

Geschäftsmodelle und Aggregationskonzepte zur Einbindung von Haushalten in Regionale Virtuelle Kraftwerke

Johannes Flee^{1,3}, Sascha Birk^{2,3}, Thorsten Schneiders^{2,3},
Wilhelm Kuckshinrichs^{1,3}

¹Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE), D-52425 Jülich, +49 2461 613587, j.flee@fz-juelich.de, www.fz-juelich.de/iek/iek-ste

²Technische Hochschule Köln, Cologne Institute for Renewable Energy (CIRE), D-50679 Köln, +49 221 82752193, sascha.birk@th-koeln.de, www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/cologne-institute-for-renewable-energy_13385.php

³Virtuelles Institut Smart Energy (VISE), www.smart-energy.nrw

Kurzfassung: Regionale Virtuelle Kraftwerke (RVKW) bieten einen Lösungsansatz für die Einbindung dezentraler Erzeugungsanlagen, steuerbarer Lasten und Speichersysteme im Verteilnetz. Durch die Ausstattung mit entsprechender Informations- und Kommunikationstechnologie können auch Anlagen auf Haushaltsebene als Komponenten in das RVKW eingebunden werden.

Um Fragen nach dem Zusammenspiel der beteiligten Akteure, dem Nutzen des RVKW und der Aggregation der Einzelanlagen zum Virtuellen Kraftwerk zu beantworten, wird das Konzept des Geschäftsmodells als Analyserahmen genutzt.

Während unter den aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen der Nutzen von Haushalten mit Stromerzeugungsanlagen hauptsächlich in der größtmöglichen Deckung des eigenen Bedarfs liegt, lässt sich durch neue Aggregationskonzepte zusätzlicher Nutzen bei mehreren beteiligten Akteuren generieren. Diese Aggregationskonzepte zeigen auf, wie Komponenten auf Haushaltsebene mit oder ohne externen Aggregator in ein virtuelles Kraftwerk eingebunden werden können. Dies ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer quantitativen Analyse von Komponentennutzung, Leistungsflüssen und Zahlungsströmen im RVKW.

Keywords: Geschäftsmodelle, Virtuelle Kraftwerke, Verteilnetze, Smart Energy,

1 Einleitung

Im Zuge der Dekarbonisierung ist geplant, das durch zentrale, fossile und nukleare Stromerzeugung geprägte deutsche Energiesystem in ein dezentrales, auf erneuerbaren Energiequellen basierendes System umzubauen. Dies hat zur Folge, dass deutlich mehr wetterabhängig einspeisende Erzeugungsanlagen in den Verteilnetzen installiert werden. Zusätzlich wird durch die geplante Elektrifizierung des Verkehrs- und des Wärmesektors der Strombedarf in den Verteilnetzen deutlich zunehmen [1].

Eine Möglichkeit, diese vermehrt aufkommenden Energieanlagen auf Erzeuger- und Verbraucherseite in das bestehende Energiesystem integrieren zu können, stellen Virtuelle Kraftwerke (VKW) dar. Unter einem VKW wird der Zusammenschluss mehrerer dezentraler

Anlagen im Stromnetz verstanden, die über ein zentrales Leitsystem gesteuert werden. Diese dezentralen Anlagen werden als die Komponenten des VKW bezeichnet. Das Leitsystem koordiniert mithilfe der entsprechenden Infrastruktur von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) den Einsatz der einzelnen Anlagen, die Bestandteil des VKW sind, und kann auf Netzzustände sowie Regelleistungsabrufbefehle reagieren. Es ermöglicht die gesicherte Bereitstellung von Leistung über einen bestimmten Zeitraum und damit die Vermarktung von Strom und Systemdienstleistungen. Ein wichtiger Aspekt ist die Einbindung nicht regelbarer erneuerbarer Erzeugungsanlagen mit dem Ziel, diese regelbar zu machen.

Regionale Virtuelle Kraftwerke (RVKW) bieten einen Lösungsansatz zur Synchronisierung von Stromerzeugung und -verbrauch unter Berücksichtigung der Restriktionen des Verteilnetzes. In diesem Konzept werden (insbesondere erneuerbare) Erzeugungsanlagen, steuerbare Lasten und Speichersysteme in einem Bereich des Verteilnetzes aggregiert und zentral gesteuert. Die Digitalisierung ermöglicht die Einbindung von Anlagen mit deutlich kleinerer Nennleistung als bisher üblich. Viele dieser Anlagen sind Bestandteile von Privathaushalten, aber auch Komponenten, die direkt an das Verteilnetz angeschlossen sind, wie beispielsweise Freiflächenphotovoltaikanlagen, Windparks oder Quartierspeicher, können Teil des RVKW sein. Abbildung 1 skizziert die exemplarische Ausgestaltung eines RVKW.

