingesetzt werden. Durch Steigerung oder Verringerung ihrer Wirk- bzw. Blindleistung können Flexibilitätsanlagen oder -pools vom VNB zur Spannungs-, Frequenzhaltung, oder zum Netzengpassmanagement genutzt werden. Zu diesem Zweck muss der VNB eine Prognose seines Systemdienstleistungsbedarfs bzw. Flexibilitätsbedarfs erstellen und ausschreiben. Es wird davon ausgegangen, dass der VNB die



Ausschreibung für sein Netzgebiet, unabhängig von der Situation in anderen Verteilnetzgebieten, durchführt. Für die praktische Umsetzung ist abzuwägen, ob und in wie weit eine Kooperation zwischen den VNB sinnvoll ist. Dies ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

### 5.1.1 Handelsverfahren im Ausschreibungsmarkt

Der Handel erfolgt in Form einer Ausschreibung, die vom VNB durchgeführt wird. Er ist gleichzeitig Plattformbetreiber und Anfrager. Seine Anfrage enthält folgende Kategorieangaben:

- Flexibilitätsart
- Leistung
- Erfüllungszeitraum
- (Lokalität)

Die *Lokalität* kann entweder als *Kategorie*, *Angebotsanforderung* oder als *Prioritätskriterium* gehandhabt werden (siehe Kapitel 5.1.2). Diese Entscheidung ist in Abhängigkeit von der Angebotssituation und Netzstruktur vom Plattformbetreiber zu treffen. Je nachdem wo ein Netzengpass erwartet wird, können Flexibilitätsanlagen oder -pools an unterschiedlichen Standorten zu dessen Aufhebung eingesetzt werden. In Abhängigkeit von ihrem Netzanschlusspunkt, ihrer Distanz zur kritischen Leitung und der Netztopologie sind die Flexibilitäten unterschiedlich gut dafür geeignet.

Wird die Lokalität als *Kategorie* definiert, können nur FA und Flexibilitätspools an der Ausschreibung teilnehmen, die die Vorgabe (Subzelle, Leitung) exakt erfüllen. Eine weitere Aufschlüsselung des Netzgebietes ist nicht erforderlich. Bei der Handhabung der Lokalität als *Angebotsanforderung* oder *Prioritätskriterium* muss hingegen definiert werden, wie geeignet eine Anlage für welchen Netzbereich ist. Dies ist Aufgabe des VNB. Der Aufwand für die Einteilung ist hierfür größer. Jedoch steht eine größere Angebotsauswahl zur Verfügung. Ist die Lokalität als *Angebotsanforderung* definiert, legt der VNB seine Mindestanforderung an die Lokalität in seiner Anfrage fest. D.h. es werden alle Angebote berücksichtigt, die diese mindestens oder besser erfüllen. Wird die Lokalität als *Prioritätskriterium* definiert, findet eine Abstufung der geeigneten Netzbereiche statt aus der sich die Matchingreihenfolge ergibt (siehe Kapitel 5.1.2).

## Ausschreibung

Der VNB führt separate Ausschreibungen für folgende Flexibilitätsarten durch:

1. Positive Wirkleistung ( $\Delta P+$ )
2. Negative Wirkleistung ( $\Delta P-$ )
3. Positive Blindleistung ( $\Delta Q+$ )
4. Negative Blindleistung ( $\Delta Q-$ )

Von einer gemeinsamen Ausschreibung positiver und negativer Flexibilität wird abgesehen, da dies Flexibilitätsanlagen und -pools die nur Flexibilität einer Richtung bereitstellen können ausschließt. Die Ausschreibung positiver und negativer Flexibilität endet jedoch zu unterschiedlichen Zeiten. Dadurch ist es Anbietern die über FA oder Flexibilitätspools verfügen die in beide Richtungen regelbar sind möglich an beiden Ausschreibungen teilzunehmen. Jedoch ist es nicht erlaubt für eine FA oder einen Flexibilitätspool Wirkleistung und Blindleistung für denselben Erfüllungszeitraum anzubieten. Dies verhindert eine Doppelvermarktung einer Flexibilität.

Abbildung 30 zeigt den zugehörigen Überprüfungsprozess. Angebote werden anlagenspezifisch abgegeben. Jeder FA und jedem Flexibilitätspool ist eine eindeutige ID zugeordnet, die im Angebot angegeben ist. Anhand dieser wird durch Datenbankabfrage überprüft, ob die Regularien eingehalten wurden. Bei einem Verstoß wird das Angebot deaktiviert und bei der Vergabeentscheidung nicht berücksichtigt. Bei Zuschlagserteilung ist die Zuschlagsmenge mit der angegeben Anlage im Erfüllungszeitraum bereitzustellen. Eine nachträgliche Änderung der Anlage ist unzulässig.

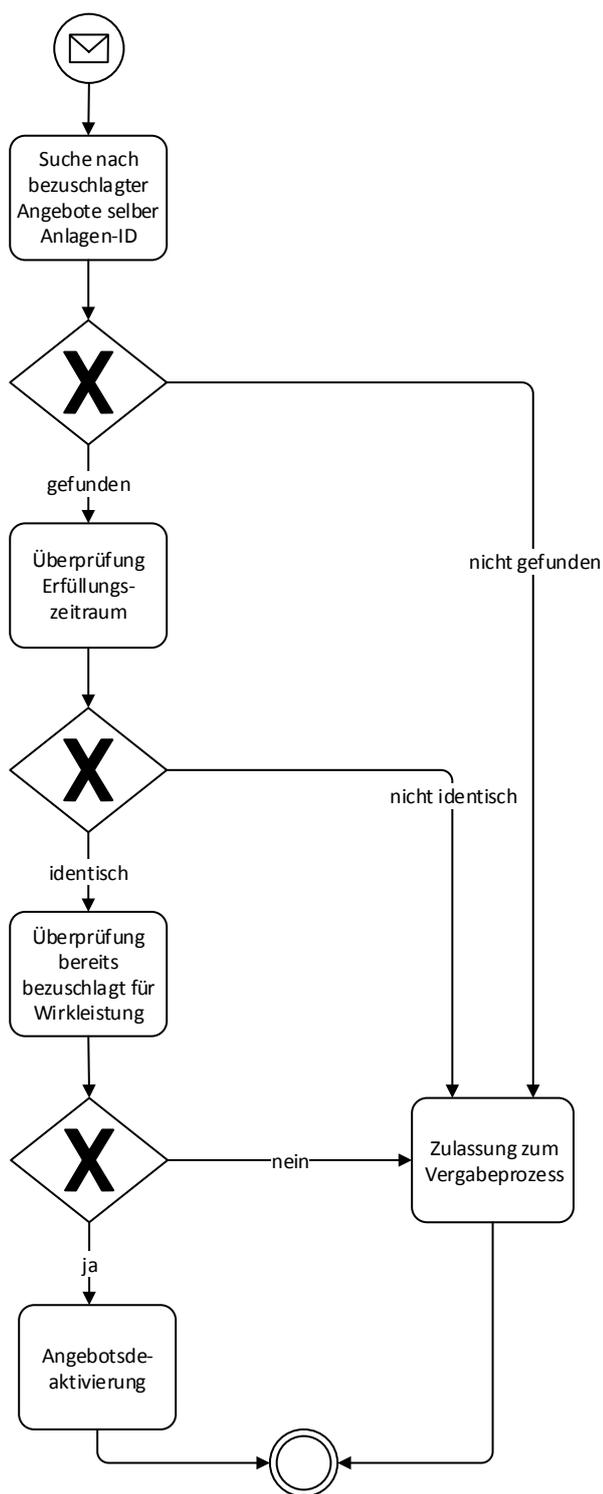


Abbildung 30: Überprüfungsprozess von Angeboten im Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen [Eigene Darstellung]

## Zeitlicher Verlauf

Aufgrund des steigenden Bedarfs kurzfristiger Ausgleichsmechanismen werden die Ausschreibungen täglich durchgeführt. Ausgeschrieben werden 96 Zeitscheiben über je 15 Minuten. Die Vergabe der ausgeschriebenen Flexibilitäten findet in der in Abbildung 31 gezeigten Reihenfolge mit einer zeitlichen Verzögerung von jeweils einer Stunde statt. Die Angebotsabgabefrist endet jeweils 15 Minuten zuvor. Anbieter können so ihre Flexibilitätspotenziale zwischen den einzelnen Ausschreibungen neu berechnen und an weiteren Ausschreibungen teilnehmen.

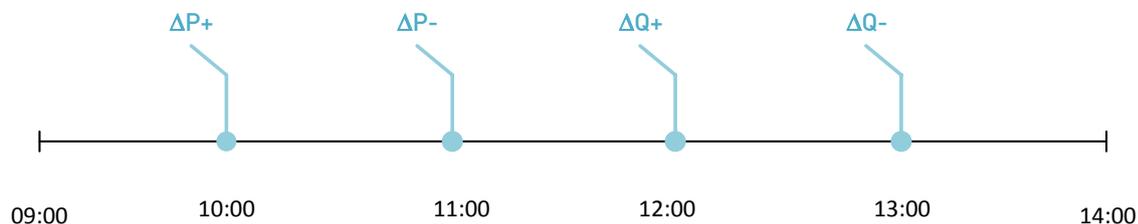


Abbildung 31: Vergabefristen im Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen  
[Eigene Darstellung]

## Anforderungen an Anbieter

Bevor Anbieter am Ausschreibungsverfahren teilnehmen dürfen, müssen sie ein Präqualifikationsverfahren durchlaufen, um ihre technische und organisatorische Eignung nachzuweisen (siehe Kapitel 4.3). Da Flexibilitäten als Systemdienstleistungen für bestimmte Netzbereiche oder Leitungen eingesetzt werden sollen, ist der Anlagenstandort von hoher Bedeutung. Eine weitere Unterteilung der Netzzelle und die Berücksichtigung der Topologie sind daher notwendig. Die Abbildung der Lokalität über die Zählpunktbezeichnung ist hierfür nicht ausreichend (siehe Kapitel 4.4). Lokalitätszuordnung und Zulassung der FA und Flexibilitätspools ist Aufgabe des VNB. Die Lokalität einer Anlage wird im Präqualifikationsverfahren ermittelt und als Stammdateninformation gespeichert. Aufgrund der hohen zeitlichen Anforderungen müssen Flexibilitätsanlagen und -pools über eine automatisierte Schnittstelle verfügen, die einen kurzfristigen Abruf durch den VNB ermöglicht, wie dies für Minutenreserve vorgesehen ist (siehe Kapitel 3.4.3). Die Entscheidung ob neben quantifizierbaren Flexibilitäten auch nicht-quantifizierbare Flexibilitäten [*Wertigkeitsstufe (i)*; siehe Kapitel 4.4] zum Ausschreibungsmarkt zugelassen werden, obliegt dem VNB. Eine



Ausgrenzung der nicht-quantifizierbaren Anlagen könnte sich negativ auf die Liquidität des Marktes auswirken, da aufgrund der hohen Lokalitätsanforderungen mit einer begrenzten Angebotszahl zu rechnen ist. Andererseits besteht bei Teilnahme dieser Flexibilitäten für den VNB die Gefahr, dass reservierte Flexibilitäten zum Abrufzeitpunkt nicht zur Verfügung stehen. Der Nutzen nicht-quantifizierbarer Flexibilitäten als Systemdienstleistung ist daher abzuwägen. Werden nicht-quantifizierbare Flexibilitäten im Ausschreibungsmarkt zugelassen, sind für diese separate Ausschreibungen durchzuführen.

### 5.1.2 Angebotsauswahl

Wie im Regelenenergiemarkt, erfolgen die Angebotsauswahl auf Basis des Leistungspreises und der Abruf entsprechend des Arbeitspreises. Wird ein Angebot durch den VNB reserviert erhält der Bieter den gebotenen Leistungspreis. Bei Abruf der Flexibilität wird diese entsprechend der erbrachten Arbeit mit dem Arbeitspreis vergütet. Es besteht die Gefahr, dass Anbieter einen geringen Leistungspreis und einen sehr hohen Arbeitspreis bieten mit dem Ziel ausgewählt zu werden, um die Flexibilitätsvorhaltung vergütet zu bekommen, aber nicht abgerufen zu werden. Von einer Berücksichtigung des Arbeitspreises bei der Auswahlentscheidung wird trotzdem abgesehen, da dies von den ÜNB für den Regelenenergiemarkt nicht empfohlen wird (Bundesnetzagentur, 2011b, S. 11). Es wird davon ausgegangen, dass die Bereitstellung von Systemdienstleistungen, entsprechend der derzeitigen Vorgehensweise des Regelenenergiemarktes, über Netzentgelte auf den Endverbraucher umgelegt wird. Die ÜNB befürchten bei einer Einberechnung der Arbeitspreise eine Erhöhung der Leistungspreise zur Leistungsvorhaltung und somit steigende Netzentgelte (ebd.). Bei nicht-quantifizierbaren Flexibilitäten wird nur die Flexibilitätsvorhaltung auf Basis des Leistungspreises vergütet. Neben den preislichen Auswahlkriterien sind aufgrund der Besonderheiten im Flexibilitätsmarkt weitere Auswahlkriterien zu berücksichtigen.

## **Prioritätskriterien**

Im Folgenden werden die im *Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen* berücksichtigten Kriterien zur Angebotsauswahl erläutert.

- **Leistungspreis**

Eingegangene Angebote werden nach aufsteigendem Leistungspreis sortiert. Angebote mit dem geringsten Leistungspreis erhalten die höchste Priorität.

- **Lokalität**

Der VNB definiert, welche Lokalität wie geeignet für die Erbringung von Flexibilität in einem Netzbereich ist. Entsprechend dieser Einteilung werden die Angebote ausgehend vom am besten geeigneten Angebot in absteigender Reihenfolge priorisiert.

- **Ranking**

Werden nicht-quantifizierbare Flexibilitäten für die Ausschreibungen zugelassen, besteht aus Sicht des VNB die Gefahr, dass reservierte Flexibilitäten nicht abgerufen werden können. Um diese Gefahr zu verringern, führt der VNB ein Rankingmechanismus ein. In Abhängigkeit davon, wie oft eine FA oder ein Flexibilitätspool reserviert wurde und sich bei Abruf keine Veränderung zum prognostizierten Netzzustand feststellen lässt, steigt oder sinkt das Ranking der Flexibilität. Ein hohes Ranking entspricht einer hohen Zuverlässigkeit. Dementsprechend werden Flexibilitäten ausgehend vom höchsten Ranking in absteigender Reihenfolge ausgewählt. Die Ausgestaltung des Rankingmechanismus ist Aufgabe des VNB.

- **Zeitstempel**

Jedes Angebot erhält bei Angebotseingang einen Zeitstempel. Liegen mehrere Angebote mit identischer Priorität der anderen Auswahlkriterien vor, wird das zuerst eingegangene Angebot zuerst ausgewählt.

- **Zufall**

Für den Fall, dass mehr als ein Angebot bei allen zuvor genannten Auswahlkriterien dieselbe Priorität erhält, wird die Auswahl per Zufallsmechanismus getroffen.

## Prioritätssequenz

Abbildung 32 zeigt die Reihenfolge nach der die genannten Prioritätskriterien abgefragt werden (*Prioritätssequenz*). Die Abfrage wird nur fortgesetzt, solange mehr als ein Angebot dieselbe Priorität aufweist. Sobald ein Angebot bei einem Kriterium eine höhere Priorität aufweist als alle anderen Angebote, wird dieses ausgeführt und der Auswahlprozess mit den verbleibenden Angeboten neu begonnen. Dies wird solange wiederholt, bis die gesamte ausgeschriebene Flexibilitätsmenge gedeckt ist oder keine Angebote mehr vorliegen. Aufgrund der hohen Bedeutung des Standortes einer Flexibilität für den Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen, werden Angebote zunächst nach ihrer *Lokalität* ausgewählt. Für nicht-quantifizierbare Anlagen erfolgt als Nächstes die *Rankingabfrage*, bevor die Angebote, wie bei den quantifizierbaren Anlagen, nach ihrem *Leistungspreis* sortiert werden. Sofern danach noch immer mehrere Angebote dieselbe Priorität aufweisen, erfolgt die Priorisierung entsprechend des *Zeitstempels*. Als letztes erfolgt die *Zufallsauswahl*.

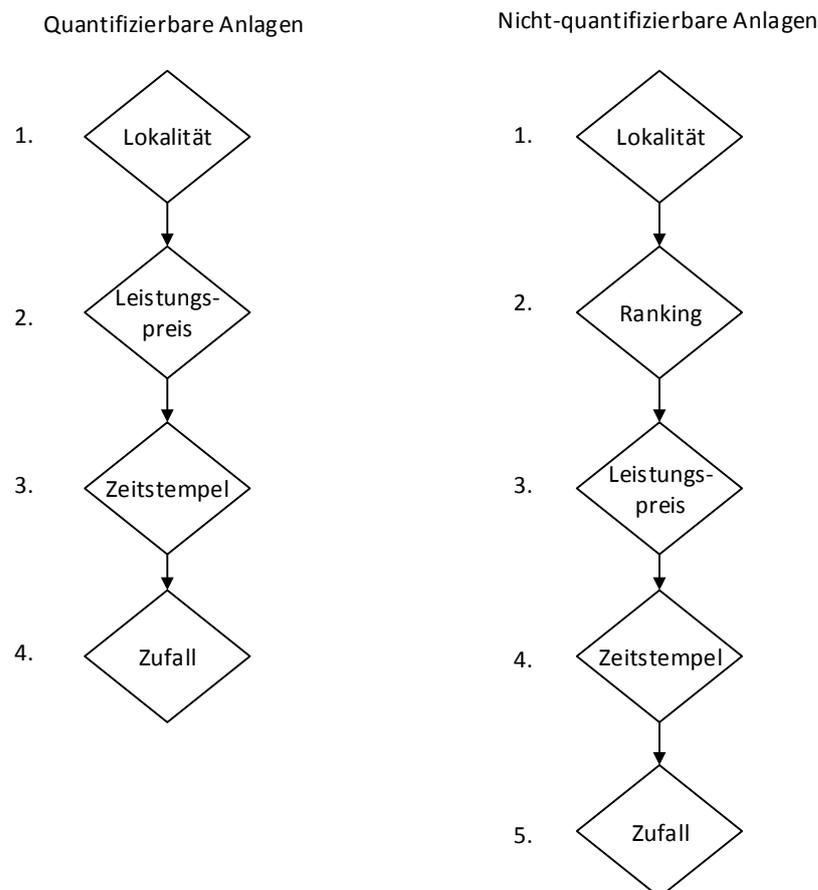


Abbildung 32: Prioritätssequenz im Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen  
[Eigene Darstellung]

## 5.2 Kontinuierlicher Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte

Im Kontrast zum *Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen* orientiert sich der *kontinuierliche Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte* am Intraday-Markt der EPEX Spot. Das Konzept basiert auf den in Kapitel 4.5 beschriebenen Flexibilitätsprodukten.

Im kontinuierlichen Handelsmarkt agieren sowohl auf Angebots- als auch auf Anfrageseite mehrere Marktteilnehmer. Die Gründe für eine Handelsteilnahme können unterschiedlich sein. Auf Anbieterseite steht die Erwirtschaftung von Erlösen durch die Flexibilitätsvermarktung im Vordergrund. Der Anbieter kann als Eigentümer oder stellvertretend für dritte als Händler am Markt Angebote abgeben. Auf Anfrageseite können neben dem Händler, der auf eine Portfoliooptimierung abzielt, VNB teilnehmen, um Flexibilitäten zur Netzoptimierung zu nutzen.

### 5.2.1 Handelsverfahren im kontinuierlichen Handelsmarkt

Der Flexibilitätshandel wird über eine unabhängige Plattform durchgeführt. Zur Verwirklichung der unterschiedlichen Interessen können auf dieser verschiedene Flexibilitätsprodukte (siehe Kapitel 4.5) gehandelt werden. Der Handel erfolgt in Form einer kontinuierlichen doppelten Auktion mit offenem Orderbuch (siehe Kapitel 3.2.2). Anfrager und Anbieter können innerhalb der Handelszeiten Gebote bis 15 Minuten vor Anbruch des Erfüllungszeitraumes abgeben. Im Orderbuch sind alle abgegebenen Gebote, die noch nicht zur Ausführung gekommen sind, in anonymisierter Form einsehbar. Für jeden handelbaren Kontrakt existiert ein eigenes Orderbuch. Diese ergeben sich aus den folgenden Kategorien:

- Lokalität
- Lieferzeitraum
- Qualität
- (Quantifizierbarkeit)
- (Produkttyp)

Der Plattformbetreiber kann die *Quantifizierbarkeit* als Kategorie oder als Angebotsanforderung definieren. Im zweiten Fall gibt der Anfrager bei Gebotsabgabe an welche Wertigkeitsstufe (siehe Kapitel 4.4) er mindestens verlangt. Dementsprechend wird die Anfrage nur mit Angeboten ausgeführt, die diese Vorgabe erfüllen.

Es besteht die Möglichkeit für jeden *Produkttyp* ein eigenes Orderbuch anzulegen (*produktspezifisches Orderbuch*), in diesem Fall wird der Produkttyp als Kategorie definiert, oder alle Produkttypen in einem Orderbuch zu führen (*produktunspezifisches Orderbuch*).

### Produktspezifisches Orderbuch

Abbildung 33 zeigt schematisch die Handhabung des produktspezifischen Orderbuches. Sowohl in Anfragen als auch Angeboten ist das angefragte bzw. angebotene Flexibilitätsprodukt definiert. Neben der Produktspezifikation enthalten Gebote weitere Kategorieangaben (siehe S.68). Anhand dieser werden die eingegangenen Gebote von der Handelsplattform gefiltert und dem entsprechenden Orderbuch zugeordnet. Für jedes Flexibilitätsprodukt existiert ein eigenes Orderbuch. In diesem werden die Gebote entsprechend ihrer Priorität einsortiert, sofern sie nicht sofort mit einem Gebot der gegenüberliegenden Seite ausgeführt werden.

