

Segmentale Geschäftsmodell-Evaluation am Beispiel der digitalen Mehrwert-Anwendung Energiemanagement

Vollständiger Beitrag

Niklas Briem¹, Benjamin Pottkamp², Joachim Gerlach³, Jessica Rövekamp⁴ und
Alexander Bade⁵

Abstract: Mehrwert-Anwendungen auf Basis intelligenter Messsysteme sollen die Digitalisierung der Energiewende akzeptanzbasiert vorantreiben. Als Mehrwert-Anwendungen können im privaten Elektrizitätssektor nicht-energiewirtschaftlich relevante Zusatz-Leistungen verstanden werden, die eine weitere Systemkomponente in der Infrastruktur des intelligenten Messsystems erfordern. Ein Beispiel hierfür liefert das optionale Energiemanagement. In dieser Arbeit wird zunächst die Methodik der „Segmentalen Geschäftsmodell-Evaluation“ (SGME) vorgestellt. Anschließend wird diese auf die Evaluation von Mehrwert-Anwendungen angewendet. Als Ergebnis zeigt sich für die Mehrwert-Anwendung „Energiemanagement“, dass von allen betrachteten Kundensegmenten vor allem Prosumer mit Wärmepumpe und ohne Batteriespeicher mögliche Zielkunden sind, aber auch Haushalte mit Wärmepumpe ohne Erzeugungs- und Speichertechnologien relevant sind. Das über alle betrachteten Kundensegmente dieser Mehrwert-Anwendung ermittelte Marktpotenzial von 329 Mio. €/a dürfte durch die Verbreitung von Wärmepumpen zunehmen. Die Nachrüstung bestehender PV-Anlagen mit Batteriespeichern würde sich hemmend auf das Marktpotenzial auswirken, da sich hierdurch der durch die Mehrwert-Anwendung „Energiemanagement“ erzielbare monetäre Kundennutzen reduziert.

Keywords: Digitalisierung der Energiewende, Smart Energy, Energiewirtschaft, digitale Geschäftsmodelle, Energiemanagement, Home Energy Management System, HEMS, intelligente Messsysteme, iMSys, Smart-Meter-Gateway, SMGW, Mehrwert-Anwendungen, MWA

1 Einführung

Mit dem „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ wurden 2016 die notwendigen regulatorischen Grundlagen für die Transformation des Energienetzes von zentralisierten, nachfrageorientierten Großkraftwerken hin zu zunehmend dezentralen, volatilen Klein-Anlagen und angebotsgesteuertem Verbrauch gelegt. [GN23] Eine Schlüsseltechnologie zur Realisierung dieser Transformation liefern dabei intelligente Messsysteme (iMSys),

¹ Hochschule Albstadt-Sigmaringen, eMpowerSYS, Anton-Günther-Str. 51, 72488 Sigmaringen, briem@hs-albsig.de

² Hochschule Albstadt-Sigmaringen, eMpowerSYS, Poststraße 6, 72458 Albstadt, pottkamp@hs-albsig.de

³ Hochschule Albstadt-Sigmaringen, INF, Poststraße 6, 72458 Albstadt, gerlach@hs-albsig.de

⁴ Hochschule Albstadt-Sigmaringen, BSM, Anton-Günther-Str. 51, 72488 Sigmaringen, rovekamp@hs-albsig.de

⁵ Hochschule Albstadt-Sigmaringen, BSM, Anton-Günther-Str. 51, 72488 Sigmaringen, bade@hs-albsig.de

die die analogen Ferraris-Stromzähler durch digitale Messeinrichtungen ersetzen und über Smart-Meter-Gateways (SMGW) eine informationstechnisch sichere Anbindung der Netzanschlusspunkte an energiewirtschaftliche Akteure über das Weitverkehrsnetz (WAN) gewährleisten. [Bu21b] Über die CLS⁶-Proxy-Funktionalität des SMGW können weitere Systemkomponenten (CLS-Komponenten) im Heimnetz (HAN) der Liegenschaft sicher angebunden werden. [Bu23b] Hierdurch können zusätzlich zu den Grundfunktionalitäten des iMSys weitere Datenerfassungs- und Datenverarbeitungskapazitäten als Edge-Technologien beim Endkunden integriert und dort z. B. lokal angebundene Verbrauchs- und Erzeugungseinheiten geregelt und optimiert werden.

Um das Sicherheitsniveau der iMSys-Infrastruktur konsequent fortzuführen, wurde vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik für die Ausgestaltung dieser CLS-Komponenten mit der technischen Richtlinie TR 03109-5 ein umfangreicher Anforderungskatalog bereitgestellt. Dessen Umsetzung wird im Rahmen eines Zertifizierungsverfahrens für neue CLS-Komponenten geprüft. [Bu23b] Mit dieser sowohl technisch als auch regulatorisch abgesicherten Erweiterung des informationstechnischen Energienetzes ergeben sich neue digitale Geschäftsmodelle, die deutlich über die Möglichkeiten des klassischen, rein analogen Netzes hinausgehen.