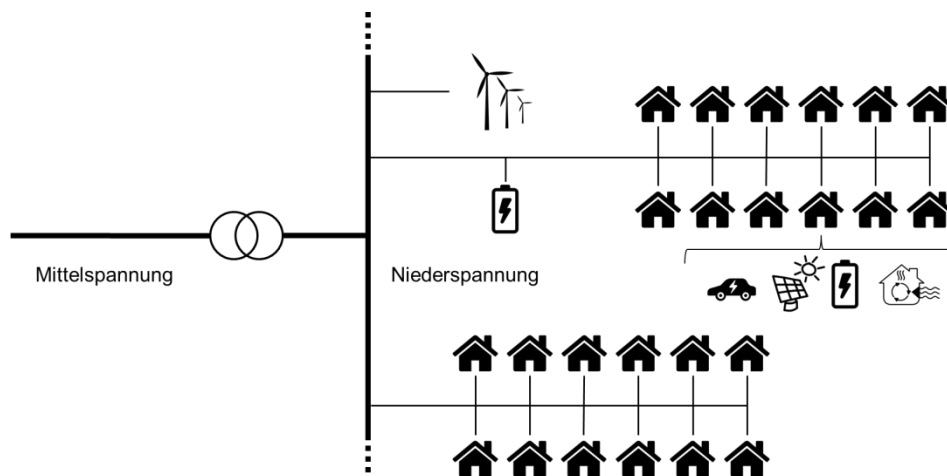


Abbildung 1: Skizze eines exemplarischen RVKW

1.1 Literatur

Die Möglichkeiten der Einbindung dezentraler regenerativer Energieerzeugungsanlagen sind spätestens in den 2000er-Jahren in den Fokus der Forschung gerückt. Dabei hat sich der oben angeführte Begriff des Virtuellen Kraftwerks etabliert. Die Arbeiten aus dieser Zeit befassen sich vor allem mit dem Aufbau sowie der technischen und wirtschaftlichen Funktionsweise virtueller Kraftwerke [2-4]. Erge et al. zeigen anhand eines Prototyps, dass eine optimierte Betriebsführung der dezentralen Einheiten des VKWs sowohl unter wirtschaftlichen Aspekten aus Sicht der Besitzer bzw. Betreiber der dezentralen Aggregate als auch aus Sicht der Anforderungen des Netzbetriebes möglich ist [5]. Asmus analysiert Microgrids und VKWs und entwirft Szenarien für ihre Entwicklung. Er schließt aus seiner Analyse, dass im Rahmen dieser Entwicklungen der Entwurf neuer Geschäftsmodelle, insbesondere für Energieversorgungsunternehmen, unvermeidlich sein wird [6]. Lukovic et al. entwickeln einen Modellansatz zur Identifizierung der Akteure und ihrer Rollen und Interaktionen im Rahmen

des VKW-Konzepts [7]. Albersmann et al. untersuchen basierend auf einer Analyse der Marktgegebenheiten und gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland das Potential und die Marktchancen virtueller Kraftwerke [8].

Eine Reihe von Veröffentlichungen widmet sich der Einsatzplanung von VKWs durch Modellbildung [9-11]. In [12] werden auf der Basis von Lastprofilen und Marktpreisen optimale VKW-Konfigurationen ermittelt.

Mehrere Autoren beschäftigen sich mit Fragen nach den möglichen Geschäftsmodellen für dezentrale Energieerzeuger, ihre Herangehensweisen unterscheiden sich dabei jedoch zum Teil. Einerseits werden konkrete Projekte untersucht [13-16], andererseits erfolgen modellgestützte Analysen [17-20]. Eine zentrale Erkenntnis hieraus ist, dass die Ausgestaltung von Geschäftsmodellen stark durch die regulatorischen Rahmenbedingungen geprägt wird. Varadzina et al. untersuchen bestehende Geschäftsmodelle und schlagen einen Entscheidungsrahmen für die Auswahl von Geschäftsmodellen für sog. Community Microgrids vor [21]. Brown et al. identifizieren und bewerten mögliche Geschäftsmodelle für Prosumer ohne direkte staatliche Fördermechanismen mit Fokus auf das Vereinigte Königreich [22].

Löbbe und Hackbarth identifizieren drei grundlegende Geschäftsmodelle für Virtuelle Kraftwerke: Aggregatoren, VKW-Betreiber und Anbieter von Angebots- und Nachfragerreaktionen [23]. Diese Geschäftsmodelle werden anhand des Business Model Canvas-Ansatzes [24, 25] analysiert. In [26] werden Anforderungen an Geschäftsmodelle für virtuelle Kraftwerke sowie konkrete Ausgestaltungsmöglichkeiten eines Marktes, der auf virtuelle Kraftwerke ausgerichtet ist, aufgezeigt.

1.2 Forschungsfrage

Der Fokus dieser Untersuchung liegt auf der Einbindung von dezentralen Erzeugungsanlagen, steuerbaren Lasten und Speichersystemen, die größtenteils Bestandteil von Haushalten sind, in einem Bereich des Verteilnetzes. Das Ziel dieser Untersuchung ist, über das Konzept des Geschäftsmodells die wirtschaftlichen Zusammenhänge in einem RVKW besser zu verstehen. Dabei sollen die Fragen beantwortet werden, welche Akteure im RVKW von Bedeutung sind und welche Beziehungen sich zwischen diesen Akteuren ergeben, welchen Nutzen ein RVKW generieren kann und wie die Einzelkomponenten zu einem Gesamtkraftwerk aggregiert werden können.

2 Das Geschäftsmodell als Analyserahmen

Das Konzept des Geschäftsmodells eignet sich als Analyserahmen für RVKWs, da es eine Einteilung in unterschiedliche Kategorien erlaubt und so ein besseres Verständnis der Einzelaspekte und des Gesamtkonzepts ermöglicht.

Für den Begriff des Geschäftsmodells (engl. business model) findet sich weder in der deutsch- noch in der englischsprachigen Literatur eine einheitliche Definition. Zott et al. [27] führen eine umfassende Literaturrecherche durch und sichten 1.253 englischsprachige Artikel mit Bezug zu Geschäftsmodellen. Sie unterziehen 153 dieser Artikel einer tiefer gehenden Analyse und identifizieren dabei vier „bedeutende Themen“, die mit dem Begriff Geschäftsmodell verknüpft sind. Dazu gehören (1) die Auffassung, dass das Geschäftsmodell eine neue Analyseeinheit bildet, (2) eine systemische Perspektive darauf, wie Geschäfte

getätigt werden, (3) die Berücksichtigung von Aktivitäten, die Unternehmensgrenzen überspannen, sowie (4) der Fokus auf Wertschöpfung.

Stähler [28] entwirft eine deutschsprachige Definition für eine Analyse in der digitalen Ökonomie. Er definiert ein Geschäftsmodell als „ein Geschäftskonzept, das in der Praxis schon angewandt wird“. Dieses Geschäftskonzept umfasst gemäß der Definition drei Aspekte. Es enthält (1) eine Beschreibung, welchen Nutzen Kunden oder andere Partner des Unternehmens aus der Verbindung mit diesem Unternehmen ziehen können, im Englischen als *value proposition* bezeichnet, (2) eine Beschreibung der verschiedenen Stufen der Wertschöpfung und der verschiedenen wirtschaftlichen Agenten und ihrer Rollen in der Wertschöpfung, die sog. Architektur der Wertschöpfung, sowie (3) das Ertragsmodell, welches beschreibt, aus welchen Quellen das Unternehmen Einnahmen generiert.