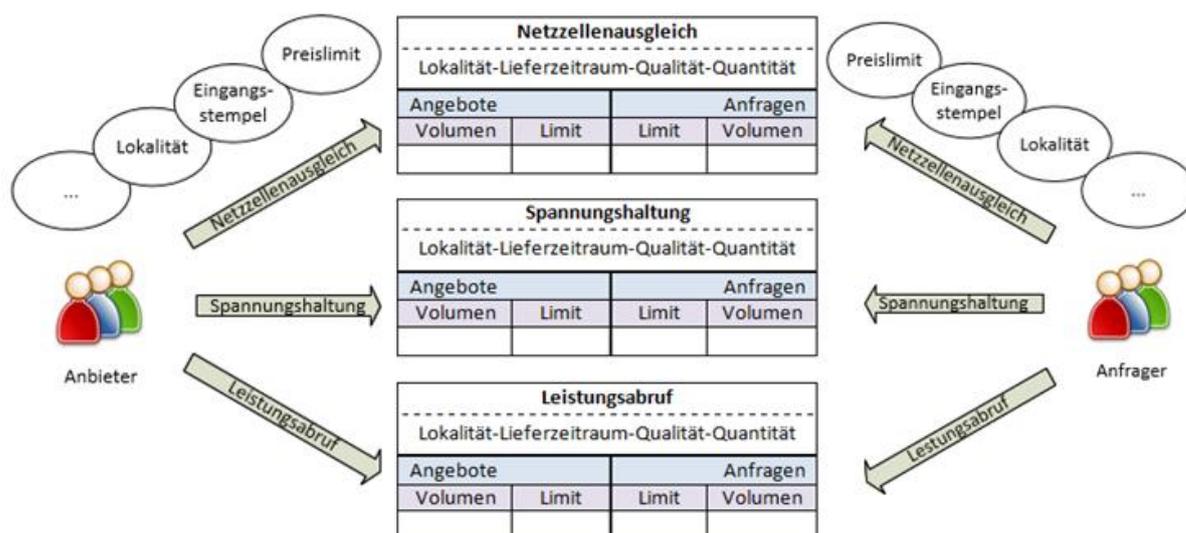


Abbildung 33: Produktspezifisches Orderbuch [Eigene Darstellung]

In diesem Modell sind die handelbaren Produkte gleichwertig. Der Matchingprozess wird für jedes Orderbuch unabhängig von den anderen durchlaufen. Wie bereits dargelegt können Flexibilitäten, je nach Anlagentyp, in unterschiedliche Wertigkeitsstufen eingeteilt werden. Die Wertigkeitsstufe einer Flexibilität bestimmt, welches Flexibilitätsprodukt gehandelt werden kann (siehe Kapitel 4.5). Es ist möglich Flexibilität parallel für verschiedene Anwendungen (*Netzzellenausgleich, Spannungshaltung, Leistungsabruf*) anzubieten, sofern die Voraussetzungen dazu erfüllt sind. Das Verfahren des produktspezifischen Orderbuches ermöglicht es Anbietern eine Preisdifferenzierung entsprechend der Wertigkeitsstufen vorzunehmen. Es ist davon auszugehen, dass Anbieter bevorzugt Gebote für Flexibilitätsprodukte mit höheren Wertigkeitsanforderungen (*Spannungshaltung, Leistungsabruf*) zu höheren Preisen abgeben werden.

### Produktspezifisches Orderbuch

Abbildung 34 veranschaulicht das produktspezifische Orderbuch. Anbieter geben ihre Gebote produktunabhängig ab. Sie werden nach den übrigen Kategorien: *Lokalität, Lieferzeitraum, Qualität* und *Quantifizierbarkeit* in das entsprechende Orderbuch eingeordnet. Die Anwendung (Produkt), für die ein Angebot eingesetzt wird, bleibt hingegen offen. Die Anwendungsmöglichkeiten sind jedoch durch Anlageneigenschaften (*Qualität, Quantifizierbarkeit*) eingeschränkt. Anfrager geben ihre Gebote hingegen für ein bestimmtes Flexibilitätsprodukt ab.



Abbildung 34: Produktspezifisches Orderbuch [Eigene Darstellung]



Die eingehenden Anfragen werden entsprechend der Produkttypen priorisiert. Die Prioritätsreihenfolge wird vom Plattformbetreiber festgelegt. Im dargestellten Beispiel erhalten Anfragen zum Produkttyp *Spannungshaltung* die höchste Priorität, gefolgt vom Produkttyp *Leistungsabruf* und *Netzzellenausgleich*. So werden Anfragen des VNB für Systemdienstleistungen bevorzugt. Hierdurch wird die Netzrelevanz berücksichtigt. Der Vorteil für Anbieter und Anfrager besteht darin, dass ihren Geboten eine größere Anzahl potenziell ausführbarer Gebote gegenübersteht. Liegt für ein Flexibilitätsangebot, dass für Spannungshaltung eingesetzt werden kann keine passende Anfrage für *Spannungshaltung* vor, kann dieses Angebot mit einer Anfrage für *Leistungsausgleich* oder *Netzzellenausgleich* ausgeführt werden. Umgekehrt kann eine Anfrage zu einem Flexibilitätsprodukt geringerer Priorität auch mit einem höherwertigen Angebot ausgeführt werden, sofern dieses noch offen ist. Bei diesem Konzept stehen Flexibilitäten aller Wertigkeitsstufen in direkter Konkurrenz zueinander. Inwiefern eine Preisdifferenzierung für die Wertigkeitsstufen durch den Anbieter möglich ist, bleibt offen. Allerdings bestehen produktabhängige Anforderungen an die Flexibilitäten (siehe Kapitel 4.5), wodurch bestimmte Flexibilitätsanlagen und -pools für dessen Einsatz ausgeschlossen sind. Eingehende Angebote müssen entsprechend gefiltert werden.

### **Anforderungen an Anbieter**

Jeder Anbieter muss vor Handelsteilnahme an einem Präqualifikationsverfahren teilnehmen. In diesem wird überprüft, ob er die erforderlichen Voraussetzungen erfüllt und definiert, welche Flexibilitätsprodukte er mit welcher FA bzw. welchem Flexibilitätspool anbieten darf. Die erforderlichen Voraussetzungen sind in Kapitel 4.3 beschrieben.

### **5.2.2 Anfrage- und Angebotsauswahl**

Im *kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte* werden sowohl Angebote als auch Anfragen anhand verschiedener Prioritätskriterien ausgewählt. Anders als an der EPEX Spot sollen Produkte nicht nur zum Zweck der Portfoliooptimierung gehandelt werden, sondern auch als Systemdienstleistungen im Verteilnetz Anwendung finden. Die besondere Stellung netzdienlicher Produkte (*Spannungshaltung, Leistungsabruf*) ist bei der Anfrage- bzw.

Angebotsauswahl zu berücksichtigen. Die alleinige Anwendung der *Preis-Zeit-Priorität* reicht hierfür nicht aus. Es sind weitere Prioritätskriterien zu definieren. In diesem Kapitel werden mögliche Prioritätskriterien und Priorisierungskonzepte vorgestellt.

## Prioritätskriterien

- **Preislimit**

Eingegangene Angebote werden nach aufsteigendem Preislimit sortiert, Anfragen nach absteigendem Preislimit. Angebote mit dem geringsten Preislimit und Anfragen mit dem höchsten Preislimit erhalten die höchste Priorität.

- **Lokalitätswertigkeit**

Die Lokalitätswertigkeit ist nur bei der Umsetzung von produktspezifischen Orderbüchern zu berücksichtigen.

Sie beschreibt, wie genau der Standort einer Flexibilität abgebildet werden kann (Netzzelle, Subzelle, Leitung). Die *Lokalität* beschreibt hingegen den konkreten Standort der FA bzw. des Flexibilitätspools. Es ist möglich eine Flexibilität parallel für verschiedene Anwendungen (Produkte) anzubieten. Zur Erbringung der verschiedenen Flexibilitätsprodukte bestehen unterschiedliche Lokalitätswertigkeitsanforderungen an die Flexibilitäten. Anfragen zum Produkttyp *Netzzellenausgleich* erfordern eine geringere Lokalitätswertigkeit als Anfragen zum Produkttyp *Leistungsabruf* und *Spannungshaltung*. Angebote mit hoher Lokalitätswertigkeit sollen bevorzugt für die systemrelevanten Produkte *Leistungsabruf* und *Spannungshaltung* eingesetzt werden. Deshalb werden eingehende Angebote des Produkttyps *Netzzellenausgleich* ausgehend vom Gebot mit der niedrigsten Lokalitätswertigkeit in aufsteigender Reihenfolge ausgeführt. Dadurch werden Angebote mit hoher Lokalitätswertigkeit für die Flexibilitätsprodukte *Leistungsabruf* und *Spannungshaltung* vorgehalten.

Alternativ kann die Lokalitätswertigkeit als *Angebotsanforderung* definiert werden. In diesem Fall determiniert der Anfrager in seiner Anfrage welche Lokalitätswertigkeit er mindestens verlangt. Angebote die diesen Wert nicht erfüllen werden im Matchingprozess für diese Anfrage nicht berücksichtigt.



- **Teilerfüllung**  
Angebote bei deren Ausführung ein geringerer Überhang (Restmenge) zurückbleibt, erhalten eine höhere Priorität.
- **Auftragsvolumen**  
Angebote und Anfragen werden ausgehend vom Gebot mit dem höchsten Auftragsvolumen in absteigender Reihenfolge priorisiert.
- **Ranking**  
Für Anbieter wird ein Ranking hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit erstellt (siehe Kapitel 5.1.2). Ein hohes Ranking entspricht einer niedrigen Ausfallrate. Flexibilitäten mit dem höchsten Ranking erhalten die höchste Priorität. Die Umsetzung des Rankingsystems obliegt dem Plattformbetreiber.  
Alternativ kann das Ranking als *Angebotsanforderung* definiert werden. In diesem Fall determiniert der Anfrager, welchen Rankingwert er mindestens verlangt. Angebote die diesen Wert nicht erfüllen, werden im Matchingprozess für diese Anfrage nicht berücksichtigt.
- **Abrufwahrscheinlichkeit**  
Die Handelsplattform kann vom VNB genutzt werden, um Flexibilitäten für Systemdienstleistungen zu reservieren. Bei einer Abrechnung auf Basis von Leistungspreis und Arbeitspreis entgehen dem Anbieter Erlöse, wenn reservierte Flexibilität nicht abgerufen wird. Um dies zu berücksichtigen, muss der Anfrager (VNB) angeben mit welcher Wahrscheinlichkeit er die reservierte Menge abrufen wird. Anfragen werden ausgehend von ihrer höchsten Abrufwahrscheinlichkeit in absteigender Reihenfolge priorisiert.
- **Zeitstempel**  
Jedes Angebot erhält bei Angebotseingang einen Zeitstempel. Liegen mehrere Angebote mit identischer Priorität der anderen Auswahlkriterien vor, wird das zuerst eingegangene Angebot zuerst ausgewählt.
- **Zufall**  
Für den Fall, dass mehr als ein Angebot bei allen zuvor genannten Auswahlkriterien dieselbe Priorität erhält, wird die Auswahl per Zufallsmechanismus getroffen.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, wie die genannten Prioritätskriterien im Matchingprozess berücksichtigt werden können. Im Weiteren werden Konzepte zur Umsetzung einer *Prioritätssequenz* und eines *gewichteten Prioritätsschlüssels* vorgestellt.

### **Prioritätssequenz**

Bei der Prioritätssequenz werden die festgelegten Prioritätskriterien nacheinander abgefragt. Sie wird solange fortgeführt, bis ein einziges Gebot als bestes bestimmt werden kann. Im kontinuierlichen Handelsmodell sind für Anfragen und Angebote unterschiedliche Prioritäten zu berücksichtigen. Die Reihenfolge, in der die Prioritäten abgefragt werden, wird vom Plattformbetreiber definiert.

Abbildung 35 zeigt eine mögliche Prioritätssequenz für eingehende Anfragen und eine für eingehende Angebote. In diesem Beispiel sind alle zuvor genannten Prioritätskriterien berücksichtigt. In Anlehnung an die EPEX Spot werden eingehende Anfragen und Angebote als erstes nach ihrem *Preislimit* priorisiert. Das Preislimit wird in Abhängigkeit vom Produkttyp entweder durch den angegebenen Arbeitspreis [€/kWh] oder den Leistungspreis [€/kW\*a] bestimmt (siehe Kapitel 4.5, Tabelle 2). Bei **Anfragen** folgt als Nächstes die Priorisierung nach der *Abrufwahrscheinlichkeit*. Hierrüber kann der Anfrager die Dringlichkeit seiner Anfrage ausdrücken. Um ein möglichst hohes Handelsvolumen zu generieren, werden im Anschluss Anfragen nach ihrem *Auftragsvolumen* sortiert. Dies ist für den Plattformbetreiber von Interesse, insbesondere wenn er Marktdaten zum Handelsvolumen veröffentlichen will. Allerdings werden hierdurch Gebote kleinerer Handelsmengen benachteiligt, was sich negativ auf die Marktbeteiligung auswirken kann. Sollten nach Abfrage der ersten drei Prioritätskriterien immer noch mehrere Anfragen die gleiche Priorität aufweisen, ist der *Eingangsstempel* ausschlaggebend. Als letzte Möglichkeit wird per *Zufall* entschieden. Gehen mehrere **Angebote** mit identischem *Preislimit* auf der Handelsplattform ein, werden Angebote des Produkttyps *Netzzellenausgleich* nach ihrer *Lokalitätswertigkeit* priorisiert. Bei Angeboten der Produkttypen *Spannungshaltung* und *Leistungsabruf* wird die *Lokalitätswertigkeit* ausgelassen. Dann folgt die Priorisierung nach dem vom Plattformbetreiber bestimmten *Ranking*, gefolgt vom Prioritätskriterium *Teilerfüllung*. Die restlichen Schritte der Prioritätssequenz für Angebote sind identischen mit den Sequenzstufen der Anfrage.

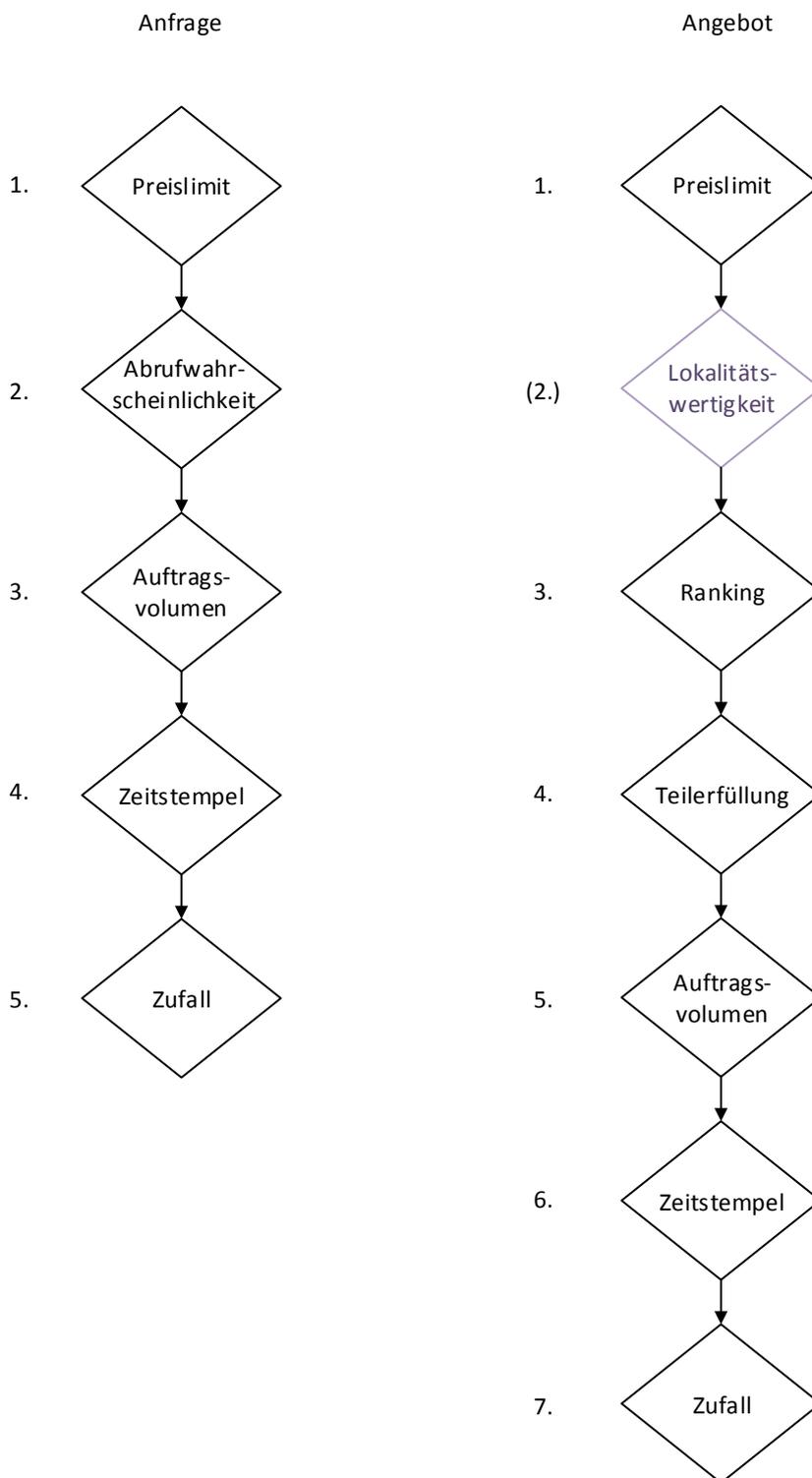


Abbildung 35: Prioritätssequenz im kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte (Beispiel 1) [Eigene Darstellung]

Die zuvor gezeigte Prioritätssequenz (Beispiel 1) berücksichtigt viele Prioritätskriterien. Inwiefern eine Abfrage von fünf bzw. sieben Prioritätskriterien sinnvoll ist, bleibt fraglich. Es erscheint unwahrscheinlich, dass Gebote bei mehr als drei Prioritätskriterien einen identischen Wert erreichen. Des Weiteren ist zu prüfen wie lange der Abfrageprozess dauert und ob die Anforderungen an die Handelsgeschwindigkeit erfüllt werden. Die Umsetzung der Prioritätskriterien *Abrufwahrscheinlichkeit* und *Teilerfüllung* birgt offene Fragen. Existiert im Handelsgebiet mehr als nur ein Anfrager der seine Abrufwahrscheinlichkeit angeben muss, ist davon auszugehen, dass alle Anfrager eine hohe Abrufwahrscheinlichkeit angeben, um bevorzugt zu werden. Dies macht einen zusätzlichen Kontrollmechanismus erforderlich. Prinzipiell ist die Umsetzung des Prioritätskriteriums *Abrufwahrscheinlichkeit* möglich. Anhand der Prioritätskriterien werden die Gebote ausgehend vom besten Gebot in absteigender Reihenfolge im Orderbuch gelistet. Welcher Überhang bei Ausführung eines Gebotes zurückbleibt ist jedoch abhängig vom jeweiligen Matchingpartner. Daher muss für jedes Matchingpaar der individuelle Überhang ermittelt werden und mit allen anderen ausführbaren Gebotskombinationen verglichen werden. Entsprechend lässt sich anhand des Prioritätskriteriums *Teilerfüllung* keine allgemeingültige Rangfolge der Gebote festlegen. Die Berücksichtigung des Überhangs bei der Gebotspriorisierung ist in dieser Form nicht möglich. Denkbar ist die Implementierung als separater Prüfschritt im Matchingprozess.

Aus den genannten Gründen wurde eine alternative Prioritätssequenz entwickelt, die in Abbildung 36 dargestellt ist. Bei diesem Beispiel sind *Quantifizierbarkeit*, *Lokalitätswertigkeit* und *Ranking* als Angebotsanforderung definiert. Die gezeigte Prioritätssequenz wird von den gefilterten Geboten durchlaufen.

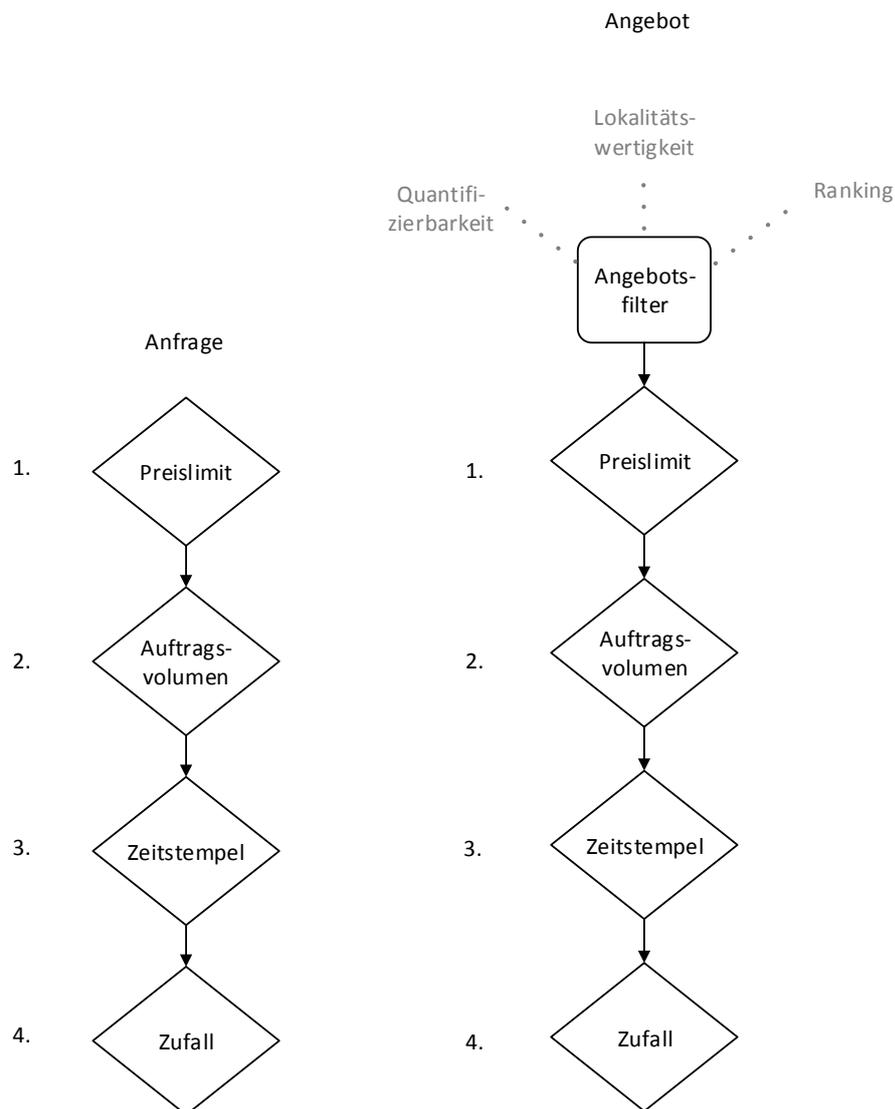


Abbildung 36: Prioritätssequenz im kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte (Beispiel 2) [Eigene Darstellung]

Da Aussagekraft und Umsetzung des Prioritätskriteriums *Abrufwahrscheinlichkeit* fraglich ist, wurde dieses in der Prioritätssequenz für Anfragen im Beispiel 2 nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für das Prioritätskriterium *Teilerfüllung* der Angebotsseite. Die verbleibenden Schritte der Prioritätssequenz für **Anfragen** sind identisch mit Beispiel 1. Die Prioritätssequenz für **Angebote** aus Beispiel 1 wurde um die Prioritätskriterien *Lokalitätswertigkeit* und *Ranking* gekürzt. Sie werden, in Form von *Angebotsanforderungen*, bereits im Voraus berücksichtigt. Die restlichen Schritte entsprechen der Prioritätssequenz für Angebote in Beispiel 1. Somit umfassen die Prioritätssequenzen jeweils nur noch vier Stufen.