Die Notwendigkeit, mit den CLS-Komponenten separate Hardware beim Endkunden bereitstellen zu müssen, sowie der erhöhte Entwicklungsaufwand durch die Zertifizierung stellen jedoch Hemmnisse sowohl anbieterseitig beim Markteintritt als auch verbraucherseitig bei der Nutzerakzeptanz für die Markteinführung dieser Geschäftsmodelle dar. Das Ziel des Verbundvorhabens „eMpowerSYS“ ist es, diese Hemmnisse zu minimieren, indem mit dem Mehrwertmodul (MWM) eine CLS-Komponente als Plattformlösung entwickelt und bis zur Feldtestreihe gebracht wird. Das MWM bietet eine Hardwareplattform in der Endkundenliegenschaft, die die notwendigen Schnittstellen für die protokollbasierte Datenerfassung und die Regelung angebundener Verbrauchs- und Erzeugungseinheiten sowie die sichere Kommunikation über das SMGW zur Verfügung stellt. Nachdem diese Plattform einmalig beim Endkunden in Betrieb genommen ist, können lokale Softwarelösungen, die für die verschiedenen digitalen Geschäftsmodelle notwendig sind, als separate Anwendungen über das WAN auf das MWM aufgespielt werden. Dies vereinfacht den technischen Anbindungsprozess des Kunden. Dadurch kann mittelfristig eine zunehmende Akzeptanz der iMSys-Technologie erreicht werden. Dies geschieht durch die Erschließung kundenseitiger Nutzenaspekte über die Umsetzung von Mehrwerten, die über die systemrelevanten Aufgaben des iMSys hinausgehen. [Fo24]

⁶ CLS bezeichnet das „Controllable Local System“, also steuerbare Verbrauchs- oder Erzeugungseinrichtungen des Endkunden, die über einen abgesicherten Kanal mit den relevanten Akteuren im Weitverkehrsnetz angebunden sind. In diesem Fall agiert das SMGW als TLS-Proxy und terminiert sowohl die WAN-Verbindung als auch die HAN-Verbindung. [Bu21b]

Als Partner des Verbundvorhabens „eMpowerSYS“ liegt der Fokus der Hochschule Albstadt-Sigmaringen u. a. in der Eruierung, Evaluation und potenzialorientierten Exploration dieser Mehrwert-Anwendungen (MWA). [Ho24] Entsprechend der Ziele des Verbundvorhabens wird dabei auf digitale Geschäftsmodelle eingegangen, die sich in der Umsetzung als lokale, softwarebasierte MWA auf dem MWM abbilden lassen. Im Rahmen der Projektarbeiten wurde hierfür eine als „Segmentale Geschäftsmodell-Evaluation“ (SGME) bezeichnete Methodik zur Evaluation digitaler, privatkundenorientierter Geschäftsmodelle im Energiebereich entwickelt. In der vorliegenden Publikation wird gezeigt, wie MWA identifiziert werden können und die SGME auf diese adaptiert werden kann. Anschließend erfolgt eine beispielhafte Anwendung der Methodik zur Kundensegmentierung von MWA.

2 Gegenstand der Evaluation: Mehrwert-Anwendungen

Im Rahmen der vorliegenden Analyse werden potenzielle Geschäftsmodelle für MWA daraufhin untersucht, ob sie aus Anbietersicht lohnend sind. Hierzu ist es zunächst erforderlich, dass Kandidaten isoliert werden, die sich als digitale Geschäftsmodelle im privaten Energiebereich anbieten. Diese müssen anschließend auf diejenigen Kandidaten eingegrenzt werden, die sich gemäß dem Projektziel als MWA abbilden lassen. Bevor diese Eingrenzung vorgenommen werden kann, ist es daher zunächst erforderlich zu definieren, was konkret unter einem „digitalen Geschäftsmodell“ bzw. einer MWA verstanden wird.

2.1 Digitale Geschäftsfelder im privaten Elektrizitätssektor auf Basis von iMSys

Im Rahmenwerk „Geschäftsmodell-Framework Energiewirtschaft“ des „Kopernikus-Projekts Systemintegration“ werden 69 Geschäftsmodell-Prototypen (GM-Prototypen) multidimensional typisiert, welche die Energiewirtschaft umfassend abbilden. [Gi19] Hieraus sind in der vorliegenden Arbeit insbesondere privatkundenfokussierte GM im Elektrizitätssektor auf Basis von iMSys, der digitalen Mess- und Kommunikationsinfrastruktur, relevant. Daher werden nur GM-Prototypen mit den Ausprägungen „Haushalte“, „Prosumer“ (Erzeuger und Verbraucher in einer Person) oder „[Elektro-]Autonutzer“ im Kundensegment sowie den Technologieausprägungen „Smart Meter“ und „sonstige Mess- und Steuerungstechnik“ berücksichtigt. [Gi19]

In Abb. 1 ist der Selektionsprozess von links nach rechts dargestellt, mit welchem sich aus den 69 GM-Prototypen anhand der obigen Merkmalsausprägungen 26 für potenzielle MWA relevante GM bzw. 12 übergeordnete Geschäftsfelder (GF) identifizieren lassen. Letztere gewährleisten weiter gefasst eine für diese Betrachtung optimierte Abgrenzung der teils noch nicht im Markt etablierten GM untereinander. Die Zusammenfassung der GM zu GF führt zu einer effektiveren Bewertung, da sich bei artverwandten GM vor dem

Hintergrund der teils mangelnden Datenlage kaum Bewertungsunterschiede ergäben. Unter den GF lassen sich die 26 GM, wie über die Pfeile visualisiert, subsumieren. Gründe hierfür sind etwa technische Voraussetzungen, direkte Substitutions- oder unterstützende Ergänzungsleistungen der GM zu den GF. Die GF sind anhand eines aussagekräftigen GM-Prototypen benannt, d. h. unter den GF sind auch die identisch bezeichneten GM-Prototypen enthalten. [Hu14], [Gi19] Die Differenzierung in Basis-Anwendungen, transzendente und native MWA wird nachfolgend erläutert.