Schallmo [29] diskutiert eine Reihe von Definitionen aus der Literatur und legt eine eigene Definition fest, die unterschiedliche Geschäftsmodelldimensionen und -elemente integriert. Die Definition lautet: „Ein Geschäftsmodell ist die Grundlogik eines Unternehmens, die beschreibt, welcher Nutzen auf welche Weise für Kunden und Partner gestiftet wird. Ein Geschäftsmodell beantwortet die Frage, wie der gestiftete Nutzen in Form von Umsätzen an das Unternehmen zurückfließt. Der gestiftete Nutzen ermöglicht eine Differenzierung gegenüber Wettbewerbern, die Festigung von Kundenbeziehungen und die Erzielung eines Wettbewerbsvorteils.“ ([29], S. 16).

Tabelle 1: Geschäftsmodelldimensionen und -elemente [29]

Dimension	Elemente
Kundendimension	Kundensegmente Kundenkanäle Kundenbeziehungen
Nutzendimension	Leistungen Nutzen
Wertschöpfungsdimension	Prozesse Fähigkeiten Ressourcen
Partnerdimension	Partner Partnerkanäle Partnerbeziehungen
Finanzdimension	Umsätze Kosten

Tabelle 1 listet die in [29] aufgeführten Geschäftsmodelldimensionen und -elemente auf.

Wir verzichten an dieser Stelle darauf, der bereits großen Anzahl an Definitionen eine weitere hinzuzufügen. Stattdessen sollen die Definitionen von Stähler und Schallmo die Grundlage der Analysen von Geschäftsmodellen bilden. Die Gliederung in Aspekte bzw. Dimensionen und Elemente scheint für die Analyse der VKW-Geschäftsmodelle ebenfalls zweckmäßig zu sein. Diese Kategorisierung ermöglicht es, einzelne Aspekte bzw. Elemente der VKW-Geschäftsmodelle im Detail zu betrachten, aber auch ihre Wechselwirkungen miteinander zu untersuchen.

Im Rahmen dieses Beitrags werden zuerst Akteure und ihre Rollen im Rahmen des RVKW identifiziert. Die Kategorie der Akteure umfasst dabei die Kunden- und die Partnerdimension

aus [29] bzw. die wirtschaftlichen Agenten aus [28]. Anschließend werden Leistungen und Nutzen, die das RVKW erbringen kann, analysiert. Die Kategorie Wertschöpfung greift die Wertschöpfungsdimension aus [29] auf, die in [28] als „Architektur der Wertschöpfung“ bezeichnet wird. Sie ist der Kern eines Geschäftsmodells und beschreibt, wie aus vorhandenen Ressourcen und Fähigkeiten ein Nutzen mit höherem Geldwert generiert wird. Schließlich werden als Teil der Wertschöpfung unterschiedliche Konzepte aufgezeigt, die eine mögliche Aggregation der Komponenten und die Beziehungen der unterschiedlichen Akteure zueinander beschreiben.

3 Geschäftsmodelle und Aggregationskonzepte

Die Anwendung der Geschäftsmodellsystematik auf das Konzept des Regionalen Virtuellen Kraftwerks ermöglicht ein detaillierteres Verständnis der Beziehungen der einzelnen Akteure zueinander und die Entwicklung von Konzepten zur Einbindung der Komponenten.

3.1 Akteure und Rollen innerhalb des RVKW

Je nach Ausgestaltung des Geschäftsmodells spielen unterschiedliche Akteure eine Rolle im Konzept des Regionalen Virtuellen Kraftwerks. Diese Akteure haben unterschiedliche Interessen, Bedürfnisse und Ziele. Sie können beispielsweise als Aggregatoren ein zentraler Teil des RVKW sein, sie können aber auch als Kunden oder Partner in Erscheinung treten. Der Hauptfokus liegt in dieser Arbeit auf der Einbindung von Haushalten, die über technische Einheiten verfügen, die als Komponenten eines RVKW nutzbar sind. Zu diesen Einheiten gehören Erzeugungsanlagen, Speichersysteme und regelbare Lasten. Erzeugungsanlagen auf Haushaltsebene sind in erster Linie Photovoltaikanlagen, aber auch Mikro-BHKW können eine Rolle spielen. Einige Haushalte verfügen über Batteriespeicher, die momentan hauptsächlich eingesetzt werden, um den Eigenverbrauch von in Photovoltaikanlagen erzeugtem Strom zu erhöhen. Zu den flexiblen Lasten gehören Wärmepumpen in Verbindung mit thermischen Speichern und E-Fahrzeuge.

Die Grenzen zwischen den Akteuren bzw. den Rollen, die sie im Kontext der RVKW übernehmen, sind unscharf. Teilweise können Akteure mehrere Rollen gleichzeitig innehaben. So sind Haushalte zumeist gleichzeitig Letztverbraucher, EVUs oder externe Dienstleister können beispielsweise die Rolle des Aggregators übernehmen.