Anhand der Abfragereihenfolge kann der Plattformbetreiber die Relevanz der einzelnen Prioritätskriterien, entsprechend seiner Betreiberstrategie, festlegen. Die Umsetzung einer Prioritätssequenz ist sinnvoll, wenn eine begrenzte Anzahl von Kriterien bei der Priorisierung berücksichtigt werden soll.

### **Gewichteter Prioritätsschlüssel**

Als Alternative zur Prioritätssequenz ist die Umsetzung eines Prioritätsschlüssels zur Berücksichtigung der Prioritätskriterien möglich. Hierzu bewertet der Plattformbetreiber die Relevanz der einzelnen Prioritätskriterien. Dementsprechend werden die gewichteten Prioritätskriterien im Prioritätsschlüssel berücksichtigt. Die Festlegung der Gewichtung obliegt dem Plattformbetreiber. Ob diese auf zuvor ermittelten Kundenpräferenzen basiert oder auf seine Betreiberstrategie ausgerichtet ist, bleibt offen.

Abbildung 37 zeigt einen Vorschlag zur Umsetzung eines gewichteten Prioritätsschlüssels für Angebote. Wie im Beispiel 2 der Prioritätssequenz werden Angebote zunächst nach Angebotsanforderungen gefiltert. Als Angebotsanforderungen sind in diesem Vorschlag die *Quantifizierbarkeit* und die *Lokalitätswertigkeit* definiert. Die gefilterten Angebote werden zunächst nach ihrem *Preislimit* priorisiert. Gibt es mehrere Angebote mit identischem Preislimit, kommt als Nächstes der *Prioritätsschlüssel* zum Tragen. In diesem Beispiel wurden *Auftragsvolumen* und *Ranking* als Gewichtungskriterium definiert. Der Prioritätsschlüssel kann beliebig um weitere Gewichtungskriterien erweitert werden. Die gewählten Prozentsätze gelten nur als Beispiel. Jedem Angebot wird mithilfe des Prioritätsschlüssels ein Wert zugewiesen, anhand dessen die Rangfolge im Orderbuch festgelegt wird. Sollte mehr als ein Angebot den gleichen Wert erreichen, werden die Gebote nach ihrem Eingangsstempel sortiert. Als letzte Option kommt der Zufallsmechanismus zum Tragen. Die Priorisierung der Anfragen kann unter Berücksichtigung ihrer Prioritätskriterien äquivalent umgesetzt werden.

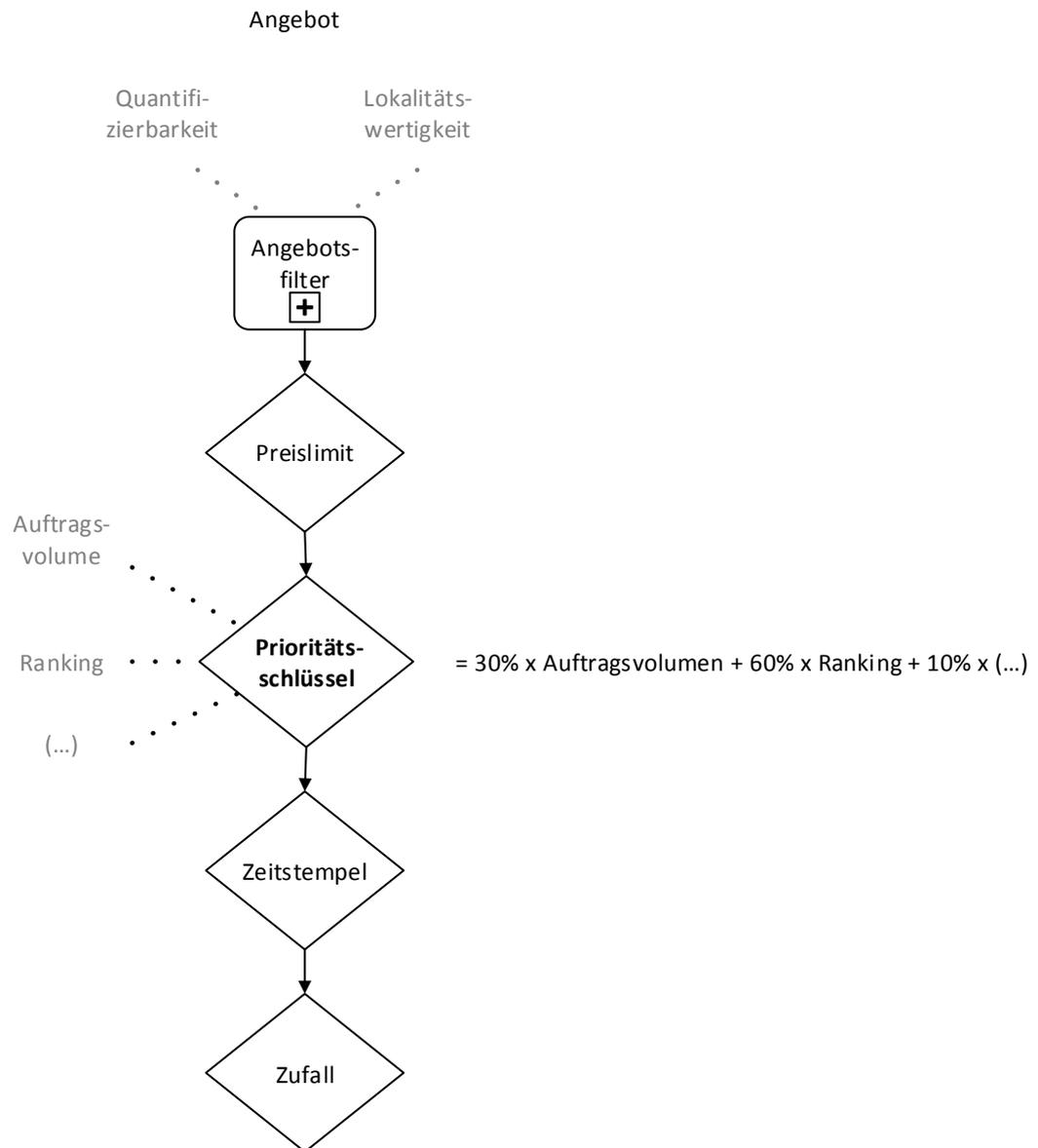


Abbildung 37: Gewichteter Prioritätsschlüssel im kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte [Eigene Darstellung]

Die Implementierung eines gewichteten Prioritätsschlüssels ermöglicht es dem Plattformbetreiber Kriterien für den Prioritätsschlüssel frei zu definieren und zu ergänzen. Die Relevanz der einzelnen Kriterien kann durch die Gewichtung ausgedrückt werden. Dadurch ist es möglich mehreren Kriterien die gleiche Relevanz zuzuordnen. Die Umsetzung eines gewichteten Prioritätsschlüssels ist sinnvoll, wenn eine Vielzahl von Kriterien bei der Priorisierung berücksichtigt werden soll.

### 5.2.3 Abbildung der Systemrelevanz

Bei der Umsetzung eines *kontinuierlichen Handelsmarktes für Flexibilitätsprodukte* findet keine Trennung des Handels von systemrelevanten Flexibilitätsprodukten (*Spannungshaltung, Leistungsabruf*) und nicht-systemrelevanten Flexibilitätsprodukten (*Netzzellenausgleich*) statt. Um den kontinuierlichen Handelsmarkt als wirkungsvolles Instrument zur Netzoptimierung zu nutzen, gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie die Systemrelevanz abgebildet werden kann. Wie im Abschnitt *Produktspezifisches Orderbuch* in Kapitel 5.2.1 beschrieben, können Flexibilitätsprodukten unterschiedliche Prioritäten zugewiesen werden. Entsprechen der in Abbildung 38 gezeigten Prioritäten, werden beim Matching zunächst die systemrelevanten Flexibilitätsprodukte berücksichtigt. Dieses Vorgehen ist bei der Implementierung eines *produktspezifischen Orderbuches* in dem alle Produkttypen geführt werden möglich.

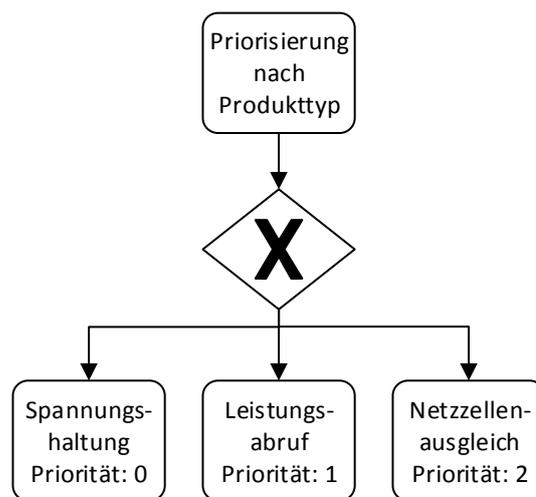


Abbildung 38: Priorisierung nach Produkttyp [Eigene Darstellung]

Bei einem *produktspezifischen Orderbuch* können Anbieter eine Flexibilität zeitgleich für verschiedene Produkttypen anbieten. Bei Eingang einer neuen Anfrage oder eines neuen Angebotes wird der Matchingprozess neu gestartet. Wie Abbildung 39 zeigt, werden zunächst die Produktkategorien *Spannungshaltung* und *Leistungsabruf* nach passenden Geboten durchsucht. Sofern kein passendes Gebot der gegenüberliegenden Seite gefunden wurde, erfolgt die Gebotssuche in der nächstfolgenden Kategorie. Dadurch werden systemrelevante Anfragen und Angebote im Matchingprozess bevorzugt.

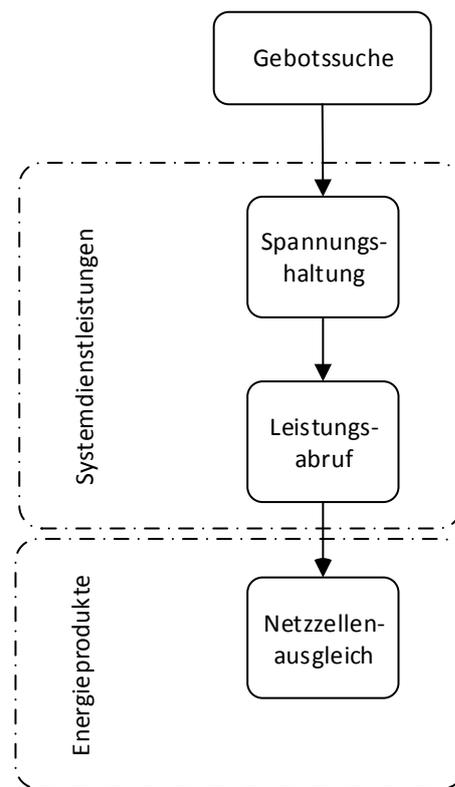


Abbildung 39: Gebotssuche in Reihenfolge der Produkttypen [Eigene Darstellung]

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Anbietern einen unterschiedlichen Anfragerstatus mit entsprechender Priorität zuzuordnen. Dem VNB könnte so eine höhere Priorität zugewiesen werden als den restlichen Anfragern, wodurch er im Matchinprozess bevorzugt würde. Dies widerspricht jedoch der Anforderung an einen diskriminierungsfreien Handel. Des Weiteren würde die Sonderstellung des VNB durch Einführung einer Netzampel Sorge getragen. Diese ermöglicht ihm in kritischen Netzsituationen in den Handelsprozess regulierend einzugreifen.<sup>10</sup> Denkbar wäre auch, dass sich die Systemrelevanz bereits im Anbieterverhalten zeigt. In Zeiten kritischer Netzsituationen wird der VNB ein höheres Preislimit bieten. Da das Preislimit im kontinuierlichen Handel für Flexibilitätsprodukte stets als oberste Priorität gewählt wurde, werden systemrelevante Anfragen so bevorzugt. Die Systemrelevanz würde selbstständig durch die Marktmechanismen berücksichtigt werden.

<sup>10</sup> Siehe Sebastian Schall (2016): „Netzzustände als Steuerungsindikator des Marktmechanismus einer Handelsplattform für Energieflexibilität“.

## 6 Flexibilitätshandel an der FHP

In diesem Kapitel wird die Funktionsweise des Flexibilitätshandels an der FHP im Projekt Flex4Energy dargelegt. Es enthält das entwickelte Konzept des Orderbuches, der Prozessabläufe und der Matchingmechanismen, die mit Gebotsabgabe ausgelöst werden. Das Konzept basiert auf dem zuvor beschriebenen *kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte*. Abbildung 40 zeigt, welche Prozesse während des Flexibilitätshandels durchlaufen werden. Die Kommunikation zwischen FHP und FHP-Nutzer erfolgt über die zuvor genannten Schnittstellen und den Kundenbereich im Onlineportal (siehe Kapitel 4.3). Im Weiteren wird zunächst der Prozess der *Angebots- und Anfrageabgabe* unter Berücksichtigung produktspezifischer Parameter beschrieben. Erfolgreich abgegebene Gebote werden im Matchingprozess berücksichtigt. Im Unterkapitel *Matchingprozess* wird erläutert, wie Angebote und Anfragen ausgewählt und miteinander ausgeführt werden. Das Matching wird auf Basis von festgelegten Auswahlkriterien durchgeführt. Des Weiteren wird die Preisbildung an der FHP beschrieben. Wurde für ein Gebot ein passendes Gebot der gegenüberliegenden Seite gefunden, kommt es zum *Geschäftsabschluss*. Dieser wird im dritten Unterkapitel dargelegt. Als Ausgangsgrundlage für die Entwicklung der Matchingmechanismen dient das **Datenmodell 1.51 (Stand 23.02.2016)**.

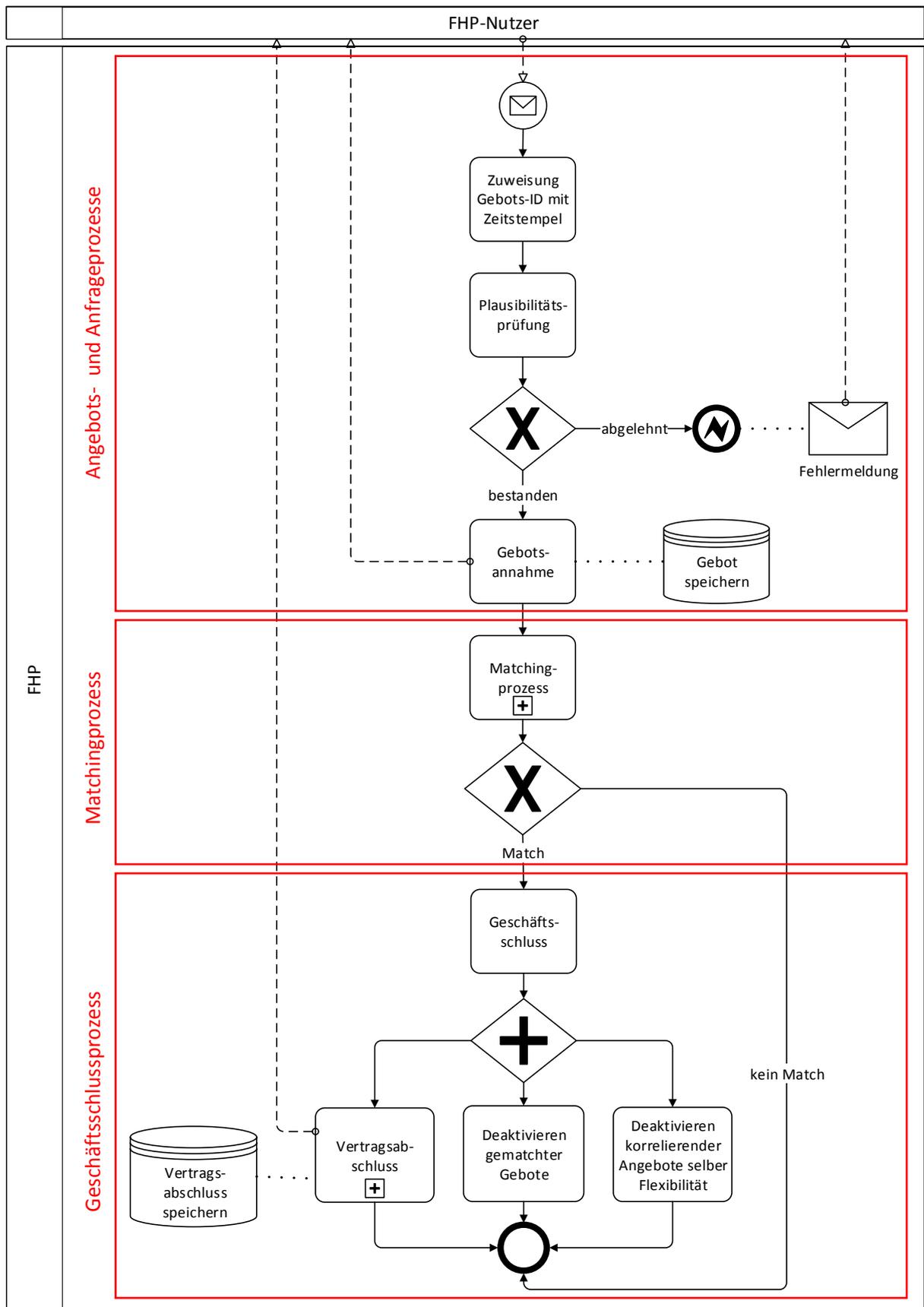


Abbildung 40: Prozessablauf des Flexibilitätshandels an der FHP [Eigene Darstellung]

## 6.1 Gebotsspezifisches Orderbuch

Die FHP ermöglicht den Handel von Energieprodukten (*Netzzellenausgleich*) als auch von Systemdienstleistungen (*Spannungshaltung, Leistungsabruf*). Insbesondere der Einsatz von Flexibilitäten als Systemdienstleistungen erfordert die Berücksichtigung zahlreicher Faktoren. Während der Entwicklung der Matchingmechanismen hat sich gezeigt, dass die angestrebte Umsetzung eines klassischen offenen Orderbuches, wie dies im kontinuierlichen Handel an der EPEX Spot vorzufinden ist, schwer für die FHP umzusetzen ist. An Börsenplätzen, wie der EPEX Spot, werden standardisierte Kontrakte gehandelt. Diese können klar definiert und voneinander abgegrenzt werden. Eingehende Gebote werden entsprechend der definierten Standards kategorisiert und dem entsprechenden Orderbuch zugeordnet. Dies ist möglich, da eine überschaubare Anzahl von Kategorien zu berücksichtigen ist (siehe Kapitel 5). Gebote für einen bestimmten Kontrakt werden unter Berücksichtigung der *Preis-Zeit-Priorität* ausgeführt. Im Gegensatz dazu werden an der FHP Flexibilitätsprodukte gehandelt, bei denen eine Vielzahl von *Kategorien, Angebotsanforderungen* und *Prioritätskriterien* beachtet werden sollen. Dies macht eine so tiefreichende Standardisierung, wie an der EPEX Spot, schwierig. Anfragen und Angebote an der FHP sind sehr spezifisch. So ist z.B. die *Lokalität* für Anfragen von Systemdienstleistung ein wichtiges Charakteristikum. Jedoch können Anfragen für eine bestimmte Lokalität nur mit einer begrenzten Anzahl an Flexibilitätsanlagen bzw. Flexibilitätspools erfüllt werden, da ihr Standort entscheidend ist. Mit Berücksichtigung weiterer Charakteristika wie z.B. der *Qualität* und *Quantifizierbarkeit* einer Flexibilität sinkt die Anzahl möglicher Angebote. Deshalb ist es nicht sinnvoll für jede Kombination von *Kategorien* und *Angebotsanforderungen* ein eigenes Orderbuch anzulegen. Dies würde die Gebotslage für die FHP-Nutzer unübersichtlich machen. Des Weiteren schließt ein solches Orderbuch alle Gebote, die nicht exakt den Vorgaben entsprechen, aus. Jedoch ist es denkbar, dass eine Anfrage mit Angeboten unterschiedlicher *Kategorien* und *Angebotsanforderungen* erfüllt werden kann. Bei der Umsetzung eines klassischen Orderbuches könnte es z.B. sein, dass eine Anfrage nicht zur Ausführung kommt, da keine Angebote für die geforderte *Wertigkeitsstufe* vorliegen. Sofern es aus physischer Sicht möglich ist diese Anfrage auch mit Flexibilitäten anderer Wertigkeitsstufen zu erfüllen, müsste der Anfrager für jede Wertigkeitsstufe eine separate Anfrage stellen.

Aus den genannten Gründen ist im entwickelten Konzept ein *gebotsspezifisches Orderbuch* vorgesehen, welches individuell für den FHP-Nutzer generiert wird. Ausgehend von einer Marktübersicht, in der alle offenen Anfragen und Angebote geführt werden, hat der FHP-Nutzer die Möglichkeit die vorliegenden Gebote entsprechend seiner Angaben zu filtern. Das gebotsspezifische Orderbuch der FHP dient als Informationsinstrument für den FHP-Nutzer. Dieser kann mit dem daraus erlangten Wissen über die aktuelle Marktsituation sein Gebot abgeben. Die Filterung erfolgt nach *Kategorien* und *Angebotsanforderungen*, die in Kapitel 6.2 vorgestellt werden.

## 6.2 Angebots- und Anfrageprozesse

Mit Eingang eines neuen Gebotes, sei es eine Anfrage oder ein Angebot, werden die Prozesse des Flexibilitätshandels ausgelöst. Abbildung 41 zeigt den Angebots- bzw. Anfrageprozess.