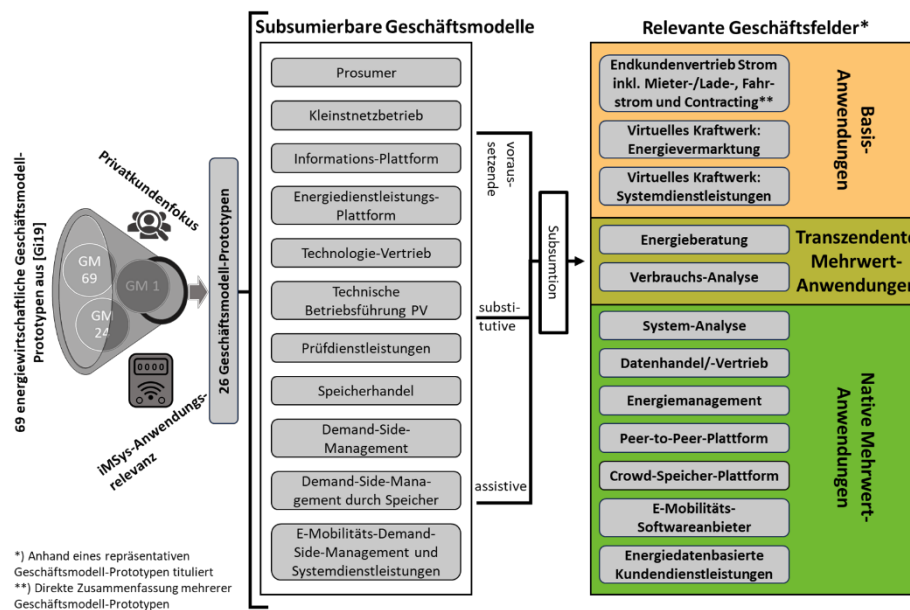


Abb. 1: Selektionsprozess der für MWA relevanten GF, mit Daten aus: [Gi19], [Ms23], [Bu21a]

2.2 Definition des Begriffs der Mehrwert-Anwendungen

„Wert“ bzw. „Wertschöpfung“ ist im Kundennutzen integraler Bestandteil eines GM. [Sc14] Eine „Mehrwert-Anwendung“ muss entsprechend einen größeren Kundennutzen als die übliche Wertstufe aufweisen. Das MsbG definiert in § 34 „Standard-, auf Verlangen verpflichtende und optionale Zusatz-Leistungen“ des Messstellenbetreibers auf Basis von iMSys. Aufgrund ihrer Quasi-Angebotsverpflichtung stellen diese „Standard- und verpflichtenden Zusatz-Leistungen“ also zunächst Basis-Anwendungen ohne Mehrwert dar. Konkret muss etwa die Datenkommunikation an den Energielieferanten zur stromtariflichen Abrechnung („Zählerstände“) vom Messstellenbetreiber offeriert werden. Ein direkter Mehrwert durch dieses „Angebot“ besteht also nicht. Bei MWA handelt es sich somit nicht um Anwendungen, mit denen bilanzierungs-, netz-, oder abrechnungsrelevante Mess- oder Steuerungsleistungen erbracht werden, die auf

„energiewirtschaftlich relevanten Daten“ (ERD)⁷ gemäß § 19, Abs. 2 MsbG basieren und energiewirtschaftlich zwingend erforderlich sind. [Ms23], [Bu23a] MWA auf Basis von iMSys sind daher „betrieblich“⁸ und dergestalt als „energieversorgungsfremd“ anzusehen. [Ms23], [Bu23a], [We23a] Jede der energiedatenbasierten Leistungen aus § 34 MsbG lässt sich anhand der „energiewirtschaftlichen Anwendungsfälle“ (EAF) des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik, welche energiewirtschaftliche sowie systemrelevante Leistungen der iMSys formulieren, [Bu21a] einordnen. Energiewirtschaftliche und systemrelevante Leistungen sind etwa die Erhebung (nicht) abrechnungsrelevanter Elektrizitätsdaten (EAF 0.2 und EAF 0.1) oder die netzdienliche Steuerung von Verbrauchseinrichtungen in der Niederspannung nach § 14a EnWG (EAF 1), also die Reduktion der Strombezugslast bei Netzengpässen. Daher beruhen mit Ausnahme der „optionalen Zusatz-Leistungen“ alle EAF der „Standard- und Zusatz-Leistungen“ auf ERD. [Bu21a], [Ms23]

MWA, die Privatkunden fokussieren, lassen sich also aus den betrieblichen EAF im Elektrizitätssektor ableiten, welche nicht die „Standard- und verpflichtenden Zusatz-Leistungen“ umfassen. Der Mehrwert von als MWA bezeichneten GM besteht also inhärent dadurch, dass es sich um ein optionales Angebot handelt. Unter MWA werden also GM verstanden, welche vom Messstellenbetreiber angeboten werden können, aber nicht müssen, und vom Kunden genutzt werden können, aber nicht müssen. Hierfür ist eine zusätzliche Systemkomponente in der Infrastruktur des iMSys erforderlich, etwa das MWM, da die MWA nach aktuellem Stand nicht Teil des Funktionsumfangs des SMGW sind. Auf dieser eingangs erläuterten Systemarchitekturlösung lassen sich digitale GM als lokale, softwarebasierte MWA implementieren. Sie können in native und transzendente MWA unterschieden werden. Native MWA, wie das über die netzorientierte Dimmung nach § 14a EnWG [En24] hinausgehende „Energiemanagement“ (EAF 2), weisen einen inhärenten Mehrwert zu den verpflichtenden Basis-Anwendungen auf. Transzendente MWA, wie z. B. die „Verbrauchs-Analyse“, können entweder den Basis-Anwendungen (z. B. der „TRuDi-Transparenz- und Displaysoftware“) zugeordnet werden oder zu MWA transzendieren. Beispielsweise überschreitet die Ausgestaltung der „Verbrauchs-Analyse“ durch Verwendung von hochfrequenten Messwerten (EAF 14) zur Geräte-Identifikation den Basis-Bereich und stellt damit eine MWA dar. [Gä21], [Ms23], [Bu21a] Die übrigen MWA wurden ebenfalls anhand dieses definitorischen Rahmenwerks klassifiziert und grenzen so den Analysefokus im Verbundprojekt „eMpowerSYS“ ein.