Haushalte

Haushalte haben generell das Ziel, ihren Bedarf an elektrischer Energie und Wärme zu decken. Die Deckung des Strombedarfs kann einerseits durch ein Energieversorgungsunternehmen erfolgen, das gegen Vergütung die Deckung des Strombedarfs des jeweiligen Haushaltes sicherstellt. Andererseits kann die Stromversorgung teilweise durch Strom, der in Eigenanlagen im Haushalt selbst erzeugt wird, geleistet werden. Die Deckung des Wärmebedarfs erfolgt üblicherweise entweder durch eine Gasheizung oder eine Wärmepumpe. Durch einen Batteriespeicher und einen thermischen Speicher können die Strom- und die Wärmeerzeugung zeitlich vom jeweiligen Bedarf entkoppelt werden. Haushalte, die in das RVKW eingebunden werden, verfügen über mindestens eine Anlage, die als Komponente nutzbar ist

Energieversorgungsunternehmen

Energieversorgungsunternehmen (EVU) sind „natürliche oder juristische Personen, die Energie an andere liefern, ein Energieversorgungsnetz betreiben oder an einem Energieversorgungsnetz als Eigentümer Verfügungsbefugnis besitzen“ (§ 3 EnWG [30]). Sie haben die Aufgabe, ihre Kunden mit elektrischer Energie oder Gas zu versorgen. Hierzu werden üblicherweise bilaterale Verträge, sog. Energieversorgungsverträge, zwischen EVU und Kunden abgeschlossen, in denen die Modalitäten der Versorgung und die Vergütung festgelegt werden. Die Energieversorgung von Haushalten wird üblicherweise entweder von regionalen EVUs, die vertikal integriert sind, d.h. eigene Anlagen zur Energieerzeugung und Verteilnetze betreiben, oder von Anbietern, die nicht gleichzeitig Netzbetreiber sind, übernommen. EVUs sind zumeist gleichzeitig Bilanzkreisverantwortliche, d.h. sie tragen die Verantwortung dafür, dass Erzeugung und Zukauf mit dem Verbrauch in ihrem Bilanzkreis übereinstimmen. Neben der reinen Energieversorgung können EVUs im Kontext eines RVKW weitere Aufgaben übernehmen, vom Abkaufen nichtnutzbaren Stroms, der in Eigenanlagen erzeugt wird, bis hin zur Regelung des Virtuellen Kraftwerks und der Vermarktung des darin erzeugten Stroms.

Stromnetzbetreiber

Bei den Stromnetzbetreibern wird zwischen Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) und Verteilnetzbetreibern (VNB) unterschieden. Ihre Aufgabe ist die Übertragung bzw. Verteilung von Elektrizität. Sie sind verantwortlich für den Betrieb, die Wartung sowie erforderlichenfalls den Ausbau des Netzes. Die Haushalte, die Bestandteil des RVKW sind, sind über einen VNB an das Stromnetz angeschlossen. Der Betrieb des RVKW wirkt sich also direkt auf den Betrieb des Anschlussverteilnetzes aus. Durch eine angepasste Regelung kann das RVKW ggf. zur Entlastung des Verteilnetzes beitragen. Sowohl VNB als auch ÜNB nehmen für den Betrieb ihres Netzes Systemdienstleistungen in Anspruch. Diese Systemdienstleistungen können auch durch RVKW erbracht werden.

Aggregatoren

Aggregatoren bündeln die einzelnen Komponenten, die Bestandteil des RVKW sind. Sie übernehmen die zentrale Steuerung und vermarkten die verfügbare Erzeugungsleistung, Speicherkapazität und verschiebbare Last.

Externe Dienstleister

Externe Dienstleister können unterschiedliche Aufgaben in Bezug auf das RVKW übernehmen. Dazu gehören beispielsweise die Vermarktung von bereitgestellter elektrischer Energie, die Bereitstellung von Soft- und Hardware zur Regelung der einzelnen Komponenten oder der Betrieb des RVKW inklusive der Regelung der Komponenten und der Vermarktung der im RVKW erzeugten Energie.

Letztverbraucher

Letztverbraucher sind Haushalte, Industriebetriebe oder Unternehmen aus dem Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, die über das öffentliche Netz mit Strom versorgt werden. Sie können ihren Strom auch von einem RVKW beziehen.

Anlagenbetreiber

Betreiber von Erzeugungsanlagen wie beispielsweise Photovoltaik-, Biogas- oder Windenergieanlagen sind nicht zwangsläufig EVUs. Auch Privatpersonen oder Genossenschaften, die Energieanlagen betreiben, können diese in den Betrieb des RVKW übergeben. Dies gestaltet sich insbesondere für Anlagen interessant, die ohne Förderung betrieben werden oder deren Förderung in naher Zukunft ausläuft.

3.2 Leistungen und Nutzen

Welchen Nutzen das RVKW erbringen kann, hängt vom Bedarf der Kunden ab. Der Hauptnutzen in der Elektrizitätswirtschaft ist die Versorgung der Kunden mit elektrischer Energie. Um diesen Nutzen bereitstellen zu können, ist ein funktionierendes Stromnetz erforderlich. Um wiederum einen stabilen Betrieb des Stromnetzes gewährleisten zu können, sind die Netzbetreiber auf Systemdienstleistungen angewiesen. Somit stellen sowohl die Stromversorgung selbst als auch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen einen Nutzen in der Elektrizitätswirtschaft dar.

Stromversorgung

Letztverbraucher, EVUs und Energiehändler haben einen Bedarf an elektrischer Leistung, die über einen vorher festgelegten Zeitraum sicher geliefert wird. Die Rahmenbedingungen einer solchen Lieferung können in bilateralen Verträgen festgelegt werden. Dies ist beispielsweise zwischen EVU und Letztverbraucher üblich, aber auch zwischen zwei EVUs, von denen eins das andere mit Strom versorgt. Zusätzlich existieren Märkte, auf denen elektrische Energie in standardisierten Produkten gehandelt wird. Hierzu gehören der Day-Ahead-Markt und der Intraday-Markt, die einen Handel am Tag vor der physikalischen Lieferung und im Fall des kontinuierlichen Intradayhandels bis fünf Minuten vor Lieferbeginn ermöglichen.

Systemdienstleistungen

Zu den Systemdienstleistungen gehören Frequenzhaltung, Betriebsführung, Spannungshaltung und Versorgungswiederaufbau. Die Bereitstellung der Systemdienstleistungen erfolgt üblicherweise nicht durch den Netzbetreiber selbst, sondern durch Drittanbieter, die entweder für die Erbringung vergütet werden oder durch gesetzliche Vorgaben oder Verträge dazu verpflichtet sind.