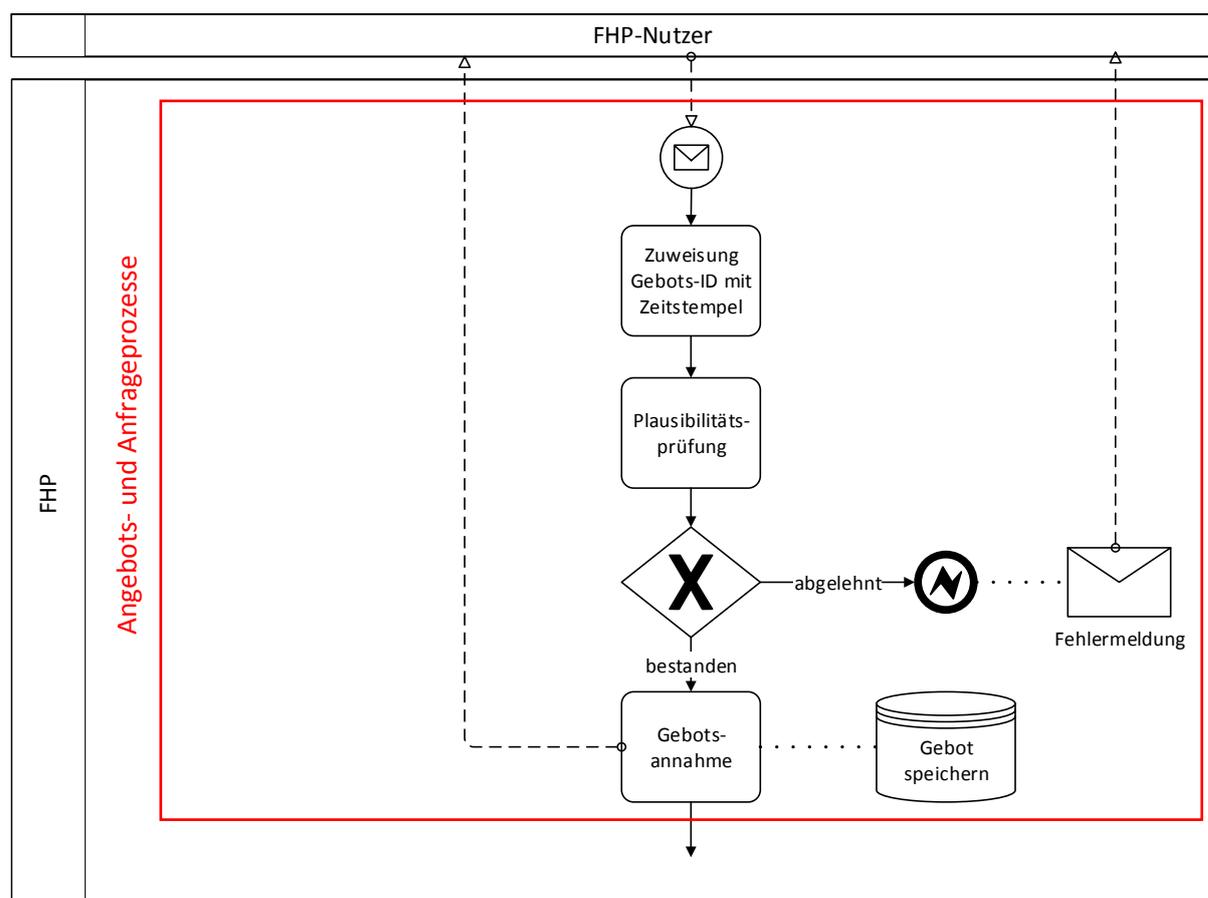


Abbildung 41: Angebots- und Anfrageprozesse an der FHP [Eigene Darstellung]

Der FHP-Nutzer gibt sein Gebot im Kundenbereich des Onlineportals ein und bestätigt dieses. Mit Bestätigung gilt das Gebot als rechtsverbindlich (Ruppert, 2016a, S. 8). Verfügt der FHP-Nutzer über ein FMS mit automatisierter Schnittstelle gelten die automatisch übermittelten Gebote als rechtsverbindlich, sobald sie an der FHP eingegangen sind. Die Handhabung von Übermittlungsfehlern und möglichen resultierenden Schadensansprüchen ist im weiteren Projektverlauf festzulegen. Bevor ein Gebot im Matchingprozess berücksichtigt wird, durchläuft es eine Plausibilitätsprüfung<sup>11</sup>. Werden bei dieser keine Mängel festgestellt, wird das Gebot angenommen und geht in den Matchingprozess ein. Das Onlineportal des FHP-Nutzers verfügt über eine Übersicht aller angenommen Gebote. Andernfalls wird das Gebot abgelehnt und der Angebots- bzw. Anfrageprozess abgebrochen. In diesem Fall erhält der FHP-Nutzer eine Fehlermeldung im Onlineportal.

### 6.2.1 Angebote

Angebote werden produktspezifisch abgegeben. D.h. jedes an der FHP eingehende Angebot kann nur mit einer Anfrage für das gleiche Flexibilitätsprodukt (siehe Kapitel 4.5, Tabelle 2) ausgeführt werden. Jedoch hat der Anbieter die Möglichkeit seine Flexibilitäten zeitgleich für verschiedene Flexibilitätsprodukte, zu unterschiedlichen Konditionen, anzubieten. Die handelbaren Zeiträume sind durch Blockkontrakte mit definiertem Anfangs- und Endzeitpunkt vorgegeben (siehe Kapitel 4.5). Angebote können nur als gesamter Blockkontrakt ausgeführt werden. Eine *zeitliche Teilerfüllung*, bei der nur bestimmte Zeitscheiben aus dem Blockkontrakt ausgeführt werden, ist nicht möglich. Jedoch können Angebote auch für einzelne Stunden und Viertelstunden abgegeben werden. Eine *mengenmäßige Teilerfüllung*, bei der nur ein Teil der angebotenen Angebotsmenge ausgeführt wird, ist hingegen zulässig, sofern sie nicht durch die Ausführbedingung *All-or-nothing* vom Anbieter ausgeschlossen wird. Bei Angeboten mit zugelassener Teilerfüllung erhöht sich die Chance auf einen Vertragsabschluss, da nicht nur Anfragen mit identischem Auftragsvolumen bedient werden können. Die Restmenge des Angebotes wird aus dem Orderbuch gelöscht. Für Restmengen können vom FHP-Nutzer neue Angebote erstellt und abgegeben werden. Des Weiteren kann der Anbieter mit der Ausführbedingung *One-kills-all* festlegen, dass nach erfolgreichem

---

<sup>11</sup> Plausibilitätsprüfung von Anfragen und Angeboten siehe Abbildung 42 und Abbildung 43.



Matching eines Angebotes alle anderen Angebote derselben Flexibilität auf ungültig gesetzt werden und im Matchingprozess keine Berücksichtigung mehr finden. Dies ist z.B. bei Batteriespeichern notwendig, um ihre Flexibilität nach dem Lieferzeitraum wieder auf einen definierten Ausgangszustand (SOC) zurückzusetzen oder um Prognosen zeitlich angrenzender Angebote anzupassen (Ruppert & Ochs, 2016, S. 15). Angebote können bis 15 Minuten vor Fälligkeit eingereicht werden (Ruppert, 2016a, S. 8). Sie können im Pilotsystem FHP nur als *Limit Order* abgegeben werden. Prinzipiell ist die Zulassung von anderen Orderformen wie *Market Orders* oder *Iceberg Orders* möglich. Dies erfordert eine Modifizierung der Matchingmechanismen. Angebote sind bis 15 Minuten vor Anbruch des Fälligkeitszeitraumes gültig, sofern sie nicht vorher vom Anbieter geändert oder gelöscht werden oder ihre *Bindefrist* (siehe Angebotsparameter) überschreiten.

Mit Angebotsabgabe kann der FHP-Nutzer die folgenden Ausführbedingungen für sein jeweiliges Angebot angeben.

### Ausführbedingungen

- **All-or-nothing (AON)**<sup>12</sup>  
Angebote können nur komplett ausgeführt werden, eine mengenmäßige Teilerfüllung wird ausgeschlossen.
- **One-kills-all (OKA)**  
Kommt ein Angebot zur Ausführung werden alle anderen Angebote derselben Flexibilität ungültig.

---

<sup>12</sup> Analog zu EEX; siehe Kapitel 3.4.3.

## Angebotsparameter

Jedes Angebot muss die nachfolgenden Parameter enthalten, um für den Matchingprozess zugelassen zu werden. Sie wurden in Kooperation mit den Projektbeteiligten definiert und ins *Datenmodell 1.51* aufgenommen.

Tabelle 3 zeigt die im *Datenmodell 1.51* angelegten Angebotsparameter.

Parameter	Datentyp
<u>ID</u>	: uniqueidentifier
Timestamp	: datetime
Valid	: bit
IsEditing	: bit
ExpirationTime	: datetime
<i>FlexPool</i>	: uniqueidentifier
<i>ProductType</i>	: nvarchar(20)
<i>StartingTime</i>	: datetime
<i>EndingTime</i>	: datetime
AllowPartialFulfillment	: bit
PPos	: int
PNeg	: int
QPos	: int
QNeg	: int
Capacity	: int
EnergyRate	: money
DemandRate	: money

*Tabelle 3: Angebotsparameter [Datenmodell 1.51 (Stand 23.02.2016)]*

Mit Angebotseingang werden dem Angebot folgende Informationen zugewiesen:

- **Angebots-ID**
- **Zeitstempel** (*Timestamp*)
- **Gültigkeit** (*Valid*)
- **Bearbeitungsstatus** durch den FHP-Nutzer (*IsEditing*)

Folgende Angebotsparameter sind vom Anbieter anzugeben:

- **Bindefrist** (*ExpirationTime*)

Die Bindefrist ist ein vom Anbieter frei definierter Ablaufzeitpunkt.

- **Flexibilitätspool** (*FlexPool*)

Jedem *FlexPool* ist eine eindeutige ID zugeordnet. Der *FlexPool* kann aus einer einzelnen Flexibilitätsanlage oder aus einem virtuellen Flexibilitätspool, mit mehreren angeschlossenen Anlagen, bestehen. Anhand der *FlexPool-ID* können Eigenschaften der Flexibilität, die im Präqualifikationsverfahren festgestellt wurden, abgerufen werden. Diese sind in Tabelle 4 aufgeführt. Handelt es sich um einen Flexibilitätspool, wird die Gesamtleistung bzw. -kapazität aller angeschlossenen Anlagen von der FHP ermittelt. Der Anbieter muss bei Angebotsabgabe angeben mit welchem *FlexPool* er das Angebot erfüllen wird. Diese Angabe ist bindend, eine eigenmächtige Änderung nach Vertragsabschluss ist unzulässig.

Parameter	Datentyp
<u>ID</u>	: uniqueidentifier
Active	: bit
DisplayName	: nvarchar[30]
FMS	: uniqueidentifier
LocalityKey	: uniqueidentifier
QualifiedPPos	: bit
QualifiedPNeg	: bit
QualifiedQPos	: bit
QualifiedQNeg	: bit
QuantifiedP	: tinyint
QuantifiedQ	: tinyint
QuantifiedCapacity	: tinyint

Tabelle 4: Flexibilitätspool [Datenmodell 1.51 (Stand 23.02.2016)]

- **Produkttyp** (*ProductType*)

Der Produkttyp bezeichnet das jeweils angebotene Flexibilitätsprodukt. Jedem Flexibilitätsprodukt ist eine ID zugeordnet. Wie in Kapitel 4.3 erläutert, müssen Flexibilitäten bestimmte Bedingungen erfüllen, um die verschiedenen Produkttypen anbieten zu können. Diese sind dem Tabellenblatt *ProductType* des *Datenmodells 1.51* zu entnehmen.

- **Lieferzeitraum** (*StartingTime, EndingTime*)  
Der FHP-Nutzer kann Gebote für unterschiedliche Zeiträume abgeben (siehe Kapitel 4.5). Diese sind im weiteren Projektverlauf zu standardisieren.
- **Teilerfüllung** (*AllowPartialFulfillment*)  
Der Anbieter kann eine mengenmäßige Teilerfüllung zulassen oder ausschließen (*AON*).
- **Angebotsvolumen** (*PPos/PNeg, QPos/QNeg, Capacity*)  
Das Angebotsvolumen wird entsprechend der Flexibilitätsquadranten in kW oder kVAr in positiver oder negativer Richtung angegeben. Die kleinstmögliche Einheit ist ein kW bzw. kVAr. Der verfügbare Zeitraum und der daraus resultierende flexible Arbeitsanteil werden über die Kapazität (kWh) angegeben.
- **Preislimit** (*EnergyRate, DemandRate*)  
In Abhängigkeit vom Produkttyp und der Flexibilitätseigenschaften (*Qualität, Quantifizierbarkeit*) enthält das Angebot einen Arbeitspreis (€/kWh) und/oder einen Leistungspreis (€/kW\*a) als Preislimit.



## 6.2.2 Anfragen

Anfragen werden ebenfalls produktspezifisch abgegeben. Ein Anfrager kann mehrere Gebote zeitgleich für verschiedene Flexibilitätsprodukte abgeben. Anfragen können bis 15 Minuten vor Fälligkeit, als *Limit Order*, eingereicht werden (Ruppert, 2016b, S. 8). Sie können nur vollständig ausgeführt werden (*AON*). Eine zeitliche oder mengenmäßige Teilerfüllung wird ausgeschlossen. Auf der FHP werden u.a. Flexibilitätsprodukte gehandelt, die vom VNB als Systemdienstleistungen genutzt werden können, um den Netzzustand zu stabilisieren. Würde eine Teilerfüllung auf der FHP zugelassen werden, könnte es passieren, dass die Anfrage eines VNBs nicht vollständig erfüllt werden kann. Dies müsste der VNB einkalkulieren und weitere Maßnahmen, wie z.B. einen Netzausbau, ergreifen. Dies widerspricht der Zielsetzung des Flexibilitätsmarktes. Aus Vereinfachungsgründen wird die Teilerfüllung auch für nicht-systemrelevante Energieprodukte ausgeschlossen. Eingegangene Anfragen sind bis 15 Minuten vor Anbruch des Fälligkeitszeitraumes gültig, sofern sie nicht vorher vom Anfrager geändert oder gelöscht werden oder ihre Bindefrist überschreiten. Die Bindefrist kann vom Anfrager frei definiert werden. Mit Anfrageabgabe kann der FHP-Nutzer die folgenden *Angebotsanforderungen* für seine jeweilige Anfrage festlegen.

**Angebotsanforderungen** (siehe Kapitel 5.2)

- Quantifizierbarkeit
- Lokalitätswertigkeit
- Ranking<sup>13</sup>

Die *Lokalitätswertigkeit* ist zwingend vom Anfrager anzugeben. Sie wird durch den Lieferort (*LocalityKey*) beschrieben. Die Angebotsanforderungen *Quantifizierbarkeit* und *Ranking* sind optional. Gibt der Anfrager diese Angebotsanforderung nicht an, werden alle Angebote zugelassen.

---

<sup>13</sup> Im *Datenmodell 1.51* noch nicht enthalten.

## Anfrageparameter

Um für den Matchingprozess zugelassen zu werden, muss jede Anfrage die in Tabelle 5 aufgeführten Parameter, die in Kooperation mit den Projektbeteiligten definiert wurden, enthalten. Einige Parameter sind nur für Anfragen bestimmter Flexibilitätsprodukte notwendig.

Parameter	Datentyp
<u>ID</u>	: uniqueidentifier
Timestamp	: datetime
Valid	: bit
ExpirationTime	: datetime
IsEditing	: bit
User	: uniqueidentifier
ProductType	: uniqueidentifier
LocalityKey	: uniqueidentifier
StartingTime	: datetime
EndingTime	: datetime
Schedule	: uniqueidentifier
PPos	: int
PNeg	: int
QPos	: int
QNeg	: int
QuantifiedP	: bit
Capacity	: int
EnergyRate	: money
DemandRate	: money
VReference	: int
VRangePos	: int
VRangeNeg	: int
VHysteresis	: int

Tabelle 5: Anfrageparameter [Datenmodell 1.51 (Stand 23.02.2016)]

Mit Anfrageeingang werden der Anfrage folgende Informationen zugewiesen:

- **Anfrage-ID**
- **Zeitstempel** (*Timestamp*)
- **Gültigkeit** (*Valid*)
- **Bearbeitungsstatus** durch den FHP-Nutzer (*IsEditing*)

Folgende Angebotsparameter sind vom Anfrager anzugeben:

- **Bindefrist** (*ExpirationTime*)

- **Anfrager** (*User*)

Äquivalent zum *FlexPool* ist jedem Anfrager eine eindeutige *User-ID* zugeordnet. Anhand derer können Eigenschaften des Anfragers, wie z.B. der Akkreditationsstatus, abgefragt werden.<sup>14</sup>

- **Produkttyp** (*ProductType*)

- **Lieferort** (*LocalityKey*)

Der Lieferort wird durch den *LocalityKey* bestimmt. Dieser kann, abhängig davon wie scharf der Standort der FA bzw. des Flexibilitätspools abgebildet wird, unterschiedliche Lokalitätswertigkeitsstufen (*LocalityLevel*) annehmen. Diese sind in Tabelle 6 abgebildet. Mit Angabe des Lieferortes definiert der Anfrager seine geforderte Lokalitätswertigkeit. Im Pilotprojekt Flex4Energy werden nur die *LocalityLevel* 4 und 5 umgesetzt. Das Verteilnetz ist im Pilotprojekt identisch mit der Netzzelle.

ID	LocalityLevel
1	Land
2	Land, Regelzone
3	Land, Regelzone, Verteilnetz
4	Land, Regelzone, Verteilnetz, Netzzelle
5	Land, Regelzone, Verteilnetz, Netzzelle, Leitung

Tabelle 6: Lokalitätswertigkeitsstufen [Datenmodell 1.51 (Stand 23.02.2016)]

- **Lieferzeitraum** (*StartingTime, EndingTime*)

- **Fahrplan** (*Schedule*)

Bei einer Anfrage für den Produkttyp *Netzzellenausgleich* ist ein Fahrplan einzureichen.

- **Anfragemenge** (*PPos/PNeg, QPos/QNeg, Capacity*)

- **Quantifizierbarkeit** (*QuantifiedP*)

In der Anfrage wird die gewünschte Quantifizierbarkeit (*Wertigkeitsstufe*) definiert.

- **Preislimit** (*EnergyRate, DemandRate*)

- **Spannungswert** (*VReference, VRangePos, VRangeNeg, VHysteresis*)

Bei einer Anfrage für den Produkttyp *Spannungshaltung* sind der Spannungswert, das Spannungsband und der Hysteresewert anzugeben.

<sup>14</sup> Die vollständigen Angaben sind dem *Tabellenblatt User* im *Datenmodell 1.51* (Stand 23.02.2016) zu entnehmen.

### 6.2.3 Plausibilitätsprüfung

Eingehende Angebote und Anfragen durchlaufen eine einmalige Plausibilitätsprüfung, bevor sie angenommen werden und in den Matchingprozess eingehen. In der Plausibilitätsprüfung wird kontrolliert, ob die Parameter des eingegangenen Gebotes den zugelassenen Wertebereichen entsprechen.

Abbildung 42 zeigt die Ablaufsequenz der *Plausibilitätsprüfung für eingehende Angebote*. Die Tabelle auf der rechten Seite zeigt die Bezüge zum *Datenmodell 1.51*. Sie enthält die Angaben des Angebotes (*Offer Value*), die mit den *plausiblen Wertebereichen* der rechten Spalte übereinstimmen müssen.

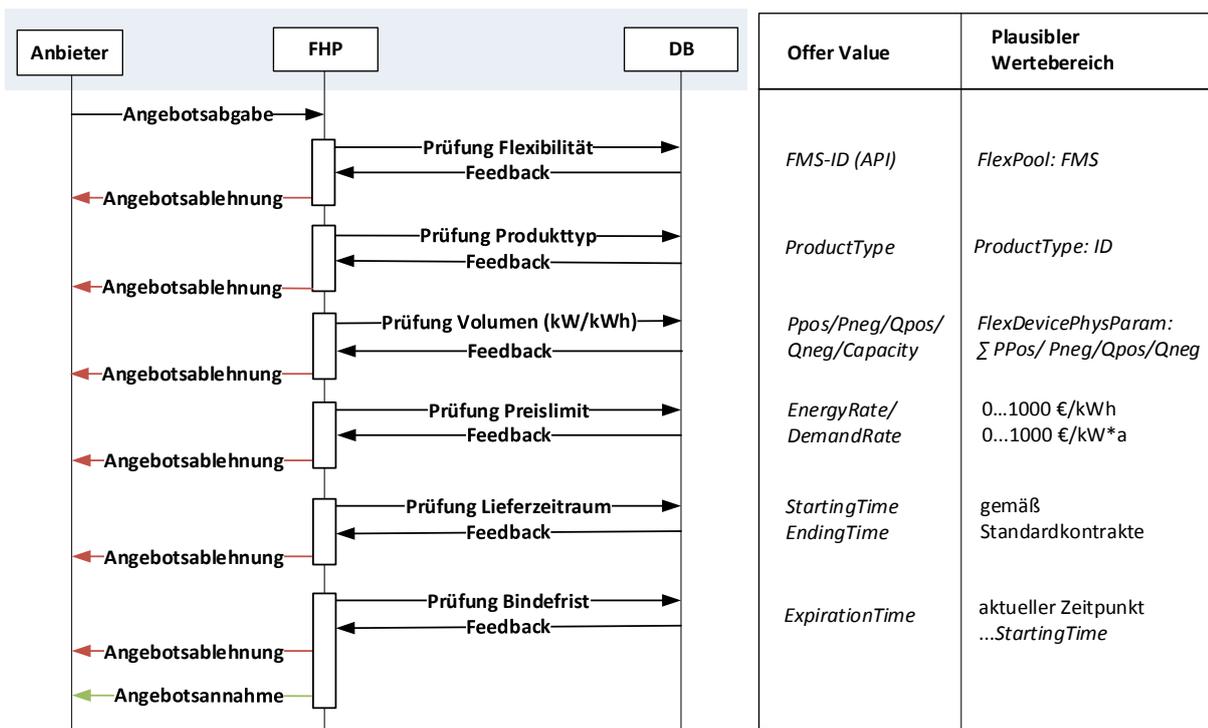


Abbildung 42: Ablaufsequenz der Plausibilitätsprüfung von Angeboten [Eigene Darstellung]

Im ersten Schritt wird überprüft, ob der FHP-Nutzer berechtigt ist Angebote für die angegebene *Flexibilität* abzugeben. Im Weiteren wird in der Datenbank (DB) abgefragt, ob die Flexibilität für den angebotenen *Produkttyp* und das *Angebotsvolumen* gemäß dem *Präqualifikationsverfahren* (siehe Kapitel 4.3) zugelassen wurde. Der zugelassene Wertebereich des *Preislimits* ist vom FHP-Betreiber festzulegen. In diesem Beispiel können

Angebote mit einem Preislimit zwischen 0 und 1000 €/kWh bzw. €/kW\*a abgegeben werden. Der angegebene *Lieferzeitraum* muss mit den standardisierten Lieferzeiträumen übereinstimmen. Diese sind im weiteren Projektverlauf noch genauer zu definieren. Zuletzt wird geprüft, ob die angegebene *Bindefrist* in der Zukunft und vor Beginn des Lieferzeitraumes liegt. Sofern während der Datenbankabfrage bei allen Schritten ein positives Ergebnis ermittelt wurde, wird das Angebot zugelassen. Andernfalls wird das Angebot zurückgewiesen. Der Anbieter wird im Onlineportal hierüber informiert.