Zusammengefasst lassen sich die GF im privaten Elektrizitätssektor unter den Basis-Anwendungen, transzenten MWA oder nativen MWA einordnen. *Basis-Anwendungen* beinhalten verpflichtende bzw. „energiewirtschaftlich relevante“ Leistungen. Demgegenüber sind *native MWA* optional und lassen sich aus den „betrieblichen“ EAF ableiten. Konkrete GM der als *transzendente MWA* kategorisierten GF sind entweder eine

⁷ ERD weisen aufgrund ihrer Relevanz für das Energiesystem eine besondere Schutzbedürftigkeit auf. Die Datenkommunikation der ERD darf ausschließlich über die per „Smart-Metering-Public-Key-Infrastruktur“ (SM-PKI) gesicherte WAN-Verbindung erfolgen. [Bu23a]

⁸ Die Bundesnetzagentur definiert „betriebliche Daten“ als Gegenstück zu den ERD. [Bu23a]

Basis-Anwendung oder eine MWA. Daneben existieren nicht-energiekostenbasierte MWA, welche das Smart-Meter-Gateway (SMGW), z. B. zur Fernüberwachung von Rauchmeldern, als Kommunikationsplattform nutzen und hier nicht betrachtet werden. [Bo18], [Hä22]

3 Segmentale Geschäftsmodell-Evaluation (SGME)

Um die zuvor identifizierten MWA zu evaluieren, wird im Folgenden die „Segmentale Geschäftsmodell-Evaluation“ (SGME) als auf Kundensegmentierung basierte Methodik vorgestellt und angewendet. Ziel der SGME ist es, ein potenzielles Geschäftsfeld daraufhin zu untersuchen, für welche Kundensegmente es welchen Nutzen aufweist und hieraus für den Anbieter ein mögliches Marktpotenzial abzuschätzen. Hierzu ist es zunächst nötig, dass der Kreis potenzieller Kunden in einzelne Segmente aufgeteilt wird. Die Kundensegmente sollten dabei untereinander disjunkt und in sich weitgehend homogen sein. Als Segmentierungskriterien eignen sich daher Eigenschaften, die im Hinblick auf die gewählten Kennzahlen, die zum möglichen Marktpotenzial führen, unterschiedliche segmentale Bewertungen erwarten lassen. Um die Aussagekraft der Kennzahlen sowohl für die Segmente als auch für die Gesamtbetrachtung zu erhöhen, ist deren Anordnung im Kennzahlenbaum sinnvoll. Im Ergebnis zeigt sich in Abhängigkeit der gewählten Kennzahlen, welche Kundensegmente attraktiv sind, Randkunden darstellen oder vernachlässigt werden können. [Hu14]

Im Folgenden wird zunächst aufgezeigt, wie die hierfür notwendigen Kundensegmente im privaten Elektrizitätssektor gebildet werden. Anschließend werden die relevanten Kennzahlen für die Evaluierung von MWA identifiziert und vorgestellt. Hierdurch ist es grundsätzlich möglich, alle MWA zu bewerten und somit deren Marktpotenzial für jedes einzelne Kundensegment abzuschätzen. Im 4. Kapitel erfolgt dann ein konkretes Rechenbeispiel für eine exemplarische MWA.

3.1 Kundensegmente

Da der Nutzen, der den Kunden durch die verschiedenen GM entsteht, von individuellen Faktoren abhängt und zwischen Kunden stark variieren kann, ist es notwendig Kundensegmente zu bilden, für die ein repräsentativer Musterkunde existiert.

Für die Privatkundenfokussierten GM im Elektrizitätssektor ist der maßgebende Faktor, der die Nutzenkalkulation beeinflusst, die Kombination an „Energiewendetechnologien“⁹ in Form von Photovoltaik-Anlage (PV), Batteriespeicher (BS) oder Wärmepumpe (WP), die eingesetzt werden. Der Grund hierfür ist, dass diese Technologien große Auswirkungen auf den für mehrere MWA nutzenrelevanten Lastgang und Strombezug haben. Beispielsweise unterscheidet sich der Nutzen der MWA

⁹ Aufgrund unzureichender Daten konnten E-Autos nicht berücksichtigt werden.

„Energiemanagement“ oder „Peer-to-Peer-Anwendung“ stark in Abhängigkeit davon, ob ein Kunde über einen Batteriespeicher verfügt oder nicht. Auch der Nutzen anderer, nicht auf physischen Stromflüssen basierender MWA, ist technologieabhängig. Beispielsweise ist die MWA der „System-Analyse“ (Predictive Maintenance) nur dann von Nutzen, wenn ein Kunde überhaupt über technische Anlagen wie PV, BS oder WP verfügt. [Gi19] Daher wurde bei der Kundensegmentierung zur Evaluierung von MWA ein technologiebasierter Ansatz auf Basis des „KfW-Energiewendebarmeters“ gewählt. [Rö23]

Es gibt in Deutschland rund 39,3 Mio. Haushalte, davon 16,5 Mio. Eigentums-Haushalte (EH) und 22,8 Mio. Miet-Haushalte. [St23a] Die SGME lässt sich grundsätzlich auf alle denkbaren Kundengruppen anwenden. Aufgrund der Datenlage zum Zeitpunkt der Betrachtung werden im Folgenden allerdings lediglich EH betrachtet.

Aus der Kombination der verschiedenen Technologien unter der Randbedingung, dass BS zur Direktverbrauchsoptimierung nur von Prosumern eingesetzt werden, ergeben sich sechs Kundensegmente. Diese sind in Tab. 1 dargestellt. Basierend auf Berechnungen mit Daten aus [St23a], [Rö23] wurde das jeweilige segmentale Absatzpotenzial bestimmt. Mit 14,9 Mio. der insgesamt rund 16,5 Mio. EH in Deutschland deckt die Methodik somit etwa 90% der deutschen EH ab.