Die Frequenzhaltung fällt in den Zuständigkeitsbereich der ÜNB und wird durch die Bereitstellung von Regelleistung und abschaltbaren Lasten gewährleistet. Regelleistung wird in Form standardisierter Produkte (Primär-, Sekundärregelleistung und Minutenreserve) auf einem eigenen Markt gehandelt. Sofern es die jeweiligen Präqualifikationsbedingungen erfüllt, kann ein RVKW an den Auktionen der einzelnen Regelleistungsarten teilnehmen.

Für die anderen drei Systemdienstleistungen sind ÜNB und VNB gemeinsam zuständig. Bei der Betriebsführung geht es darum, einen sicheren Netzbetrieb zu organisieren und das Stromnetz kontinuierlich bezüglich Grenzwertverletzungen (beispielsweise Überlastungen von Leitungen) zu überwachen und zu steuern. Um Netzengpässe zu vermeiden, kann ein Redispatch von Erzeugungskapazität erforderlich werden. Spannungshaltung wird durch die Bereitstellung von Blindleistung und ggf. durch einen spannungsbedingten Redispatch von Erzeugungsleistung gewährleistet. Erlöse können durch die Teilnahme am Redispatch oder

die Bereitstellung von Blindleistung üblicherweise nicht erzielt werden. Gemäß § 13a EnWG [30] werden Maßnahmen zur Betriebsführung und Spannungshaltung in angemessener Weise vergütet, wobei „angemessene Vergütung“ in diesem Fall bedeutet, dass sie den Betreiber der Anlage wirtschaftlich weder besser noch schlechter stellt, als er ohne die Maßnahme stünde. Da die Anschlusspunkte der Komponenten des RVKW im Verteilnetz liegen, ist es in der Lage, Beiträge sowohl zur Betriebsführung als auch zu Spannungshaltung zu leisten.

3.3 Wertschöpfung

Die Kategorie Wertschöpfung lässt sich in die Elemente Ressourcen, Fähigkeiten und Prozesse untergliedern.

Zu den Ressourcen, über die das RVKW verfügt, gehören in erster Linie die technischen Komponenten, aus denen es sich zusammensetzt. Zu den Komponenten des RVKW gehören vor allem Anlagen mit relativ geringer Nennleistung, die als Teil von Privathaushalten mit dem Stromnetz verbunden sind und zu einem gewissen Grad flexibel einsetzbar sind. Als Komponenten kommen Photovoltaikanlagen, Heimspeichersysteme, Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen mit thermischem Speicher infrage. Auch Freiflächenphotovoltaik-, Windkraft- und Biogasanlagen können Teil des RVKW sein. Diese Anlagen sind üblicherweise jedoch nicht über Haushalte, sondern separat an das Stromnetz angeschlossen. Eine weitere wichtige Ressource ist das Verteilnetz, an das die Komponenten des RVKW angeschlossen sind. Das Verteilnetz befindet sich jedoch üblicherweise nicht in Besitz des RVKW-Betreibers, sondern wird von einem VNB betrieben.

Die Fähigkeiten, kurzfristig Einspeisung oder Entnahme von elektrischer Leistung zu verändern, elektrische Leistung gesichert über einen festgelegten Zeitraum einzuspeisen, und Erzeugung oder Last ortsveränderlich einzusetzen, werden als zentrale Fähigkeiten des RVKW identifiziert [31]. Diese Fähigkeiten ermöglichen die Generierung von Nutzen durch die Bereitstellung von Stromversorgung oder Systemdienstleistungen.

Der zentrale Prozess, durch den aus den vorhandenen Ressourcen und Fähigkeiten ein Nutzen mit höherem Geldwert generiert wird, ist die Aggregation der Komponenten.

3.4 Aggregationskonzepte

Um die oben genannten Fähigkeiten bereitzustellen, ist es erforderlich, die Komponenten in geeigneter Weise zu aggregieren. Die Aggregation stellt den zentralen Prozess im Geschäftsmodell des RVKW dar. Die hier vorgestellten Aggregationskonzepte zeigen Möglichkeiten auf, wie die Haushalte, in denen die Anlagen installiert sind, in das RVKW eingebunden werden können und welche Beziehungen zwischen den einzelnen Akteuren sich daraus ergeben. Anstelle der Haushalte können auch andere Anlagenbetreiber stehen. Dabei wird zunächst der Status quo beschrieben, anschließend werden drei unterschiedliche Aggregationskonzepte, die Weiterentwicklungen des Status quo darstellen, vorgestellt.

Status quo

Unter den derzeitigen regulatorischen Rahmenbedingungen wird die Einspeisung regenerativ erzeugten Stroms mit einem pauschalen Preis pro Kilowattstunde vergütet, der lediglich vom Inbetriebnahmezeitpunkt einer Anlage, nicht aber vom Zeitpunkt der Einspeisung oder

der Nachfrage bzw. Netzbelastung zum Zeitpunkt der Einspeisung abhängt. Der durchschnittliche Strompreis für Haushaltskunden ist mit ca. 30 ct/kWh [32] deutlich höher als die

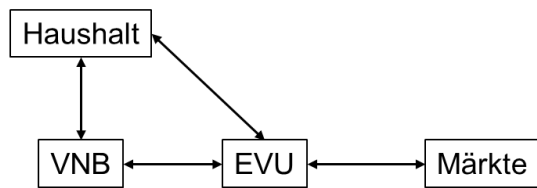


Abbildung 2: Beziehungen der Akteure zueinander im Status quo

Einspeisevergütung, die für Photovoltaikanlagen mit weniger als 10 kW_P auf Wohngebäuden derzeit bei knapp unter 10 ct/kWh liegt (Stand: Januar 2020) [33]. Dies hat zur Folge, dass Haushalte mit Photovoltaikanlage den darin erzeugten Strom nutzen, um ihren eigenen Bedarf zu decken. Strom, der nicht genutzt werden kann, muss durch das EVU abgenommen und

gemäß EEG vergütet werden. Das EVU hat gleichzeitig einen Versorgungsvertrag mit dem Haushalt und versorgt diesen mit elektrischer Leistung entsprechend seinem Bedarf. Das EVU verfügt entweder über eigene Erzeugungsanlagen oder kauft den benötigten Strom am Strommarkt. Auch eine Kombination aus eigener Erzeugung und Zukauf ist möglich. Der VNB stellt das Verteilnetz zur Versorgung der Haushalte mit Strom bereit und wird dafür mit den von den Letztverbrauchern zu zahlenden Netzentgelten vergütet. Im Falle eines Netzengpasses kann der VNB durch Einspeisemanagement die von regenerativen Erzeugungsanlagen eingespeiste Leistung drosseln. In Abbildung 2 sind die Beziehungen der Akteure unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen skizziert.