Abbildung 43 enthält die äquivalente Ablaufsequenz der *Plausibilitätsprüfung für Anfragen*. Diese entspricht weitestgehend den zuvor beschriebenen Schritten der Plausibilitätsprüfung für Angebote.

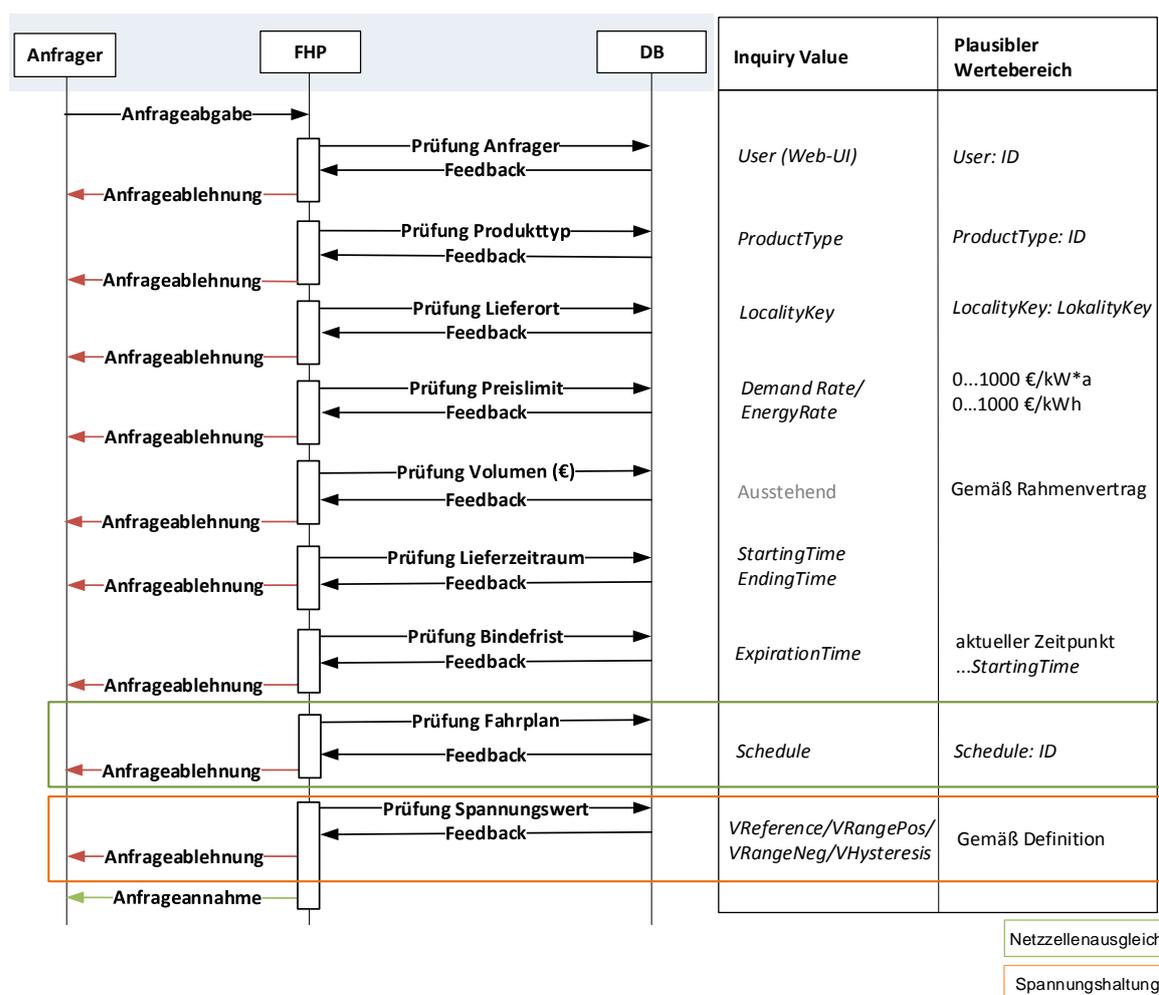


Abbildung 43: Ablaufsequenz der Plausibilitätsprüfung von Anfragen [Eigene Darstellung]

Die Identifikation des Anfragers wird anhand der *User-ID* überprüft. Anders als bei Angeboten ist bei Anfragen zu kontrollieren, ob der angegebene *Lieferort* einem gültigen Lokalitätsschlüssel entspricht. Das zulässige *Volumen* ist abhängig von den vom Anfrager geleisteten finanziellen Sicherheitsleistungen, die im Rahmenvertrag zwischen FHP-Betreiber und Anfrager festgelegt sind. Handelt es sich um eine Anfrage für den Produkttyp *Netzzellenausgleich*, muss der Anfrager einen Fahrplan mit seiner Anfrage übermitteln. Bei einer Anfrage zum Produkttyp *Spannungshaltung* müssen der Spannungssollwert, das zulässige Spannungsband und der Hysteresewert vom Anfrager angegeben werden. Hierfür sind entsprechende Wertebereiche im weiteren Projektverlauf zu definieren. Hat eine Anfrage alle Abfrageschritte erfolgreich durchlaufen, wird die Anfrage angenommen. Andernfalls wird die Anfrage abgelehnt und der Anfrager hierüber informiert.

### 6.3 Matchingprozess

Im Pilotprojekt wird mit Annahme einer Anfrage oder eines Angebotes der Matchingprozess ausgelöst. Alternativ könnte ein zeitlicher automatisierter Auslöser umgesetzt werden. Mit jedem ausgelösten Matchingprozess werden für alle vorliegenden Anfragen passende Angebote gesucht. Der Matchingprozess ist in Abbildung 44 dargestellt.

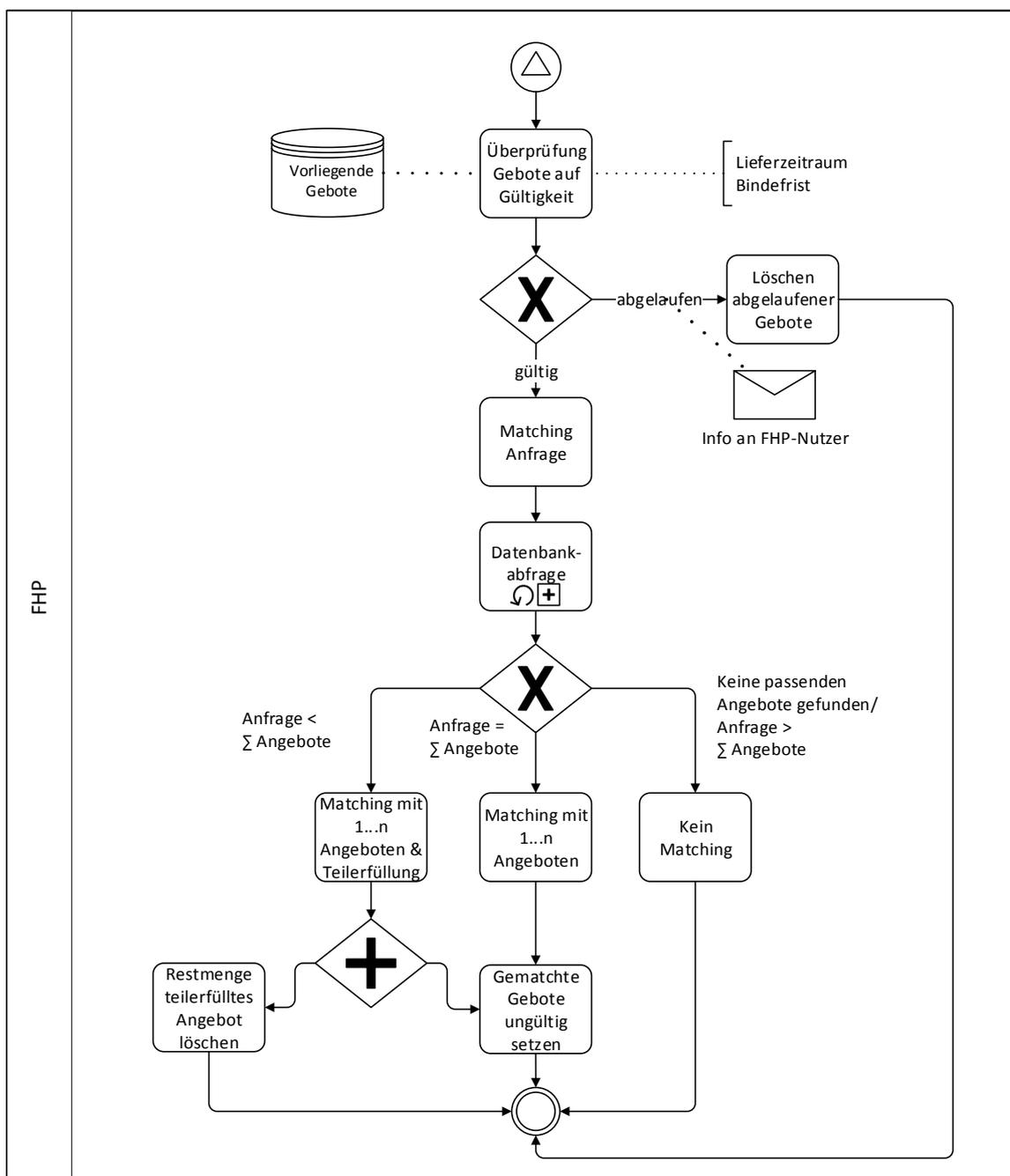


Abbildung 44: Matchingprozess an der FHP [Eigene Darstellung]

Als erstes wird anhand des angegebenen *Lieferzeitraumes* und der *Bindefrist* überprüft, ob die in der Datenbank vorliegenden Angebote und Anfragen noch gültig sind. Abgelaufene Gebote werden gelöscht und der FHP-Nutzer hierüber informiert. Für die verbleibenden Anfragen wird nacheinander in der Datenbankabfrage nach passenden Angeboten gesucht.<sup>15</sup> Liegen für eine Anfrage keine passenden Angebote vor oder kann das Anfragevolumen nicht vollständig gedeckt werden, kommt es zu keinem Matching. Entspricht das Anfragevolumen dem Volumen eines Angebotes oder mehrerer Angebote, wird das Matching ausgeführt. Die ausgeführten Angebote und die Anfrage werden ungültig gesetzt und stehen für nachfolgende Gebote nicht mehr zur Verfügung. Wenn das Anfragevolumen geringer als das gesamte Angebotsvolumen ist, wird das Angebot mit der niedrigsten Priorität nur teilausgeführt, sofern dies vom Anbieter zugelassen wird. Die Restmenge dieses Angebotes wird aus dem Orderbuch gelöscht. Die *Ablaufsequenz zur Prüfung der Zulassung der Teilerfüllung* ist dem Anhang 2.1 zu entnehmen.

---

<sup>15</sup> Ermittlung der Matchingreihenfolge von Anfragen siehe Abbildung 46.

### 6.3.1 Matchingreihenfolge der Anfragen

Mit Annahme eines neuen Gebotes werden für alle gespeicherten Anfragen passende Angebote in der Datenbank gesucht. Wie aus Abbildung 45 hervorgeht, wird die Matchingreihenfolge anhand des *Produkttyps*, des *Lieferzeitraumes* und der *Priorität* der Anfragen festgelegt. In dieser Abbildung ist die Ablaufsequenz exemplarisch für den Produkttyp *Spannungshaltung* und den Lieferzeitraum *Jahr 17* gezeigt. Sie ist übertragbar auf jede Kombination aus Produkttyp und Lieferzeitraum.

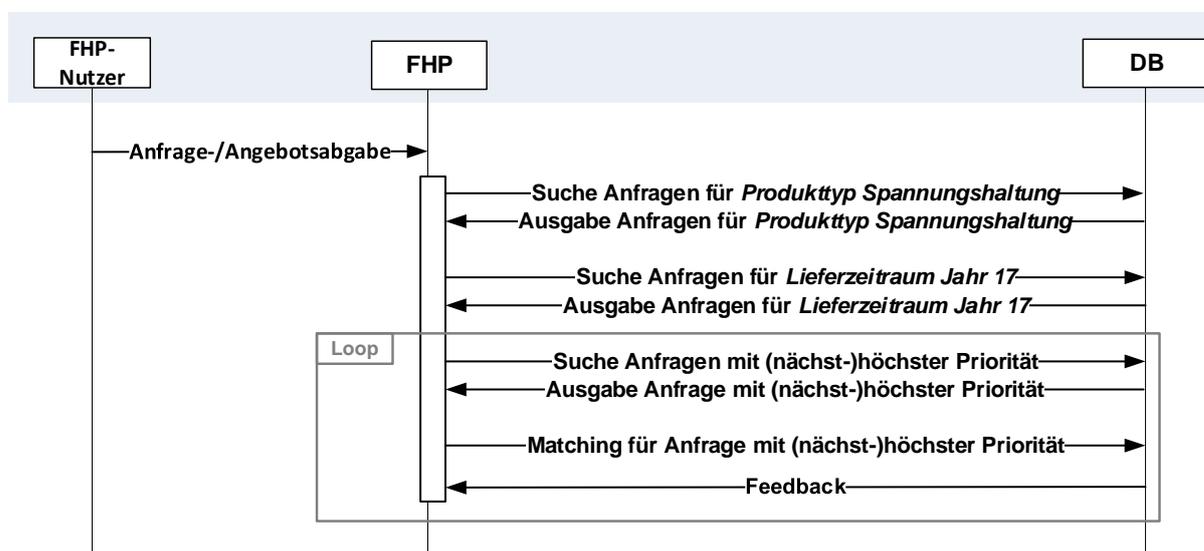


Abbildung 45: Ablaufsequenz zur Festlegung der Matchingreihenfolge von Anfragen  
[Eigene Darstellung]

Zunächst werden alle in der Datenbank vorliegenden Anfragen desselben Produkttyps ermittelt. Im nächsten Schritt werden die Anfragen eines Lieferzeitraumes gesucht. Die Anfrage mit der höchsten Priorität durchläuft als erstes das Matching. Bei diesem wird nach passenden Angeboten für diese Anfrage gesucht. Nach Abschluss des Matchings für diese Anfrage durchläuft die Anfrage mit der nächsthöchsten Priorität das Matching. Dies wird solange wiederholt, bis alle Anfragen desselben Produkttyps und Lieferzeitraumes abgearbeitet sind. Dann wird die Sequenz für alle Anfragen des nächsten Lieferzeitraumes, bzw. des nächsten Produkttyps wiederholt.

Die Bearbeitungsreihenfolge wird wie in Abbildung 46 gezeigt ermittelt. Sie wurde in Kooperation mit den Projektpartnern festgelegt.

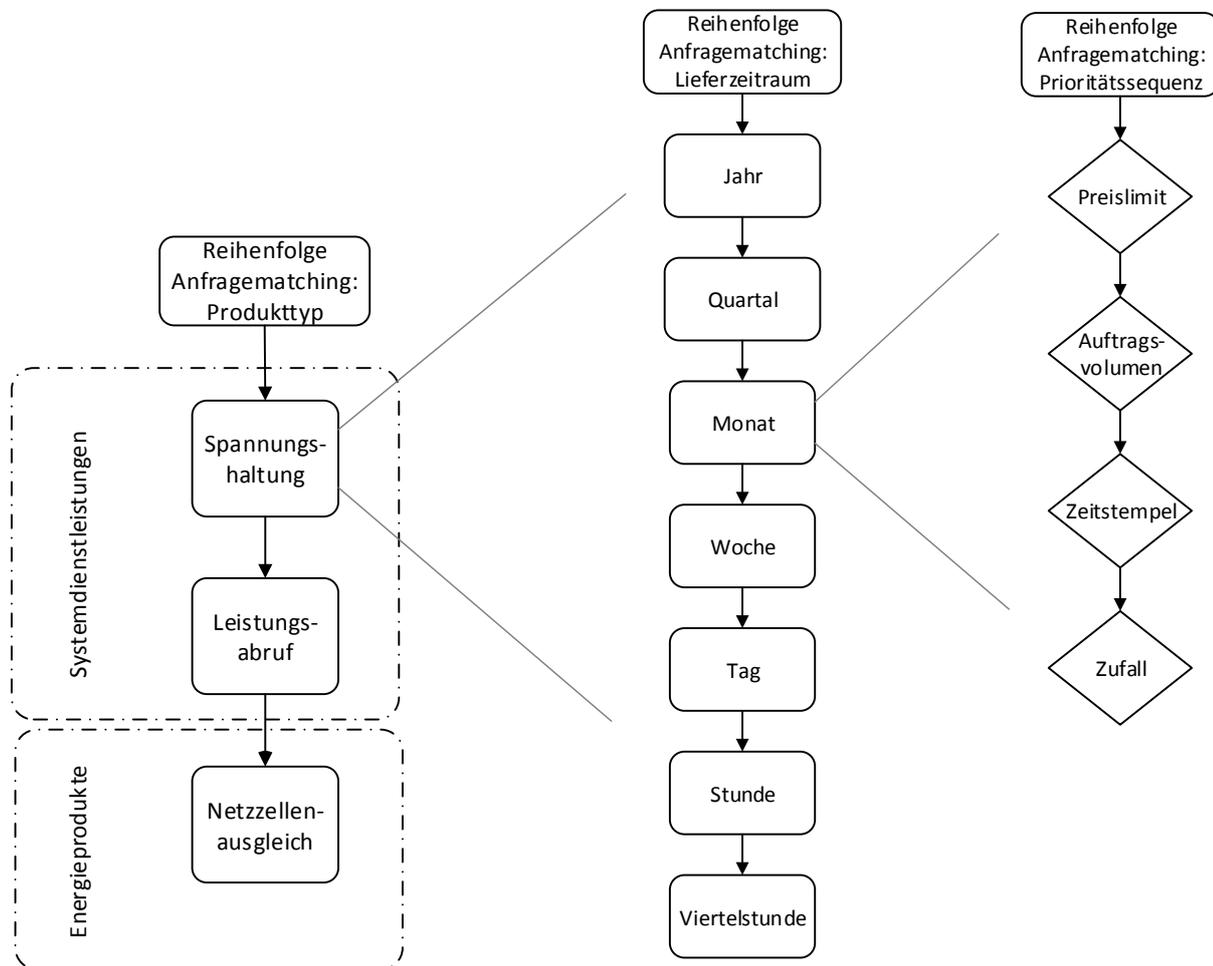


Abbildung 46: Ermittlung der Matchingreihenfolge von Anfragen [Eigene Darstellung]

Um die Systemrelevanz zu berücksichtigen, durchlaufen als erstes die Anfragen des Produkttyps *Spannungshaltung* das Matching, gefolgt von Anfragen des Produkttyps *Leistungsabruf* und letztlich des Produkttyps *Netzzellenausgleich*. Anfragen desselben Produkttyps werden entsprechend des Lieferzeitraumes vom längsten (*Jahr*) zum kürzesten (*Viertelstunde*) bearbeitet, mit dem Ziel größtmögliche Handelsvolumen zu generieren. Innerhalb eines Lieferzeitraumes ist die Priorität der vorliegenden Anfragen entscheidend. Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben werden alle an der FHP angenommenen Anfragen und Angebote anhand von Prioritätskriterien in eine Rangfolge gebracht. Für die FHP wurde die oben gezeigte Prioritätssequenz festgelegt. Diese gilt sowohl für Anfragen als auch für

Angebote. Gespeicherte Angebote werden entsprechend der so ermittelten Rangfolge als Matchingpartner für eine Anfrage ausgewählt. Das zugehörige Sequenzdiagramm zur *Priorisierung von Geboten* befindet sich in Anhang 2.2.

### 6.3.2 Datenbankabfrage

Entsprechend der Matchingreihenfolge der Anfragen wird für jede vorliegende Anfrage die Datenbank nach passenden Angeboten durchsucht. In der Datenbankabfrage wird die Matchingreihenfolge der Angebote ermittelt. Abbildung 47 enthält die einzelnen Schritte des Prozesses Datenbankabfrage (siehe Abbildung 44).