Kunden-Segment	EH	Technologiemix			Bezeichnung	Absatzpotenzial
		PV	BS	WP		
0	Ja	-			Unberücksichtigte EH	1,6 Mio.
1	Ja	Nein	Nein	Nein	EH	11,3 Mio.
2	Ja	Ja	Nein	Nein	EH mit PV	1,3 Mio.
3	Ja	Ja	Ja	Nein	EH mit PV und BS	0,6 Mio.
4	Ja	Ja	Ja	Ja	EH mit PV, BS und WP	0,2 Mio.
5	Ja	Ja	Nein	Ja	EH mit PV und WP	0,4 Mio.
6	Ja	Nein	Nein	Ja	EH mit WP	1,1 Mio.
EH Total						16,5 Mio.
Berücksichtigte EH						14,9 Mio.

Tab. 1: Absatzpotenziale der Kundensegmente nach Technologiemix [Rö23], [St23a]

Die Modellparameter der segmentspezifischen, repräsentativen Musterkunden werden im Rahmen der Anwendung in Kap. 4 erläutert.

3.2 Kennzahlen

Damit für potenzielle Anbieter von MWA Handlungsimplicationen abgeleitet werden können, müssen generische, primär quantitative Analysen mit betriebswirtschaftlichem Fokus durchgeführt werden. Solche Analysen liegen insbesondere für energiewirtschaftliche Anwendungen kaum vor. [Ge20] Da auch für noch nicht im Markt etablierte GM

kaum aussagekräftige Daten vorliegen, ist darüber hinaus ein Evaluationssystem auf Basis weniger, wesentlicher Kriterien sinnvoll.

Im Kennzahlenbaum in Abb. 2 sind die sachlogischen und kalkulatorischen Zusammenhänge der nachfolgend ausgeführten Kriterien dargestellt. Das Oberkriterium des Marktpotenzials ist entsprechend der Pfeilrichtung das Produkt aus den Unterkriterien des maximalen monetären Kundennutzens und des Absatzpotenzials. Wie oben erläutert, kann jedes Kriterium für jedes Kundensegment getrennt betrachtet und anschließend kumuliert werden. Dies wird über die farblich visualisierten Kundensegmente, die entsprechend der „Plus-Notation“ beliebig kombiniert und für das kumulierte Marktpotenzial addiert werden können, in den Kriterien verdeutlicht.

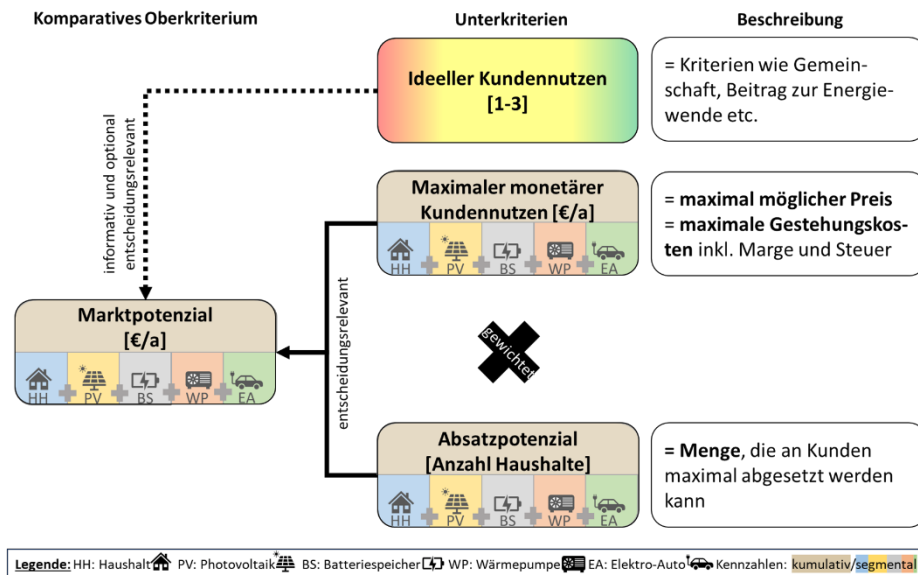


Abb. 2: Kennzahlenbaum der SGME, mit Daten aus: [Rö23], [Ge20], [Sc14], [Kn14]

Der Kundennutzen ist integraler Bestandteil eines GM. [Sc14] Auch wenn hierunter häufig die Kostenminimierung oder die Erlösmaximierung verstanden wird, tragen auch ideelle Faktoren zur Nutzenmaximierung bei. [Sh21] Daher wird der Kundennutzen für die nachfolgende Bewertung sowohl quantitativ als auch qualitativ berücksichtigt. Die quantitative Betrachtung umfasst den maximalen jährlichen monetären Kundennutzen der einzelnen Kundensegmente, während der qualitative Nutzen auf ideelle Faktoren abzielt. Unter der Annahme, dass die MWA i. d. R. nur abgesetzt wird, wenn der monetäre Kundennutzen größer als die Aufwendungen inkl. Marge und Steuern ist, kann dieser auch als maximal erzielbare Preisobergrenze angesehen werden. Die Selbst- bzw. Gestehungskosten inkl. Marge und Steuern dürfen also nicht den monetären Kundennutzen übersteigen. Somit wird gewährleistet, dass die mit der Evaluation verbundenen strategischen Entscheidungen über die Implementierung der MWA vor dem Hintergrund

der unternehmensindividuellen Kostenkalkulation getroffen werden können. Neben dem monetären Kundennutzen fließt, wie oben erwähnt, auch der ideelle Nutzen in die Nutzenbetrachtung der Kunden ein. Allerdings sind solche ideellen Faktoren nur schwer quantifizierbar. Dieses Problem wird durch die aktuell noch kaum vorhandene Datenbasis zusätzlich erschwert. Darüber hinaus handelt es sich bei den meisten MWA um Anwendungen, die lediglich im Hintergrund agieren und keine direkte „Nutzer-Experience“ versprechen. Somit dürfte es kaum möglich sein, mittels ideeller Produktdifferenzierung die Kaufentscheidung zu beeinflussen. Diese wird folglich durch monetäre Aspekte dominiert.