Zusätzlich zur Einspeisevergütung existieren in Deutschland zwei weitere Vergütungsmodelle für regenerativ erzeugten Strom [34]. Findet eine Direktvermarktung der erzeugten Leistung am Spot- oder Regelleistungsmarkt statt, erhält der Anlagenbetreiber dafür zusätzlich zum erzielten Erlös eine sog. Marktprämie. Das zweite Modell ist der sog. Mieterstrom. Vermieter, deren Objekt mit einer Photovoltaikanlage ausgestattet ist, können den darin produzierten Strom an ihre Mieter verkaufen und erhalten zusätzlich eine staatliche Förderung. In diesem Fall wird der Strom jedoch nicht durch das öffentliche Netz geleitet.

Konzept „Überschüsse nutzen“

Entfällt für das EVU die Pflicht, den im Haushalt nichtnutzbaren Strom abzunehmen und zu vergüten, kann ein Aggregator dem Haushalt diesen nichtnutzbaren Strom abkaufen, und ihn an den Spot- oder Regelleistungsmärkten weiterverkaufen. Die Haushalte beziehen den Strom zur Deckung ihrer Residuallast weiterhin über ein EVU. Der Anreiz für den Aggregator besteht darin, durch sog. Arbitragehandel Gewinne zu erzielen. Dies ist möglich, wenn er den Strom an den Märkten zu einem höheren Preis verkaufen kann als zu dem Preis, den er den Haushalten bietet. Für die Nutzung des öffentlichen Netzes muss der Aggregator Netznutzungsentgelte an die Netzbetreiber abführen. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht der beteiligten Akteure und ihre Beziehungen zueinander.

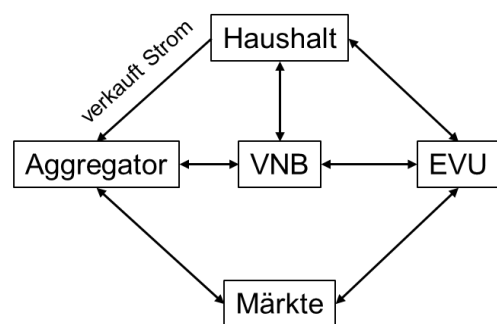


Abbildung 3: Beziehungen der Akteure zueinander im Aggregationskonzept „Überschüsse nutzen“

Konzept „Externer Aggregator“

Statt nur den im Haushalt nichtnutzbaren Strom zu kaufen, erhält der Aggregator vollständigen Zugriff auf die Komponenten im Haushalt. Dadurch erhöht sich die Flexibilität des RVKW und es ergeben sich mehr Optionen zum Handel an den unterschiedlichen Märkten. Hierbei

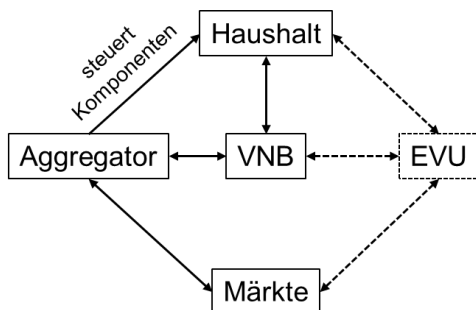


Abbildung 4: Beziehungen der Akteure zueinander im Aggregationskonzept „Externer Aggregator“

gilt jedoch die Randbedingung, dass der Strom- und der Wärmebedarf des Haushalts weiterhin gedeckt werden. Um den Haushalten einen Anreiz zur Teilnahme am RVKW zu bieten, ist ein Vergütungsmodell erforderlich. Hierbei sind unterschiedliche Möglichkeiten der Ausgestaltung denkbar. Dies könnte eine zeitabhängige Vergütung sein, bei der der Aggregator den Haushalt für die Zeitabschnitte vergütet, in denen die Komponenten genutzt werden, oder eine leistungsabhängige Vergütung, bei der die erzeugte Leistung bzw. Energie, die vom Aggregator genutzt wird, oder die Nutzung von Speichern oder verschieb-

baren Lasten vergütet wird. Gegebenenfalls kann der Aggregator als EVU agieren und die Deckung der Residuallast des Haushalts übernehmen. Damit wäre der Haushalt nicht mehr auf die Versorgung durch das EVU angewiesen. Der umgekehrte Fall ist jedoch auch denkbar: Das EVU kann die Rolle des Aggregators übernehmen und gegen eine Vergütung die Komponenten im Haushalt steuern. Statt den im RVKW erzeugten Strom an den Spot- oder Regelleistungsmärkten anzubieten, kann ein EVU diesen auch zur Versorgung anderer Letztverbraucher nutzen.

Der VNB stellt in diesem Konzept weiterhin die notwendige Infrastruktur bereit, um das RVKW ins Stromnetz einzubinden und wird dafür mit den Netzentgelten vergütet. Durch die Fähigkeit, Erzeugung oder Last ortsveränderlich einzusetzen, kann das RVKW einen Beitrag zur Betriebsführung und Spannungshaltung im Verteilnetz leisten.

Die Einbindung der Akteure in diesem Konzept ist in Abbildung 4 skizziert.