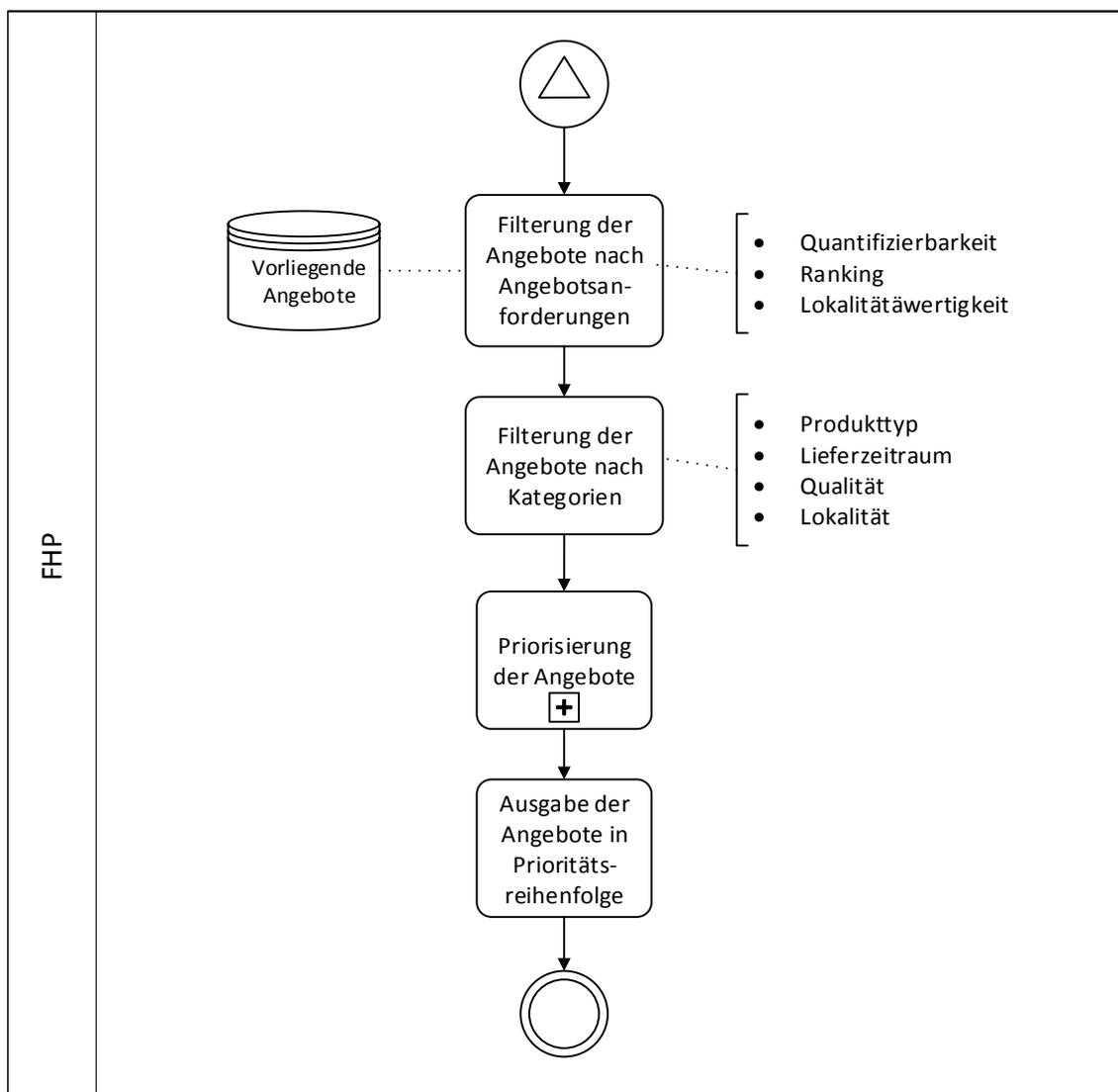


Abbildung 47: Datenbankabfrage im Matchingprozess der FHP [Eigene Darstellung]

Anders als in Kapitel 5 dargelegt, werden an der FHP Angebote zunächst nach *Angebotsanforderungen* und dann nach *Kategorien* gefiltert. Dies resultiert daraus, dass im Pilotprojekt die *Lokalität* über einen Lokalitätsschlüssel abgebildet wird. Dieser kann, in Abhängigkeit davon wie genau der Standort einer Flexibilität bestimmt werden kann, unterschiedlich lang sein. Mit der Angebotsanforderung *Lokalitätswertigkeit* wird vom Anfrager festgelegt, wie viele Stellen der Lokalitätsschlüssel einer Flexibilität haben muss, um für seine Anfrage zugelassen zu werden. Im nächsten Schritt werden die Angebote nach ihrer *Lokalität* gefiltert. D.h. es werden nur die Flexibilitäten zugelassen, deren Lokalitätsschlüssel der geforderten Lokalitäts-ID entsprechen. Angebote der Datenbank werden nach den Angebotsforderungen *Lokalitätswertigkeit*, *Quantifizierbarkeit* und *Ranking* gefiltert. Zugelassen werden diejenigen Angebote, die die vom Anfrager festgelegten Mindestanforderungen erfüllen. Die *Ablaufsequenz zur Filterung der Angebote nach Angebotsforderungen* ist dem Anhang 2.3 zu entnehmen. Angebote, die den Angebotsanforderungen einer Anfrage entsprechen, werden anschließend nach den Kategorien *Produkttyp*, *Lieferzeitraum*, *Qualität* und *Lokalität* gefiltert. Die entsprechende Ablaufsequenz befindet sich in Anhang 2.4. Die gefilterten Angebote werden danach gemäß ihrer *Preis-Volumen-Zeit-Priorität* sortiert und in der ermittelten Rangfolge ausgegeben. Die entsprechende Prioritätssequenz wurde zuvor in Abbildung 46 gezeigt. Die zugehörige Ablaufsequenz ist dem Anhang 2.2 zu entnehmen.

Wie bereits beschrieben kann eine Anfrage mit einem Angebot oder mehreren ausgeführt werden. Aus der Ablaufsequenz in Abbildung 48 geht hervor, welche Bedingungen hierfür erfüllt sein müssen. Sie beziehen sich auf das *Datenmodell 1.51*.

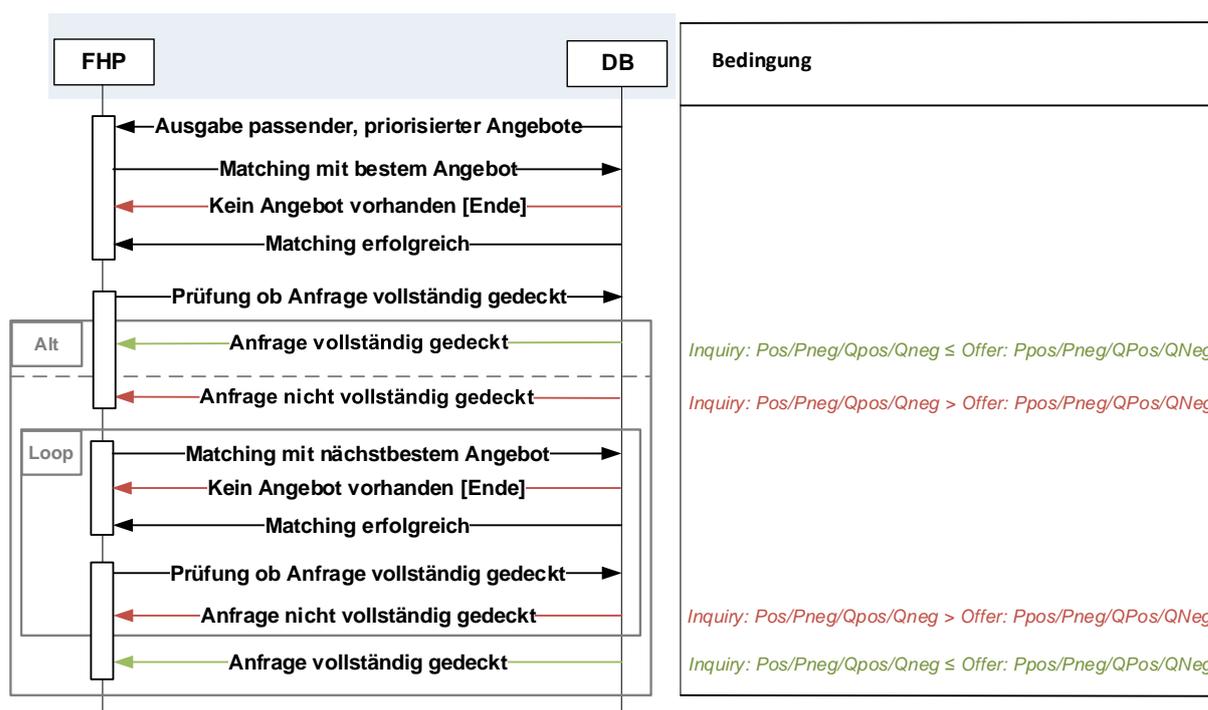


Abbildung 48: Ablaufsequenz des Matchings einer Anfrage mit mehreren Angeboten  
[Eigene Darstellung]

Passende Angebote werden in priorisierter Reihenfolge ausgegeben. Liegt kein passendes Angebot vor, wird das Matching dieser Anfrage beendet und die Sequenz für die nächste Anfrage gestartet. Wurden für eine Anfrage passende Angebote gefunden, wird die Anfrage und das Angebot mit der höchsten Priorität (*bestes Angebot*) ausgeführt. Im nächsten Schritt wird überprüft, ob die Anfrage durch das Matching vollständig gedeckt ist. Dies ist der Fall, wenn das Volumen der Anfrage mit dem Volumen des Angebotes übereinstimmt oder geringer als dieses ist. Ist diese Bedingung erfüllt, ist der Vorgang beendet und die Sequenz wird mit der nächsten Anfrage wiederholt. Andernfalls wird das nächstbeste Angebot, also das Angebot mit der nächsthöchsten Priorität, ebenfalls mit dieser Anfrage ausgeführt und bei erfolgreichem Matching überprüft, ob die Anfrage nun vollständig gedeckt ist. Ist dies nicht der Fall, wird der Vorgang solange wiederholt, bis die Anfrage vollständig erfüllt ist. Liegen keine ausreichenden Angebote vor, um die Anfrage zu decken, kann sie nicht ausgeführt werden. Da eine Teilerfüllung von Anfragen ausgeschlossen ist, kommt es zu keinem Matching dieser Anfrage.

### 6.3.3 Preisbildung

An der FHP sind im Pilotprojekt nur Anfragen und Angebote mit einem vom FHP-Nutzer definiertem Preislimit vorgesehen. Die Preisbildung entspricht der Vorgehensweise für *Limit Orders* im kontinuierlichen Handel, welche in Kapitel 3.3.4 beschrieben wurde.

Entscheidend für die Preisbildung ist der Eingabezeitpunkt eines Gebotes. Passende Anfragen und Angebote können miteinander ausgeführt werden, wenn das Anfragevolumen durch ein oder mehrere Angebote gedeckt werden kann und das Preislimit der Anfrage höher oder gleich dem Preislimit der entsprechenden Angebote ist.

Im Beispiel von Abbildung 49 wird die Anfrage mit zwei Angeboten ausgeführt.

Anfragen			Angebote			Ordereingang
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit	
10:00	200	<b>40</b>	39	100	10:01	Angebot 38 €/St. 100 St. 10:03 Uhr

**Anfragelimit ≥ Angebotslimit**

Abbildung 49: Matching einer Anfrage mit mehreren Angeboten zum Anfragelimit  
[Eigene Darstellung]

Das Preislimit der Anfrage ist höher als das Preislimit des um 10:01 Uhr eingegangenen Angebotes. Jedoch kann die Anfrage erst mit Eingang des neuen Angebotes um 10:03 Uhr ausgeführt werden, weil erst dann das Anfragevolumen vollständig gedeckt ist. Da die Anfrage den ältesten Eingangsstempel aufweist, werden beide Angebote zum Preislimit der Anfrage (40 €/kWh) ausgeführt.

Weist hingegen, wie in Abbildung 50, ein passendes Angebot einen früheren Eingangszeitpunkt auf, wird dieses Angebot und die anteilige Anfrage zum entsprechenden Angebotspreislimit ausgeführt.

Anfragen			Angebote		
Zeit	Volumen	Limit	Limit	Volumen	Zeit
10:02	200	<b>40</b>	<b>39</b>	100	10:01

**Ordereingang**  
 Angebot  
 38 €/St.  
 100 St.  
 10:03 Uhr

**Anfragelimit  $\geq$  Angebotslimit**

Abbildung 50: Matching einer Anfrage mit mehreren Angeboten zu unterschiedlichen Preislimits [Eigene Darstellung]

In diesem Beispiel werden 100 kWh der Anfrage mit dem um 10:01 Uhr eingegangenen Angebot zu 39 €/kWh ausgeführt und die restlichen 100 kWh mit dem um 10:03 Uhr eingegangenen Angebot zu 40 €/kWh.

Die Preisbildungsregeln der FHP sind Abbildung 51 in zusammengefasst.

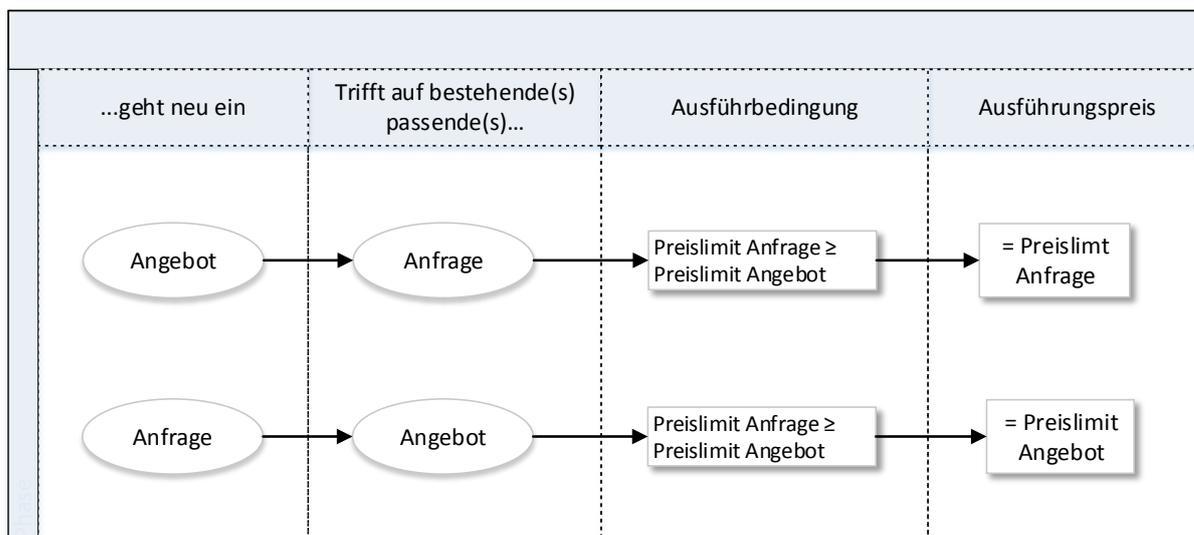


Abbildung 51: Übersicht der Preisbildungsregeln an der FHP [Eigene Darstellung]

## 6.4 Geschäftsschlussprozess

Konnte eine Anfrage mit mindestens einem Angebot ausgeführt werden, kommt es zum Geschäftsschluss. Abbildung 52 zeigt den Geschäftsschlussprozess.

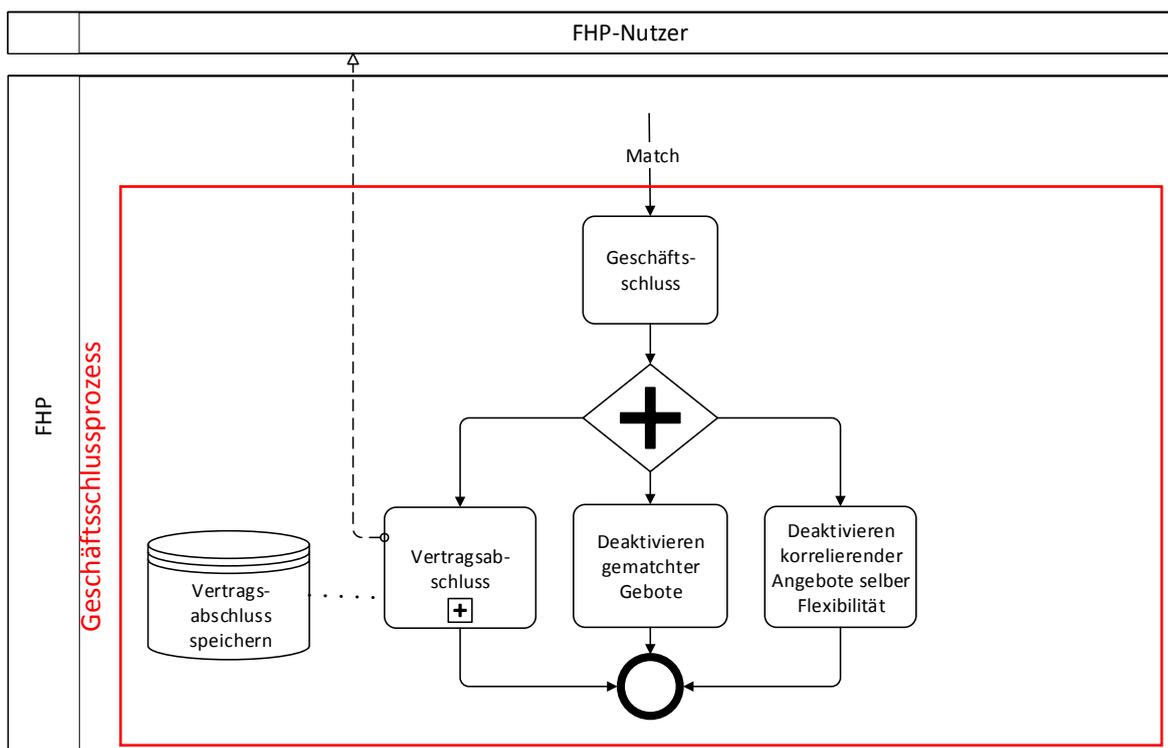


Abbildung 52: Geschäftsschlussprozess an der FHP [Eigene Darstellung]

Zum einen kommt es zum Vertragsabschluss, welcher im Folgenden näher beschrieben wird. Abgeschlossene Verträge werden in der Datenbank gespeichert. Anfrager und Anbieter werden im Onlineportal der FHP und per E-Mail über ihre erfolgten Vertragsabschlüsse informiert. Des Weiteren werden die Anfrage sowie die Angebote mit der sie ausgeführt wurde deaktiviert. An der FHP haben Anbieter die Möglichkeit ihre Flexibilität parallel für verschiedene Anwendungen (Flexibilitätsprodukte) anzubieten. Kommt es zum Matching eines Angebotes, müssen alle Angebote derselben Flexibilität mit überschneidendem Lieferzeitraum (korrelierende Angebote) deaktiviert werden, um eine Doppelvermarktung auszuschließen. Dadurch stehen die entsprechenden Gebote für nachfolgende Durchläufe des Matchingprozesses nicht mehr zur Verfügung. Hat ein Anbieter ein Angebot mit der Ausführbedingung *One-kills-all* abgegeben, werden unabhängig vom Lieferzeitraum alle

anderen Angebote derselben Flexibilität deaktiviert. Der Deaktivierungsprozess korrelierender Angebote ist dem Anhang 2.5 zu entnehmen.

Die einzelnen Schritte des Vertragsabschlusses gehen aus Abbildung 53 hervor.

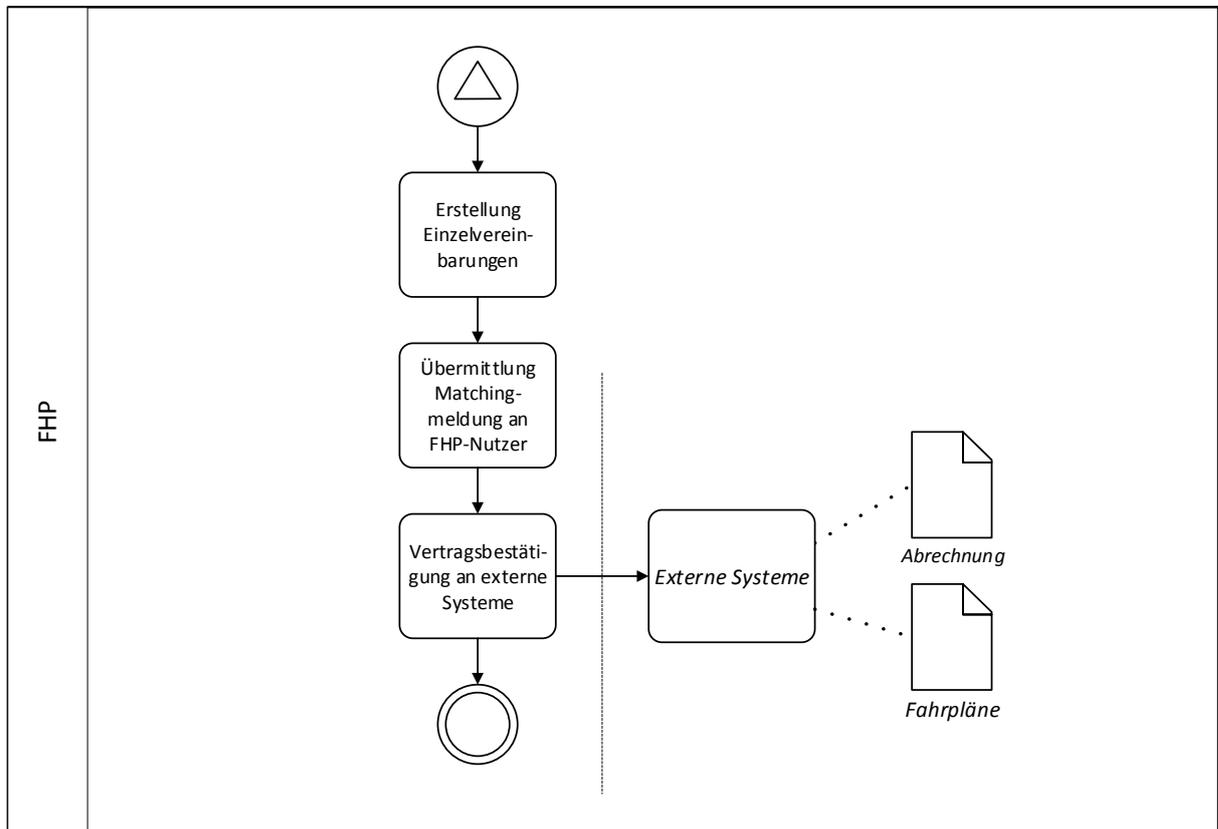


Abbildung 53: Vertragsabschluss an der FHP [Eigene Darstellung]

Wie bereits in Kapitel 4.3 dargelegt wird für jede Anfrage und jedes Angebot eines Matchings eine Einzelvereinbarung zwischen dem FHP-Betreiber und dem Anfrager bzw. Anbieter erstellt. Diese wird an den jeweiligen FHP-Nutzer übermittelt. Zuletzt erfolgt die Vertragsbestätigung an externe Systeme. Hierzu gehören Abrechnungs- und Fahrplanmanagementsysteme. Diese werden im Pilotprojekt jedoch nicht umgesetzt (Ruppert & Ochs, 2016, S. 15).

## 7 Fazit und Ausblick

### Ergebnisse

Im Pilotprojekt Flex4Energy wird eine Flexibilitätshandelsplattform (FHP) umgesetzt an der Flexibilitäten für verschiedene Anwendungszwecke gehandelt werden können. Neben klassischen Energieprodukten zur Portfolio- und Netzzellenoptimierung, sind Flexibilitätsprodukte für den Einsatz als Systemdienstleistungen vorgesehen. An der FHP ist der Handel von Energieprodukten, die grundsätzlich von allen Marktteilnehmern angefragt und angeboten werden können, und der Handel von Flexibilitätsprodukten für Systemdienstleistungen, die nur vom VNB angefragt werden, zu vereinen.

In dieser Arbeit geht es um die Umsetzung des Angebotsmatchings. Ziel war die Entwicklung von Matchingprozessen für die Implementierung an der FHP. Als Grundlage für die Entwicklung der Matchingprozesse wurden verschiedene Handelsformen und ihre Preisbildungsmechanismen untersucht. Als Exempel für den Handel von Energieprodukten dienen der Spotmarkt und der Terminmarkt der EEX. Dort erfolgt der Handel entweder in Form von Auktionen oder kontinuierlich. Als Beispiel für den Handel von Systemdienstleistungen dient der Regelenergiemarkt der ÜNB. Ausgehend von den untersuchten Handelsplätzen wurde zum einen ein Matchingkonzept für den Handel von Systemdienstleistungen in Form eines Ausschreibungsmarktes und zum anderen ein Matchingkonzept für den Handel von Flexibilitätsprodukten in Form eines kontinuierlichen Handelsmarktes erarbeitet. Hierfür wurden verschiedene *Kategorien* und *Angebotsanforderungen*, die als Filter für eingehende Angebote und Anfragen dienen, sowie *Prioritätskriterien*, zur Festlegung der Matchingreihenfolge, definiert. Im *Ausschreibungsmarkt für Systemdienstleistungen* tritt der VNB als einziger Anfrager auf. Er führt Ausschreibungen für positive und negative Wirk- oder Blindleistung durch und definiert die Rahmenbedingungen. Die Vergabeentscheidung erfolgt nach einer definierten *Prioritätssequenz*. Im *kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte* werden sowohl Energieprodukte als auch Flexibilitätsprodukte für Systemdienstleistungen gehandelt. Es wurden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, die besondere Stellung systemrelevanter Anfragen zu berücksichtigen. Der Handel erfolgt im kontinuierlichen Handelsmarkt mit Hilfe



eines offenen Orderbuches. Aufgrund der Vielzahl der Prioritätskriterien die im Matchingprozess des kontinuierlichen Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte berücksichtigt werden, wurde als Alternative zur *Prioritätssequenz* ein Vorschlag zur Umsetzung eines *gewichteten Prioritätsschlüssels* erarbeitet.