Aus diesen Gründen wird im Folgenden davon ausgegangen, dass der monetäre Kundennutzen allein entscheidungsrelevant ist, wohingegen die ideelle Betrachtung, insbesondere beim Vergleich mehrerer MWA, lediglich informativ einfließt.

Als Produkt aus maximalem Preis und Absatzpotenzial nach Tab. 1 ergibt sich das Oberkriterium des Marktpotenzials in Euro pro Jahr. Dies stellt eine Obergrenze dar und ist gleichbedeutend zu dem in einem reifen Markt maximal realisierbaren Marktvolumen bei einer Marktsättigung von 100 %. Für eine Abschätzung des tatsächlichen (und nicht maximalen) Marktvolumens bedarf es adäquater Abschläge, die sich etwa aus dem Produktlebenszyklus-Modell ergeben können. [Ba13]

Durch Addition des Marktpotenzials der jeweiligen Kundensegmente ergibt sich das kumulierte Ergebnis. Evaluiert werden ausschließlich die durch die MWA erzielbaren monetären Vorteile, z. B. von einem EH mit PV und MWA zum identischen EH mit PV ohne MWA. Durch die segmentale Betrachtung wird gewährleistet, dass der monetäre Kundennutzen explizit auf die MWA, losgelöst der zu Grunde liegenden Technologien, zurückgeführt werden kann. Aus den segmentalen und kumulativen Kriterien lassen sich differenzierte Handlungsimplicationen ableiten, wie in Kap. 4.2 anhand der MWA „Energiemanagement“ beispielhaft gezeigt wird.

4 Anwendung der Evaluationsmethodik am Beispiel des Energiemanagements

Die oben beschriebene und generisch auf MWA adaptierte Bewertungsmethodik der SGME wurde im Rahmen des Verbundvorhabens „eMpowerSYS“ auf mehrere MWA angewendet. Im Folgenden werden beispielhaft die Ergebnisse der MWA „Energiemanagement“ dargestellt, da dieser Anwendungsfall besonders praxisrelevant ist. Anschließend werden diese Ergebnisse evaluiert und Handlungsimplicationen abgeleitet. Grundlage für alle Berechnungen sind Daten aus dem Jahr 2023. Die Bewertung wird als Ex-post-Analyse durchgeführt.

4.1 Modellierung der Musterkunden und des Energiemanagements

Der Jahresstromverbrauch eines durchschnittlichen EH ohne weitere Technologie wird in der folgenden Modellierung mit 3.170 kWh/a angenommen. [St24], [St23b], [St23a] Rund die Hälfte hiervon entfällt auf die bedarfs- und programmorientierten Prozesswärme-Anwendungen wie Ofen, Herd oder Trockner und die zustandsorientierten Prozesskälte-Verbraucher, etwa Kühl- oder Gefrierschränke.¹⁰ [Ka14], [Ze12], [BD24a] Bei den EH mit WP, welche mit 5.000 kWh/a dimensioniert sind, liegt der Anteil zustandsorientierter Verbraucher am Gesamtverbrauch (8.170 kWh/a) wesentlich höher. [Bu23c], [Gü24] Für die zum Energiemanagement prädestinierten programm- und insbesondere zustandsorientierten Verbraucher (42 % Anteil am Gesamtverbrauch ohne WP) können Verschiebungsanteile zwischen 25 % und 35 % des Gerätegesamtverbrauchs angenommen werden. [KI07], [Ka14] Hieraus ergeben sich maximale Lastverschiebungsanteile zur Gesamtlast von etwa 15 % bei EH ohne WP respektive 27 % bei den EH mit WP.¹¹ In den Analysen zeigte sich, dass sich der monetäre Kundennutzen approximativ proportional zum Lastverschiebungsanteil verhält.

Für Prosumer ist die direktverbrauchsorientierte Lastverschiebung und für reine Konsumenten die preisorientierte Ausgestaltung, hier in Form eines stündlich-dynamischen Tarifs, relevant. [Ke20], [Hi14] In der Modellierung wird die Annahme getroffen, dass Prosumer die klassische Stromtarifizierung mit einem statischen, zeitunabhängigen Strompreis präferieren. Dies liegt daran, dass bei diesen der Strombezug aus dem Netz überwiegend in den eigenerzeugungsarmen Monaten im Winter und Herbst stattfindet. Somit können sie kaum von den vergleichsweise niedrigen Strompreisen und vorteilhafteren Preisverläufen im Frühjahr und Sommer profitieren. [Li23], [Sm24a], [Sm24b]

Der Jahresgesamtverbrauch bleibt sowohl bei reinen Konsumenten als auch bei Prosumern unverändert. Der monetäre Kundennutzen ergibt sich allein aus der Lastverschiebung. [Hi14] Beim direktverbrauchsorientierten Energiemanagement ergibt er sich aus dem Produkt des tatsächlich zum Direktverbrauch verschobenen Verbrauchs und dem Bezugsstrompreis abzüglich der Einspeisevergütung als Opportunitätskosten. Bei Kunden ohne PV-Eigenerzeugung ergibt sich der monetäre Nutzen durch die Differenz der Strombezugspreise aufgrund der Verschiebung des Verbrauchs in Stunden mit niedrigerem Strompreis. Hierzu werden verschiedene Preisbereiche innerhalb eines Tages definiert. Im teuersten Drittel des Tages findet die Lastreduktion statt, welche im günstigeren Drittel „nachgeholt“ wird. Im mittleren Preisbereich wird infolge marginaler Verschiebungsanreize vereinfachend von einem unveränderten Verbrauch ausgegangen.