Eine Voraussetzung für die Umsetzung dieses Konzepts ist eine Installation der erforderlichen IKT in den Haushalten. Ein solches Aggregationskonzept scheint unter den gegebenen regulatorischen Rahmenbedingungen umsetzbar zu sein, die wirtschaftliche Attraktivität ist aber aufgrund der erforderlichen Investitionen in IKT und der derzeit geltenden Förder- und Entgeltsystematik fraglich.

Konzept „Nachbarschaftskraftwerk“

Im Nachbarschaftskraftwerk findet die Bündelung der Komponenten ohne einen externen Aggregator statt. Die Haushalte zielen darauf ab, ihren Strombedarf möglichst selbst zu decken. Die residuale Last kann entweder, falls das Kraftwerk die Mindestanforderungen zur Marktteilnahme erfüllt, über den Spotmarkt oder von einem EVU gedeckt werden. Erzeugter Strom, der nicht innerhalb des RVKW genutzt werden kann, kann gegebenenfalls weiterverkauft werden.

Für den Betrieb des Verteilnetzes sind zwei Varianten möglich: Entweder sind alle Haushalte eines Netzbereichs Bestandteil des RVKW und agieren gleichzeitig als Netzbetreiber in diesem Bereich oder das Verteilnetz wird weiterhin durch einen VNB betrieben.

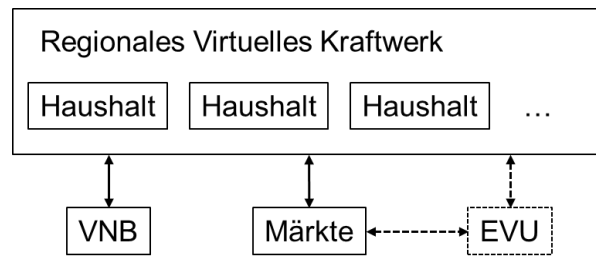


Abbildung 5: Beziehungen der Akteure zueinander im Konzept „Nachbarschaftskraftwerk“

Ob ein solches Konzept unter den gegenwärtigen regulatorischen Rahmenbedingungen

umsetzbar wäre, ist fraglich. Insbesondere die Frage nach dem Zugang zu und dem Betrieb von Verteilnetzen sowie der damit verbundenen Frage, wie eine Vergütung der Netznutzung jenseits der aktuell geltenden Vorschriften zu Netzentgelten aussehen kann, bedarf der Klärung.

Des Weiteren ergeben sich Fragen nach dem Eigentum der genutzten Komponenten und nach den Vergütungsmechanismen innerhalb des RVKW. Die Komponenten können entweder jeweils Eigentum eines der in das RVKW eingebundenen Haushalte sein oder sich in gemeinschaftlichem Besitz befinden. Als Vergütungsmechanismen sind unterschiedliche Modelle denkbar – von Pauschalpreisen über zeitabhängige Tarife bis hin zu einem Peer-to-peer-Handel.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Konzept des Geschäftsmodells umfasst unterschiedliche Dimensionen und Elemente. In diesem Beitrag werden sie dazu genutzt, Akteure, Nutzen und Wertschöpfung eines Regionalen Virtuellen Kraftwerks, das dezentrale Erzeugungsanlagen, steuerbare Lasten und Speichersysteme in einem Bereich des Verteilnetzes aggregiert, zu untersuchen.

Die Möglichkeiten, dezentrale Anlagen, die Bestandteile von Haushalten sind, zu VKW zu aggregieren, sind stark durch die regulatorischen und ökonomischen Rahmenbedingungen geprägt. Als Teil der Wertschöpfung wurden drei unterschiedliche Aggregationskonzepte vorgestellt, die vor allem die Beziehungen der Akteure untereinander beschreiben. Im ersten Aggregationskonzept wird der im Haushalt nichtnutzbare Strom durch einen Aggregator vermarktet. Das zweite Aggregationskonzept sieht eine direkte Steuerung der Komponenten im Haushalt durch einen externen Aggregator vor. Im dritten Konzept findet die Aggregation ohne externen Aggregator statt und zielt darauf ab, den Bedarf der beteiligten Haushalte möglichst zu decken.

Diese Aggregationskonzepte beeinflussen letztendlich quantifizierbare Größen wie Leistungsflüsse im Stromnetz, Zahlungsströme zwischen den Akteuren und die Nutzung der Komponenten. Sie bieten einen Rahmen für eine detailliertere modellbasierte Analyse, die darauf abzielt, die oben genannten Größen abzuschätzen.

5 Literaturangaben

- [1] Deutsche Energie Agentur GmbH (dena), „Ausbau und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030 (dena-Verteilnetzstudie)“, Berlin, 2012.