Für das Projekt Flex4Energy wurde die Umsetzung eines *kontinuierlichen Handelsmarktes für Flexibilitätsprodukte* mit offenem Orderbuch beschlossen. Im Laufe der Arbeit hat sich jedoch herausgestellt, dass die Umsetzung eines offenen Orderbuches, aufgrund der unzureichenden Standardisierung der Flexibilitätsprodukte, nicht sinnvoll ist. Stattdessen ist für den Flexibilitätshandel an der FHP ein *gebotsspezifisches Orderbuch* vorgesehen. Dieses dient als Marktinformationsinstrument für den FHP-Nutzer. Sobald an der FHP ein neues Gebot eingeht, wird der Matchingprozess ausgelöst. In diesem wird für jede vorliegende Anfrage nach passenden Angeboten bzw. Angebotskombinationen gesucht. Dabei werden Anfragen zu systemrelevanten Produkten vor Anfragen zu Energieprodukten berücksichtigt. Für den Flexibilitätshandel an der FHP wurden *Angebots- und Anfrageprozesse*, der *Matchingprozess* und der *Geschäftsschlussprozess* mit Bezug auf das bestehende **Datenmodell 1.51** entwickelt und in Form von Sequenz- und Flussdiagrammen dargestellt.

## Diskussion

Das primäre Ziel von Flexibilitätsmärkten ist die kosteneffiziente Integration Erneuerbarer Energien in das bestehende Verteilnetz. Die Nutzung von Flexibilitäten für netzdienliche Zwecke kann das Verteilnetz entlasten und soll einen Netzausbau überflüssig machen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist die physische Erfüllung von gehandelten Flexibilitätsprodukten entscheidend. Börsenplätze sind transparenter als OTC-Märkte und übernehmen das Kontrahentenrisiko für die Handelsteilnehmer. Daher wird die FHP als Börsenplatz für Flexibilitäten dienen. Allerdings kann hierdurch nur das finanzielle Kontrahentenrisiko umgangen werden. Das physische Ausfallrisiko besteht nach wie vor. Inwieweit die Einführung des Flexibilitätshandels eine Alternative zum Ausbau des Verteilnetzes darstellt, ist unklar. Dies hängt von der Zuverlässigkeit der Anbieter und den zu erwartenden Netzausbaukosten ab. Bei der Umsetzung eines Flexibilitätshandels sind daher Prüfmechanismen zur Kontrolle der physischen Lieferverpflichtung zu implementieren. Diese sind in der vorliegenden Arbeit nicht vorgesehen.

Im Projekt Flex4Energy soll ein liquider und transparenter Handelsplatz für verschiedene Flexibilitätsprodukte umgesetzt werden, der den Handelsteilnehmern kurzfristige Handlungsspielräume bietet. Diese Anforderungen werden im kontinuierlichen Handel erfüllt. Im Auktionshandel konzentriert sich der Handel auf konkrete Zeitpunkte, wodurch die Liquidität gefördert wird. Jedoch eignen sich Auktionen nur für hinreichend standardisierte Produkte mit ausreichender Vorlaufzeit. Es hat sich herausgestellt, dass in Flexibilitätsmärkten deutlich mehr Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind als an bestehenden Stromhandelsplätzen. Eine so tiefgreifende Standardisierung der Produkte, wie an der EEX, ist daher schwer umzusetzen und würde sich negativ auf die Liquidität und Transparenz des Marktes auswirken. Die FHP ermöglicht den Handel von langfristigen und kurzfristigen Produkten. Terminmarkt und Spotmarkt werden somit vereint. Jedoch steht, anders als am Terminmarkt der EEX, die physische Lieferung im Vordergrund. Die Umsetzung eines *Ausschreibungsmarktes für Systemdienstleistungen*, der den Grundzügen des Regenergiemarktes entspricht, ist grundsätzlich möglich. Dieser würde in der beschriebenen Form jedoch weitere Anfrager, neben dem VNB, ausschließen. Der *kontinuierliche Handelsmarkt für Flexibilitätsprodukte* vereint den Handel von Energieprodukten, die grundsätzlich von allen Marktteilnehmern angefragt und angeboten werden können, und von Systemdienstleistungen. Jedoch wird zum derzeitigen Projektstand davon ausgegangen, dass für systemrelevante Flexibilitätsprodukte nur der VNB als Anfrager auftreten wird. Eine mögliche Option ist es, den Handel von systemrelevanten und nicht-systemrelevanten Flexibilitätsprodukten zu trennen. So könnten, ähnlich wie im bestehenden Stromhandel, Energieprodukte in kontinuierlicher Form und Systemdienstleistungen in Form von Ausschreibungen gehandelt werden.

Für das systemrelevante Flexibilitätsprodukt *Leistungsabruf* sind an der FHP *quantifizierbare* und *nicht-quantifizierbare Flexibilitätsanlagen* zugelassen. Der Nutzen *nicht-quantifizierbarer* Flexibilitäten ist jedoch fraglich. Bei Flexibilitätsangeboten der *Wertigkeitsklasse (i)* kann nicht vorhergesagt werden, welche Leistung für welchen Zeitraum tatsächlich zur Verfügung steht oder welchen Einfluss der Kauf des Flexibilitätsangebotes auf die Netzsituation hat. Es ist möglich, dass sich das Einspeiseverhalten der Flexibilitätsanlage durch den Kauf des Angebotes nicht verändert. Der Anfrager, in diesem Fall der VNB, zahlt also für ein Produkt das ihm keinen Mehrwert verschafft. Der Vorteil für den VNB besteht allerdings darin, dass die



entsprechende Flexibilitätsanlage ihre Leistung nicht entgegen des Regelungswunsches des VNB verändern darf. Somit wird verhindert, dass diese Anlage die Problematik des Netzzustandes verstärkt. Der Nutzen von *quantifizierbaren Flexibilitätsanlagen* ist höher, da sowohl ihr flexibler Leistungsanteil als auch ihre Kapazität prognostizierbar sind. Allerdings ist die gegenwärtige Anzahl der quantifizierbaren Flexibilitätsanlagen begrenzt. Inwiefern sich das in den nächsten Jahren ändern wird, ist unklar. Aus den genannten Gründen sollten *nicht-quantifizierbare Flexibilitäten* zum Handel an der FHP zugelassen werden.

Für den Matchingprozess an der FHP ist eine *Prioritätssequenz* vorgesehen. Ein Prioritätskriterium wird somit nur überprüft, wenn bei der Prüfung des vorigen Kriteriums keine eindeutige Gebotsreihenfolge bestimmt werden konnte. Die Abfolge der Prioritätskriterien erfolgt nach ihrer Relevanz. Die *Prioritätssequenz* ist nur für eine begrenzte Anzahl an Prioritätskriterien geeignet. Mit zunehmender Anzahl an Prioritätskriterien sinkt zum einen die Wahrscheinlichkeit, dass ein Prioritätskriterium zum Tragen kommt, zum anderen könnte es die Geschwindigkeit des Matchingprozesses negativ beeinflussen. Für die Berücksichtigung vieler Prioritätskriterien eignet sich ein *gewichteter Prioritätsschlüssel* besser. Bei diesem kann der FHP-Betreiber die Relevanz der einzelnen Prioritätskriterien definieren.

### **Handlungsempfehlung**

Bei der Entwicklung der Matchingprozesse stellte sich heraus, dass einige Aspekte im bisherigen Projektverlauf unzureichend konkretisiert wurden. Diese werden in weiteren Arbeiten behandelt. Die Implementierung der Matchingprozesse an der FHP erfolgt nach Abschluss dieser Arbeit. Da bislang kein eindeutiges Konzept zur Abbildung der *Lokalität* vorliegt, basieren die Matchingprozesse auf einem vereinfachten Lokalitätsschlüssel. Dies ist gegebenenfalls bei der Implementierung anzupassen. Zum aktuellen Zeitpunkt ist noch unklar, ob und wie die Netzampel an der FHP umgesetzt wird. Desweiteren sind die Lieferzeiträume, zulässigen Preislimits und Spannungsregelungsbereiche zu definieren. Ein *Ranking* wurde bislang im Datenmodell 1.51 nicht vorgesehen und ist zu ergänzen. Ausgehend von dem vorliegenden Konzept, ist das *gebotsspezifische Orderbuch* näher zu definieren und unabhängig vom Matchingprozess zu implementieren. Nach der Implementierung ist zu überprüfen, ob mit den vorgesehenen Matchingmechanismen die Anforderungen an die

Handelsgeschwindigkeit erfüllt werden. Im vorliegenden Konzept wird der Matchingmechanismus mit Eingang eines neuen Gebotes ausgelöst. Bei hohem Handelsaufkommen könnte dies zu Komplikationen führen. In diesem Fall sollte der Matchingprozess in konkreten Intervallen durchgeführt werden. In wie fern der Flexibilitätsmarkt als Alternative zum Ausbau der Verteilnetze geeignet ist, wurde nicht geklärt. Diese Thematik sollte im weiteren Projektverlauf untersucht werden.

Der weitere Handlungs- und Forschungsbedarf ist in Tabelle 7 zusammengefasst.

Handlungs-/ Forschungsbedarf	Beschreibung	Umsetzung bei Flex4Energy
Definition zulässiger Preislimits	Festlegen eines Mindest- und Maximalpreislimits für Angebote und Anfragen	Ja
Definition zulässige Spannungsregelung	Festlegung der Wertebereiche des Spannungssollwerts, Spannungsbandes und der Hysterese in Anfragen	Ja
Definition Lieferzeiträume	Standardisierung von Lieferbeginn und -ende der handelbaren Zeiträume	Ja
Implementierung Matchingprozesse	Programmierung der Matchingprozesse im Pilotsystem FHP	Ja
Evaluation Matchingprozesse	Plausibilisierung der Matchingprozesse; Überprüfung der Handelsgeschwindigkeit; Entwicklung von handelsstrategischen Szenarien	Ja (simulativ)
Abbildung Lokalität	Entwicklung eines Konzeptes zur Lokalitätsbeschreibung einer FA bzw. eines Flexibilitätspools	Ja
Berücksichtigung Netzzustand	Entwicklung eines Konzeptes zur Berücksichtigung der Netzsituation im Handeslssystem (Integration Netzampel)	Ja
Umsetzung gebotsspezifisches Orderbuch	Entwurf und Implementierung des gebotsspezifischen Orderbuches auf Basis der entwickelten Prozesse zur Filterung und Priorisierung von Angeboten und Anfragen	Ja
Implementierung Prüfsystem physische Lieferverpflichtung	Umsetzung von Prüfmechanismen zur Kontrolle der Einhaltung von physischen Lieferverpflichtungen	Offen
Implementierung Rankingverfahren	Umsetzung eines Rankingverfahrens für Anbieter auf Basis der Einhaltung der physischen Lieferverpflichtung	Offen
Flexibilitätsmärkte als Alternative zum Verteilnetzausbau	Durchführung einer Studie zur Beantwortung der Fragen, inwieweit Flexibilitätsmärkte Kapazitätsengpässe auf Verteilnetzebene reduzieren können und einem Ausbau der Verteilnetze entgegenwirken können	Offen

*Tabelle 7: Übersicht über den weiterführenden Handlungs- und Forschungsbedarf  
[Eigene Darstellung]*



## Anhang 1 Verwendete Notation

### Anhang 1.1 Notation von Flussdiagrammen

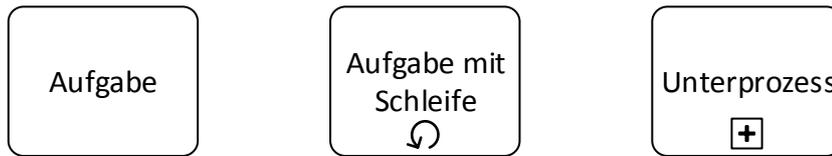
Die dargestellten Flussdiagramme basieren auf der BPMN-Symbolsprache (Business Process Modelling Notation). Hierbei werden voneinander abhängige Tätigkeiten eines Prozesses in ihrer Bearbeitungsreihenfolge dargelegt (Universität Stuttgart, 2011, S. 4). Die verwendeten Symbole werden im Folgenden erläutert.



Pools dienen in der BPMN-Symbolsprache dazu, um einzelne Tätigkeiten der zuständigen Geschäftseinheit zuzuordnen (ebd.). In der vorliegenden Arbeit werden sie dazu verwendet, die Kommunikation zwischen FHP-Nutzer und FHP zu verdeutlichen. Die Informationsweitergabe innerhalb der FHP wird durch einen durchgezogenen Pfeil symbolisiert. Der Nachrichtenfluss zwischen FHP und FHP-Nutzer wird durch einen gestrichelten Pfeil ausgedrückt.



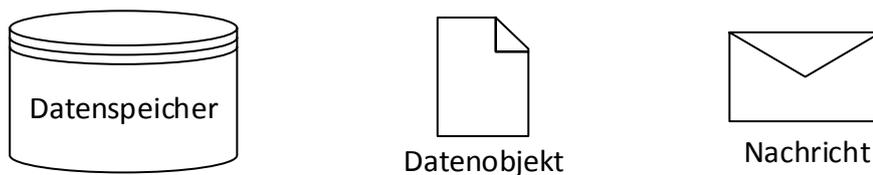
Jeder Prozess wird mit Eintritt eines Startereignisses ausgelöst und endet mit einem Endereignis. Sie werden durch einen Kreis symbolisiert. Ein Prozess kann mehrere Zwischenergebnisse enthalten. Diese sind durch einen Kreis mit doppelter Umrandung gekennzeichnet (Universität Stuttgart, 2011, S. 15). Enthält das Startereignis ein Briefsymbol, wird der Prozess mit dem Eingang einer Nachricht ausgelöst (Universität Stuttgart, 2011, S. 8). Ein Dreieck symbolisiert ein Signal. Ein Endereignis mit einem Blitzsymbol steht für einen Fehler. Wird im Prozessablauf ein Fehler festgestellt, werden alle Flüsse sofort abgebrochen (Universität Stuttgart, 2011, S. 19). Bei einem leeren Kreis handelt es sich um ein nicht weiter definiertes Ereignis.



Tätigkeiten eines Prozesses werden durch ein Aufgabesymbol abgebildet. Wird eine Tätigkeit wiederholt, enthält es ein Schleifensymbol (Universität Stuttgart, 2011, S. 6). Ein Unterprozess symbolisiert eine Reihe von Prozessschritten, die in einem anderen Diagramm dargestellt sind.



Verzweigungen oder Zusammenführungen von Prozessen werden durch Gateways dargestellt (Universität Stuttgart, 2011, S. 9). Sie zeigen wie ein Prozess unter bestimmten Bedingungen weitergeht (ebd.). Enthält das Gateway ein X handelt es sich um ein exklusives Gateway, bei dem nur ein Fluss weitergehen kann (Oder-Verknüpfung) (Universität Stuttgart, 2011, S. 10). Ein Pluszeichen symbolisiert ein paralleles Gateway (Universität Stuttgart, 2011, S. 22). Nachfolgende Prozesse werden parallel ausgeführt (Und-Verknüpfung).



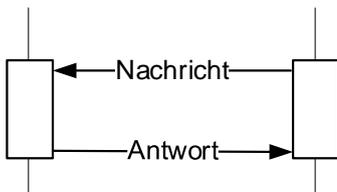
Der Datenspeicher symbolisiert eine externe Datenbank, auf die im Prozessverlauf zugegriffen werden kann. Nicht weiter definierte Informationen aus dem Prozess werden als Datenobjekte dargestellt. Ein Briefumschlag symbolisiert Nachrichten, z.B. in Form von E-Mails, zwischen FHP und FHP-Nutzer.

## Anhang 1.2 Notation von Sequenzdiagrammen

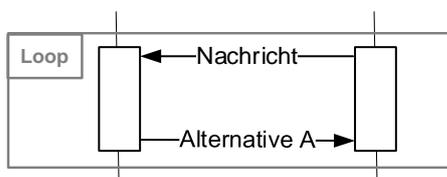
Sequenzdiagramme dienen dazu, die Kommunikation zwischen Objekten darzustellen (h\_da Fachbereich Informatik, 2016). Sie zeigen welche Informationen in einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge ausgetauscht werden (ebd.). Im Projekt Flex4Energy wurde eine Notation entwickelt, die in einigen Punkten von der üblichen Handhabung abweicht. Sie wird im Folgenden beschrieben.

Objekt

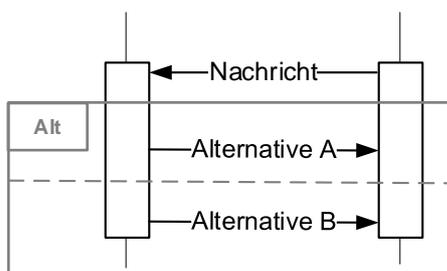
Objekte bezeichnen die an der Kommunikation beteiligte Einheit (z.B. Datenbank). Jedes Objekt verfügt über eine Lebenslinie, die durch einen senkrechten Strich ausgedrückt wird (h\_da Fachbereich Informatik, 2016).



Ein Rechteck symbolisiert die zeitliche Aktivierung eines Objektes (ebd.). Der Nachrichtenaustausch zwischen Objekten wird durch Pfeile dargestellt. Auf jede Nachricht erfolgt eine Antwort, bevor der Prozess fortgesetzt wird (synchrone Nachricht). Gibt es mehrere Antwortmöglichkeiten, wird eine positive Nachricht durch einen grünen und eine negative Nachricht durch einen roten Pfeil dargestellt.



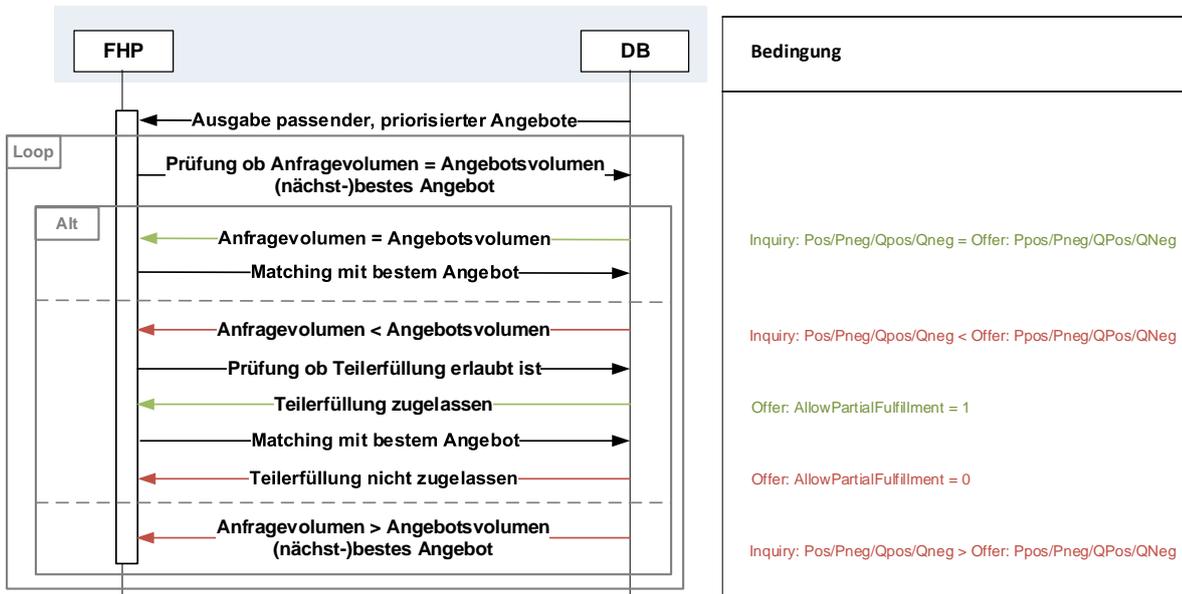
Sollen bestimmte Schritte, in Form von einer Schleife, wiederholt werden, so werden diese als kombiniertes Fragment mit der Beschriftung *Loop* gekennzeichnet (ebd.).



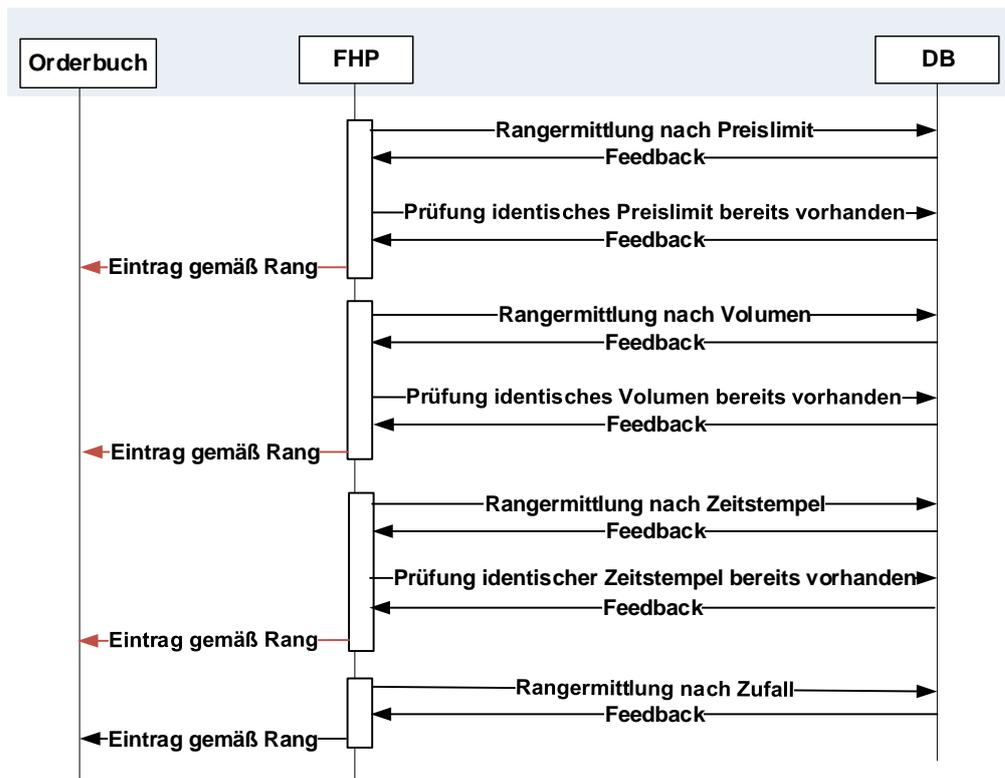
Bestehen alternative Ablaufmöglichkeiten (Verzweigung) für die Fortsetzung eines Prozesses, so werden diese als kombiniertes Fragment und der Beschriftung *Alt* gekennzeichnet.