¹⁰ Bedarfsorientierte Verbraucher, z. B. die Beleuchtung, werden nur in Bedarfssituationen und i. d. R. manuell gesteuert, wohingegen programmorientierte Verbraucher, darunter Waschmaschinen, teil-automatisiert, etwa über Zeitprogrammierungen, geregelt werden können. Zustandsorientierte Verbraucher sind überwiegend thermische Anwendungen, z. B. Wärmepumpen oder Kühl-/Gefrierschränke, deren Steuerung sich voll-automatisiert an definierten Temperatur-Zuständen ausrichtet. [Ka14], [Ze12]

¹¹ Bei EH ohne WP ergibt sich der Lastverschiebungsanteil wie folgt: $15\% = 42\% \cdot 35\%$.

Mit WP muss dieser mit den Verbrauchsanteilen mengengewichtet um den der WP (35 %) ergänzt werden ($27\% = 15\% \cdot (3.170 \text{ kWh/a} / 8.170 \text{ kWh/a}) + 35\% \cdot (5.000 \text{ kWh/a} / 8.170 \text{ kWh/a})$).

Die stündliche Lastverschiebung wird durch die näherungsweise angenommene Grund- bzw. Minimallast der Standardlastprofile in Höhe von 100 W, [Li23], [Fr23] die maximalen Lastverschiebungsanteile und bei Prosumern zusätzlich durch die Erzeugungsmenge begrenzt.

Für die stundenbasierte Ex-post-Analyse fließen die Standardlastprofile H0 ein, die je nach Kundensegment um den WP-Verbrauch komplettiert werden. [Li23], [Fr23] Das PV-Erzeugungsprofil basiert auf modifizierten deutschlandweiten Daten. [Sm24b] Der mit einer angenommenen installierten Leistung der PV-Anlage von rund 7,7 kWp [Ma24b] erzielbare Ertrag wird mit 7.700 kWh/a beziffert. Bei einer maximalen Lade-/Entladeleistung von 5,3 kW wird der BS mit rund 8,4 kWh Speicherkapazität, [Ma24a], [We23b] einer maximalen Entladetiefe von 95 % sowie einem Wirkungsgrad von ebenfalls rund 95 % modelliert. [We23b] Zu den stündlichen Börsenpreisen werden typische Steuern, Abgaben und Umlagen addiert, um so stündliche Brutto-Strompreise zu erhalten. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Strompreis von rund 29 ct/kWh. [Sm24a], [BD24b] Analog wird dies als Verbrauchspreis der klassischen Tarifierung angesetzt und kann als repräsentativ für Neukundenpreise in der zweiten Hälfte des Jahres 2023 angesehen werden. [NV24] Die PV-Einspeisevergütung beträgt 8,2 ct/kWh. [Bu24]

4.2 Evaluationsergebnisse und anbieterseitige Handlungsimplikationen

Die Evaluationsergebnisse der vorgestellten Methodik sind in Abb. 3 zusammengefasst.

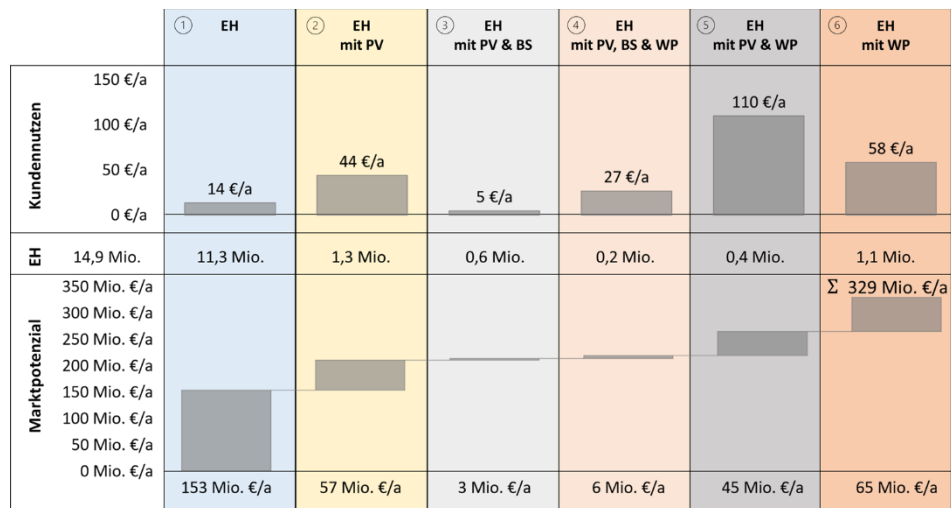


Abb. 3: Evaluations-Matrix der MWA „Energiemanagement“, mit Daten aus [Rö23], [St23a], [Fr23], [Li23], [Sm24b], [Sm24a], [BD24b]

Generell weist die MWA „Energiemanagement“ einen höheren monetären Kundennutzen in den verbrauchsstarken Segmenten mit WP auf, sofern diese über keinen BS verfügen (Kundensegmente 5 und 6), da hier auch absolut betrachtet größere Lasten verschoben werden können. Jene mit BS (Kundensegment 4) können allerdings kaum profitieren, da sowohl BS als auch das betrachtete Energiemanagement den Direktverbrauch maximieren. Dieser kann durch die MWA „Energiemanagement“ lediglich marginal erhöht werden, da er durch den BS bereits auf einem hohen Niveau liegt. Kundensegment 6 zeichnet sich durch einen geringeren Kundennutzen aus als Kundensegment 5, da die durch den betrachteten stündlich-dynamischen Tarif abschöpfbare Preisdifferenz finanziell weniger attraktiv als die Verschiebung zu Gunsten eines höheren Direktverbrauchs ist.