- [2] D. Pudjianto, C. Ramsay und G. Strbac, „Virtual power plant and system integration of distributed energy resources“, *IET Renewable Power Generation*, 1 (1), S. 10-16, 2007, DOI: 10.1049/iet-rpg:20060023
- [3] M. Braun und P. Strauss, „A review on aggregation approaches of controllable distributed energy units in electrical power systems“, *International Journal of Distributed Energy Resources*, 4 (4), S. 297-319, 2008,
- [4] C. Kieny, B. Berseneff, N. Hadsaid, Y. Besanger und J. Maire, „On the concept and the interest of virtual power plant: Some results from the European project Fenix“, in *2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2009, S. 1-6, DOI: 10.1109/PES.2009.5275526
- [5] T. Erge, B. Wille-Hausmann und C. Wittwer, „Realisierung eines „virtuellen“ Kraftwerkprototyps im badenova Stromnetz für die Einsatzplanung von regenerativen Stromgeneratoren und dezentralen KWK-Anlagen – „VIRTPLANT“. Schlussbericht“ Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 2008.
- [6] P. Asmus, „Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future“, *The Electricity Journal*, 23 (10), S. 72-82, 2010, DOI: 10.1016/j.tej.2010.11.001
- [7] S. Lukovic, I. Kaitovic, M. Mura und U. Bondi, „Virtual Power Plant As a Bridge between Distributed Energy Resources and Smart Grid“, in *2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2010, S. 1-8, DOI: 10.1109/HICSS.2010.437
- [8] J. Albersmann, D. Bahn, I. Baum, S. Farin, T. Fecht, R. Reuter und T. Stiefelhagen, „Virtuelle Kraftwerke als wirkungsvolles Instrument für die Energiewende“ PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2012.
- [9] A. Nieße, „Verteilte kontinuierliche Einsatzplanung in Dynamischen Virtuellen Kraftwerken“, Dissertation, Fakultät II - Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, Oldenburg, 2015.
- [10] A. F. A. Raab, „Operational planning, modeling and control of Virtual Power Plants with electric vehicles“, Dissertation, Fakultät IV - Elektrotechnik und Informatik, Technische Universität Berlin, Berlin, 2018.
- [11] R. Bertram und A. Schnettler, „A control model of virtual power plant with reactive power supply for small signal system stability studies“, in *2017 IEEE Manchester PowerTech*, 2017, S. 1-6, DOI: 10.1109/PTC.2017.7980838
- [12] D. Candra, K. Hartmann und M. Nelles, „Economic Optimal Implementation of Virtual Power Plants in the German Power Market“, *Energies*, 11 (9), 2018, DOI: 10.3390/en11092365
- [13] A. M. Liceaga, P. Sanchis und M. D. M. Rubio-Varas, „New Business Models as Drivers of Distributed Renewable Energy Systems“, in *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 2018, S. 1-6, DOI: 10.1109/EEEIC.2018.8493638
- [14] S. C. Müller und I. M. Welpé, „Sharing electricity storage at the community level: An empirical analysis of potential business models and barriers“, *Energy Policy*, 118, S. 492-503, 2018, DOI: 10.1016/j.enpol.2018.03.064
- [15] E. Ropuszyńska-Surma und M. Węglarz, „The Virtual Power Plant – A Review Of Business Models“, *E3S Web Conference*, 108 (01006), 2019, DOI: 10.1051/e3sconf/201910801006
- [16] S. P. Burger und M. Luke, „Business models for distributed energy resources: A review and empirical analysis“, *Energy Policy*, 109, S. 230-248, 2017, DOI: 10.1016/j.enpol.2017.07.007
- [17] B. Feron und A. Monti, „An agent based approach for Virtual Power Plant valuing thermal flexibility in energy markets“, in *2017 IEEE Manchester PowerTech*, 2017, S. 1-6, DOI: 10.1109/PTC.2017.7981126
- [18] R. Hanna, V. R. Disfani, J. Kleissl und D. G. Victor, „A new simulation model to develop and assess business cases for commercial microgrids“, in *2017 North*

- American Power Symposium (NAPS)*, 2017, S. 1-6, DOI: 10.1109/NAPS.2017.8107381
- [19] K. Vatanparvar und M. A. A. Faruque, „Design Space Exploration for the Profitability of a Rule-Based Aggregator Business Model Within a Residential Microgrid“, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6 (3), S. 1167-1175, 2015, DOI: 10.1109/TSG.2014.2380318
- [20] M. Loßner, D. Böttger und T. Bruckner, „Economic assessment of virtual power plants in the German energy market — A scenario-based and model-supported analysis“, *Energy Economics*, 62 (S. 125-138, 2017, DOI: 10.1016/j.eneco.2016.12.008
- [21] E. Vanadzina, G. Mendes, S. Honkapuro, A. Pinomaa und H. Melkas, „Business models for community microgrids“, in *2019 16th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 2019, S. 1-7, DOI: 10.1109/EEM.2019.8916368
- [22] D. Brown, S. Hall und M. E. Davis, „Prosumers in the post subsidy era: an exploration of new prosumer business models in the UK“, *Energy Policy*, 135 (December 2019, 110984), 2019, DOI: 10.1016/j.enpol.2019.110984
- [23] S. Löbbe und A. Hackbarth, *Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft: Ein Kompendium von der Methodik bis zur Anwendung* (Reutlinger Diskussionsbeiträge zu Marketing & Management). Reutlingen: Hochschule Reutlingen, 2017.
- [24] A. Osterwalder, „The business model ontology - a proposition in a design science approach“, Dissertation, Ecole des Hautes Etudes Commerciales, Université de Lausanne, 2004
- [25] A. Osterwalder und Y. Pigneur, *Business Model Generation: Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer*. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 2011
- [26] J. Schmidt, B. Thomas und S. Pelz, „Geschäftsmodelle für virtuelle Kraftwerke“, *horizonte - Forschung an den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg*, 47, S. 31-35, 2016
- [27] C. Zott, R. Amit und L. Massa, „The business model: Recent developments and future research“, *Journal of Management*, 37 (4), S. 1019-1042, 2011, DOI: 10.1177/0149206311406265
- [28] P. Stähler, *Geschäftsmodelle in der digitalen Ökonomie. Merkmale, Strategien und Auswirkungen*. Lohmar: Josef Eul Verlag, 2002
- [29] D. R. A. Schallmo, *Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013
- [30] *Energiewirtschaftsgesetz in der Fassung vom 07.07.2005 (BGBl. I S. 1970), zuletzt geändert durch Gesetz vom 05.12.2019 (BGBl. I S. 2002)*
- [31] G. Holtz, S. Jeddi, J. Fleer, S. Birk, M. Schönfisch, D. Lindenberger und T. Schneiders, „Geschäftsmodelle zur Einbindung dezentraler Anlagen auf Haushaltsebene in Virtuelle Kraftwerke“, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 69 (3), S. 33-36, 2019
- [32] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen und Bundeskartellamt, "Monitoringbericht Energie 2018", Bonn, 2019, verfügbar: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2018/Monitoringbericht_Energie2018.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- [33] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. (2019). *Fördersätze für PV-Anlagen. Anzulegende Werte für Solaranlagen November 2019 bis Januar 2020*. verfügbar: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/PV_Dat enmeldungen/DegressionsVergSaetze_11-01_20.xlsx?__blob=publicationFile&v=2
- [34] *Erneuerbare-Energien-Gesetz in der Fassung vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 20. November 2019 (BGBl. I S. 1719)*.