## Anhang 2 Ergänzende Sequenzdiagramme

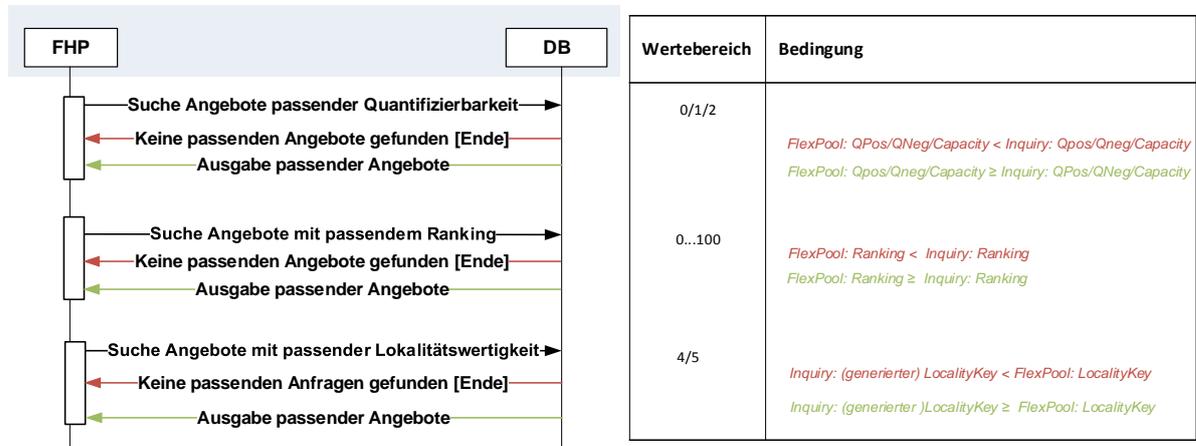
### Anhang 2.1 Ablaufsequenz zur Prüfung der Zulassung der Teilerfüllung



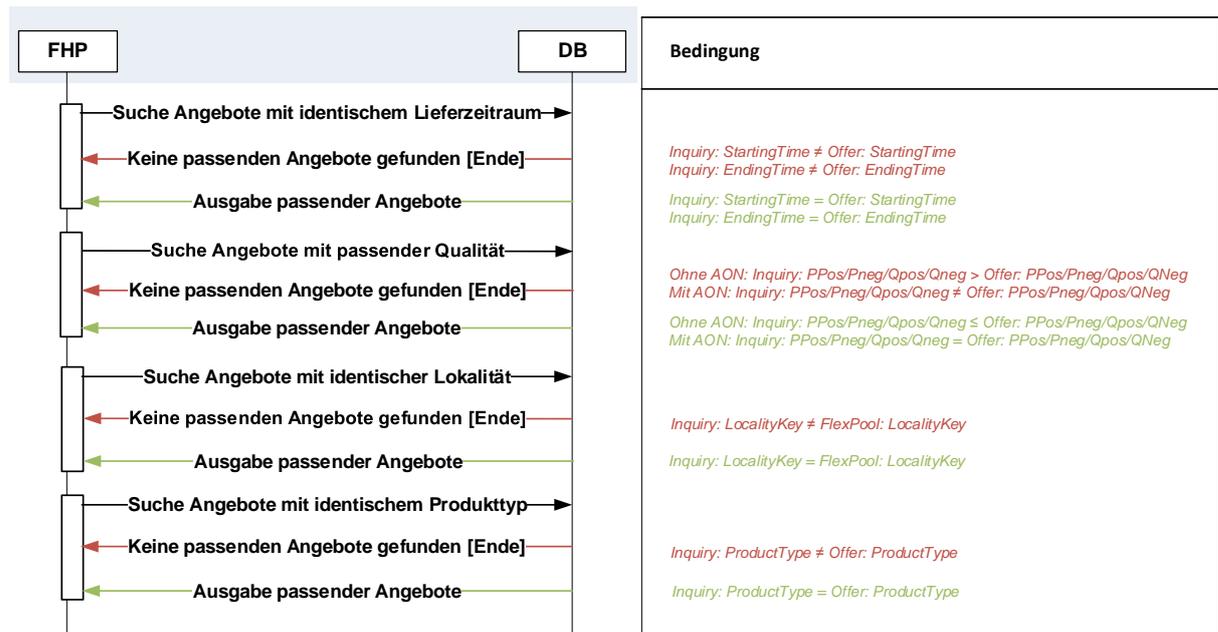
### Anhang 2.2 Ablaufsequenz zur Priorisierung von Geboten



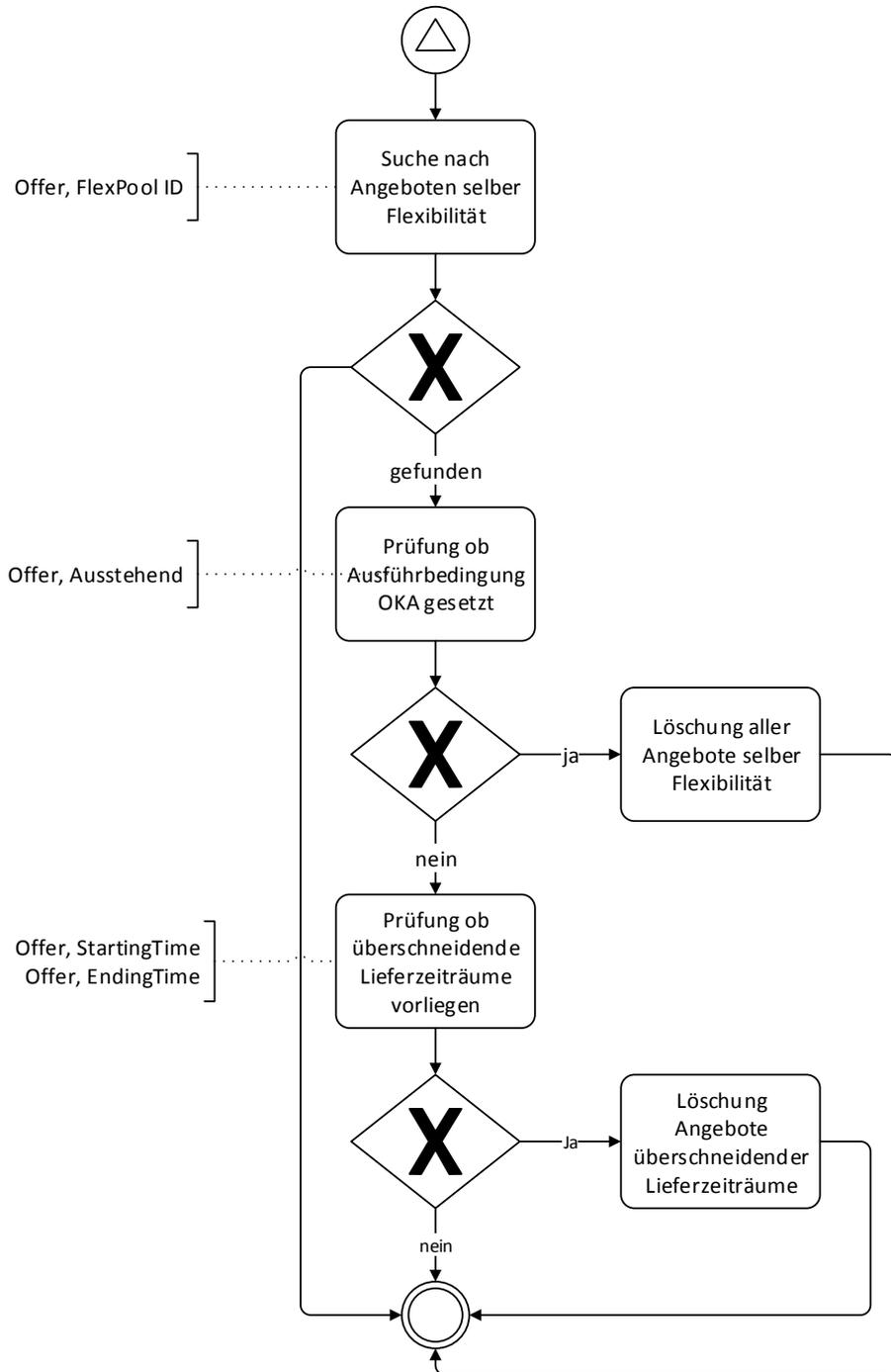
## Anhang 2.3 Ablaufsequenz zur Filterung der Angebote nach Angebotsforderungen



## Anhang 2.4 Ablaufsequenz zur Filterung der Angebote nach Kategorien



## Anhang 2.5 Deaktivierungsprozess korrelierender Angebote





## Literaturverzeichnis

- Ahlers, E. (2014). Smart Grids und Smart Markets – Roadmap der Energiewirtschaft. In C. Aichele, & O. Doleski, *Smart Market. Vom Smart Grid zum intelligenten Energiemarkt* (S. 97-125). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Barth, C., & Weibert, N. (2003). *CRM und SRM: Customer und Supplier Relationship*. Abgerufen am 14. Februar 2016 von [http://resources.mpi-inf.mpg.de/d5/teaching/ws02\\_03/crmsrm/ausarbeitung/BarthWeibert.pdf](http://resources.mpi-inf.mpg.de/d5/teaching/ws02_03/crmsrm/ausarbeitung/BarthWeibert.pdf)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU). (2015). *Kyoto-Protokoll*. Abgerufen am 2015. Dezember 2015 von <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/kyoto-protokoll/>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2015a). *Ein Strommarkt für die Energiewende. Ergebnispapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Weißbuch)*. Abgerufen am 15.. Dezember 2015 von <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/weissbuch,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2015b). *Europäische Energiepolitik*. Abgerufen am 08. Dezember 2015 von <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Europaeische-und-internationale-Energiepolitik/europaeische-energiepolitik.html>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2015c). *Das Erneuerbare Energien Gesetz*. Abgerufen am 10. Dezember 2015 von Informationsportal Erneuerbare Energien: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html?cms\\_docId=71110](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html?cms_docId=71110)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2015d). *Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz)*. Abgerufen am 10. Dezember 2015 von <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-weiterentwicklung-des-strommarktes,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Bundesnetzagentur. (2011a). *BK6-10-097*. Abgerufen am 05. Februar 2016 von Bundesnetzagentur Regelenergie: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Instituten/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Instituten/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html)
- Bundesnetzagentur. (2011b). *BK6-10-098*. Abgerufen am 05. Februar 2016 von Bundesnetzagentur Regelenergie: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Instituten/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Instituten/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html)
- Bundesnetzagentur. (2011c). *BK6-10-099*. Abgerufen am 05. Februar 2016 von Bundesnetzagentur Regelenergie: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Instituten/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Instituten/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html)

- Bundesnetzagentur. (2013). *Regelenergie*. Abgerufen am 15. Februar 2016 von Bundesnetzagentur: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html)
- Bundesnetzagentur. (2014a). *Leitfaden EEG-Einspeisemanagement*. Abgerufen am 14. Dezember 2015 von [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Einspeisemanagement/einspeisemanagement-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Einspeisemanagement/einspeisemanagement-node.html)
- Bundesnetzagentur. (2014b). *Leitfaden zum EEG- Einspeisemanagement. Version 2.1*. Abgerufen am 14. Dezember 2015 von [http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Einspeisemanagement/Leitfaden\\_2\\_1/LeitfadenEEG\\_Version2\\_1.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Einspeisemanagement/Leitfaden_2_1/LeitfadenEEG_Version2_1.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- Bundesnetzagentur. (2015). *Festlegungsverfahren zur Weiterentwicklung der Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für Sekundärregelung und Minutenreserve*. Abgerufen am 05. Februar 2016 von Bundesnetzagentur Regelenergie: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html)
- Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (bne). (2015). *Positionspapier: Flexibilitätsvermarktung im deutschen Strommarkt. Die Rolle von Aggregatoren und integrierten Flexibilitätsvermarktern*. Abgerufen am 03. November 2015 von bne. Energie für die Märkte von morgen: <http://www.bne-online.de/de/content/bne-positionspapier-flexibilit%C3%A4tsvermarktung>
- Consentec GmbH. (2014). *Beschreibung von Regelleistungskonzepten und Regelleistungsmarkt. Studie im Auftrag der deutschen Übertragungsnetzbetreiber*. Abgerufen am 28. Januar 2016 von consentec: <http://www.consentec.de/publikationen/studien>
- Deutsche Börse AG. (2015a). *Trader Manual M7-Com Trader. Version 1.5*. Abgerufen am 05. Februar 2016 von EPEX Spot: <http://comtrader-prod.epexspot.com/new/>
- Deutsche Börse AG. (2015b). *Xetra Released 16.0 - Marktmodell Aktien*. Abgerufen am 01. Februar 2016 von XETRA: <http://www.xetra.com/xetra-de/handel/handelsmodelle>
- EEX. (2015). *Bedingungen für den Handel an der EEX*. Abgerufen am 14. Januar 2016 von Verordnungen und Regelwerke: <https://www.eex.com/de/handel/verordnungen-und-regelwerke>
- EEX. (2016a). *EEX AG*. Abgerufen am 23. Februar 2016 von EEX: <https://www.eex.com/de/about/eex/eex-ag>
- EEX. (2016b). *Handelssystemumstellung auf Xetra garantiert mehr Sicherheit und Stabilität*. Abgerufen am 23. Februar 2016 von EEX: <https://www.eex.com/de/about/newsroom/news-detail/eex--handelssystemumstellung-auf-xetra-garantiert-mehr-sicherheit-und-stabilitaet/63086>
- EEX. (2016c). *Terminmarkt*. Abgerufen am 26. Februar 2016 von EEX: <https://www.eex.com/de/produkte/strom/terminmarkt>
- EPEX Spot. (2015). *EPEX Spot Handelsbedingungen*. Abgerufen am 18. Januar 2016 von EPEX Spot: <https://www.epexspot.com/de/extras/download-center>



- EPEX Spot. (2016a). *Day-ahead-Auktion mit Lieferung in den deutschen/österreichischen Regelzonen*. Abgerufen am 24. Februar 2016 von EPEX Spot:  
<https://www.epexspot.com/de/produkte/auktionshandel/deutschland-oesterreich>
- EPEX Spot. (2016b). *15 Minuten-Intraday-Auktion mit Lieferung in den deutschen Regelzonen*. Abgerufen am 24. Februar 2016 von EPEX Spot:  
<https://www.epexspot.com/de/produkte/intradayauction/deutschland>
- EPEX Spot. (2016c). *Intraday-Markt mit Lieferung in einer der deutschen Regelzonen*. Abgerufen am 24. Februar 2016 von EPEX Spot:  
<https://www.epexspot.com/de/produkte/intradaycontinuous/deutschland>
- Gerstbach, P. (2004). *Strombörsen. Aus: Wettbewerbliche Organisation von Elektrizitätsmärkten*. Abgerufen am 14. Februar 2016 von  
<https://www.gerstbach.at/2004/stromboersen/stromboersen.pdf>
- Glotzbach, L., & Ritschel, N. (kein Datum). NETZSTÜTZENDE SPEICHERBEWIRTSCHAFTUNG IM VERTEILNETZ MITTELS DER SPEICHERHANDELSPLATTFORM SOLVER.
- h\_da Fachbereich Informatik. (2016). *Sequenzdiagramm*. Abgerufen am 12. Mai 2016 von  
<https://www.fbi.h-da.de/labore/case/uml/sequenzdiagramm.html>
- Härle, P. (2010). Rechtliche Bewältigung des Handels an der EEX, 2. Auflage. In H. P. Schwintowski, *Handbuch Energiehandel* (S. 399 - 453). Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG.
- Heldt, C. (2016). *Broker*. Abgerufen am 18. Februar 2016 von Gabler Wirtschaftslexikon:  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/2493/broker-v7.html>
- Heun, M. (2007). *Finanzmarktsimulation mit Multiagentensystemen. Entwicklung eines methodischen Frameworks*. Frankfurt: Deutscher Universitätsverlag.
- Hoffknecht, A., Wengeler, F., & Wunderer, A. (2012). Herausforderungen und Chancen für einen regionalen Energieversorger. In H. G. Servartius, U. Schneidewind, & D. Rohlfink (Hrsg.), *Smart Energy. Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem* (S. 113 - 130). Heidelberg: Springer Vieweg.
- Klement, J. (2007). *Kreditrisikohandel, Basel II und interne Märkte in Banken*. Augsburg: Deutscher Universitätsverlag.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft. (1997). *Mitteilung der Kommission. Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan*. Abgerufen am 09. Dezember 2015 von  
[http://europa.eu/documents/comm/white\\_papers/pdf/com97\\_599\\_de.pdf](http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_de.pdf)
- Konstantin, P. (2013). *Praxisbuch Energiewirtschaft. Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt. 3. Auflage*. Heidelberg: Springer Vieweg.
- Mildenberger, C. (2015). Protokoll zum Arbeitstreffen AP A1/B1 am 10. Juli in Darmstadt. Darmstadt.
- Nötzold, A. (2011). *Die Energiepolitik der EU und der VR China. Handlungsempfehlungen zu europäischen Versorgungssicherheit*. Chemnitz: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Ockenfels, A., Grimm, V., & Zoetl, G. (2008). *Strommarktdesign. Preisbildungsmechanismus im Auktionsverfahren für Stromstundenkontrakte an der EEX*. Abgerufen am 14. Dezember 2015 von [https://cdn.eex.com/document/38614/gutachten\\_eex\\_ockenfels.pdf](https://cdn.eex.com/document/38614/gutachten_eex_ockenfels.pdf)

- Pilgram, T. (2010). Der Handel an der EEX. In H.-P. Schwintowski (Hrsg.), *Handbuch Energiehandel* (S. 339-397). Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG.
- Poppe, T. (2012). Der lange Weg zu intelligenten Netzen. In H. G. Servartius, & U. Schneidewind, *Smart Energy. Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem* (S. 303-335). Heidelberg: Springer Vieweg.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2015a). *Das Energiekonzept: Deutschlands Weg zu einer bezahlbaren, zuverlässigen und umweltschonenden Energieversorgung*. Abgerufen am 09. Dezember 2015 von <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/auftakt.html>
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2015b). *Maßnahmen im Überblick*. Abgerufen am 10. November 2015 von Die Bundesregierung: <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html>
- r2b Energy Consulting GmbH. (2014). *Endbericht Leitstudie Strommarkt. Arbeitspaket Funktionsfähigkeit EOM & Impact-Analyse Kapazitätsmechanismen*. Abgerufen am 10. November 2015 von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=647998.html>
- Roß, A. (2012). Smart Grids - Welche Intelligenz braucht das Netz der Zukunft? In H. G. Servartius, & U. Schneidewind, *Smart Energy. Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem* (S. 287- 302). Heidelberg: Springer Vieweg.
- Roth, S. (2006). *Preismanagement für Leistungsbündel. Preisbildung, Bündelung und Delegation*. Bayreuth: Deutscher Universitäts- Verlag.
- Ruppert, H. (2015). Besprechungsprotokoll: Flex4Energy-Schnittstelle FHP-FMS (Treffen #1). Darmstadt.
- Ruppert, H. (2016b). Rahmenvertrag über den Kauf von Flexibilitätsprodukten. Darmstadt.
- Ruppert, H. (2016a). Rahmenvertrag über den Verkauf von Flexibilitätsprodukten. Darmstadt.
- Ruppert, H., & Ochs, C. (2016). Handel dezentraler Flexibilitäten an der Flexibilitätshandelsplattform. Kurzbeschreibung Pilotsystem. Version 1.4. Darmstadt.
- Schall, S., & Glotzbach, L. (2016). 14. Symposium Energieinnovation. *NETZZUSTÄNDE ALS STEUERUNGSSINDIKATOR DES MARKTMECHANISMUS EINER HANDELSPLATTFORM FÜR ENERGIEFLEXIBILITÄT*. Graz.
- StoREgio Energiespeichersysteme e.V. (2015). *Flex4Energy: Flexibilität intelligent managen*. Abgerufen am 11. November 2015 von Fraunhofer ISE: [https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/0715\\_d\\_aktuelles\\_flex4energy\\_final.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/0715_d_aktuelles_flex4energy_final.pdf)
- Ströbele, W., Pfaffenberger, W., & Heuterkes, M. (2013). *Energiewirtschaft. Einführung in Theorie und Politik. 3.Auflage*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Umwelt Bundesamt (UBA). (2013). *Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Abgerufen am 10. Dezember 2015 von <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-gesetz>
- Universität Stuttgart. (2011). *Einführung in die Prozessdarstellung mit BPMN*. Abgerufen am 12. Mai 2016 von [http://www.qe.uni-stuttgart.de/downloads/Basic-Leitfaden\\_BPMN-v2.1.pdf](http://www.qe.uni-stuttgart.de/downloads/Basic-Leitfaden_BPMN-v2.1.pdf)



Verband Der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE). (2014). *Regionale Flexibilitätsmärkte. Marktbasierte Nutzung von regionalen Flexibilitätsoptionen als Baustein zur erfolgreichen Integration von erneuerbaren Energien in die Verteilnetze.* Frankfurt am Main.

Zenke, I., & Wollschläger, S. (2015). *Preise und Preisgestaltung in der Energiewirtschaft. Von der Kalkulation bis zur Umsetzung von Preisen für Strom, Gas, Fernwärme, Wasser und CO<sub>2</sub>.* (J. Eder, Hrsg.) Berlin: Walter de Gruyter GmbH.





## Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig erstellt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Soweit ich auf fremde Materialien, Texte oder Gedankengänge zurückgegriffen habe, enthalten meine Ausführungen vollständige und eindeutige Verweise auf die Urheber und Quellen. Alle weiteren Inhalte der vorgelegten Arbeit stammen von mir im urheberrechtlichen Sinn, soweit keine Verweise und Zitate erfolgen. Mir ist bekannt, dass ein Täuschungsversuch vorliegt, wenn die vorstehende Erklärung sich als unrichtig erweist.

Carola Ochs

Darmstadt, den 07.06.2016