Bei den verbrauchsschwachen EH (Kundensegmente 1 bis 3) liegen zwar zum Teil hohe segmentale Marktpotenziale vor, es ist jedoch fraglich, ob die Kaufschwelle erreicht werden kann, da z. B. beim Kundensegment 1 (EH ohne PV, BS und WP) der jährliche maximale Kundennutzen bei lediglich 14 €/a liegt. Dies dürfte kaum genügen, um das Produkt unternehmensseitig zu finanzieren. Insgesamt ist erkennbar, dass sich der monetäre Kundennutzen in erster Linie durch eine Lastverschiebung der Wärmepumpe ergibt, sofern diese nicht bereits über einen BS stattfindet. Die Anzahl der EH, bei denen dies möglich ist (Kundensegmente 5 und 6), ist mit insgesamt rund 1,5 Mio. zwar vergleichsweise gering, allerdings führt der hohe Kundennutzen zu einem hohen Marktpotenzial. Dieses ist mit rund 110 Mio. €/a etwa drei Viertel so hoch wie bei Kundensegment 1 (153 Mio. €/a), obwohl es über 11 Mio. EH ohne Energiewendetechnologien gibt. Durch den ideellen Kundennutzen können zwar ggf. höhere Produktpreise erzielt werden, allerdings sind diese, wie oben beschrieben, schwierig zu quantifizieren.

Resultierend lassen sich folgende anbieterseitigen Handlungsimplicationen auf Basis der quantitativen Evaluation formulieren:

Zielmarkt: Das Marktpotenzial der MWA „Energiemanagement“ ist allein in den betrachteten Kundensegmenten mit rund 329 Mio. €/a attraktiv. Synergieeffekte, etwa in kombinierter Ausgestaltung mit der oben angeführten „Verbrauchs-Analyse“ als transzendente MWA, könnten dieses zusätzlich potenzieren. Wie oben erläutert, dürfte derzeit das tatsächlich realisierbare Marktvolumen in Abhängigkeit der Marktsättigung allerdings deutlich unter dem Marktpotenzial liegen.

Zielkunden: Als Zielkunden lassen sich anhand des monetären Kundennutzens eindeutig Prosumer mit WP identifizieren, sofern diese über keinen BS verfügen (Kundensegment 5). Werbemittel können diesbezüglich effizient allokiert werden. Auch wenn die Kunden des Segments 6 unattraktiver sind, bestehen auch hier Einsparungen, die den Kauf hinreichend incentivieren dürften. Die Kundenakquise der anderen betrachteten Segmente erscheint nur bedingt zielführend. Gegenwärtig dürfte der Großteil der EH daher nicht akquiriert werden können, da der geringe Kundennutzen i. d. R. unterhalb der Kosten liegen dürfte.

Randkunden: Sofern die unternehmensindividuelle Kostensituation dies zulässt, könnte durch nutzenabhängige Preisdifferenzierung auch, zumindest partikular, das Kundensegment der verbrauchsarmen Prosumer ohne BS (Kundensegment 2) erschlossen werden.

Kostenkalkulation: Für die Gestehungskosten muss ein Zielwert von deutlich unter 110 bzw. 58 €/a je Kunde angestrebt werden, sodass auch nach Margenaufschlag und Mehrwertsteuer ein für die Kaufschwelle relevanter Netto-Kundennutzen verbleibt.

Marktwachstum: Insgesamt dürfte infolge der zunehmenden Verbreitung von WP auch das Marktpotenzial der MWA „Energiemanagement“ stark wachsen. Ein signifikant wachstumstreibender Effekt aufgrund der PV-Verbreitung ist hingegen ohne Großverbraucher nicht anzunehmen, da der Netto-Kundennutzen kaum über der Kaufschwelle liegen dürfte. Wachstumshemmende Implikationen könnten sich dergestalt ergeben, dass viele Prosumer BS nachrüsten, wodurch die MWA „Energiemanagement“ bei diesen praktisch obsolet wird.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Bei Mehrwert-Anwendungen handelt es sich um Zusatz-Leistungen, die sich aus den „betrieblichen“ energiewirtschaftlichen Anwendungsfällen ableiten lassen. Sie gehen jedoch über den gesetzlich verpflichtenden Leistungsumfang hinaus und erfordern eine zusätzliche CLS-Komponente. Bei nativen MWA, wie dem „Energiemanagement“, ist dies inhärent und bei transzendenten MWA, etwa der „Verbrauchs-Analyse“, ausgestaltungsabhängig. [Ms23], [Bu21a], [Gä21] In der vorliegenden Arbeit wurden sieben native und zwei transzendente MWA im privaten Elektrizitätssektor aus dem Rahmenwerk „Geschäftsmodell-Framework Energiewirtschaft“ [Gi19] abgeleitet.

Um ein Geschäftsmodell, das auf einer solchen MWA basiert, zu bewerten, wurde die Methodik der „Segmentalen Geschäftsmodell-Evaluation“ (SGME) entwickelt. Diese basiert auf der technologiebasierten Kundensegmentierung, [Rö23] wobei die entscheidungsrelevanten quantitativen Kriterien segmental zu evaluieren sind. Anhand des maximalen monetären Kundennutzens, der Absatzpotenziale sowie dem sich multiplikativ daraus ergebenden Marktpotenzial können differenzierte Handlungsimplicationen abgeleitet werden.

Angewendet auf die MWA „Energiemanagement“ zeigten sich erhebliche Nutzendivergenzen der betrachteten Kundensegmente. Der höchste monetäre Kundennutzen ergibt sich mit 110 €/a für Prosumer mit Wärmepumpe, sofern diese über keinen Batteriespeicher verfügen. Der Kundennutzen entspricht dem maximal erzielbaren Preis. Die maximalen Gestehungskosten für Anbieter entsprechen dem zum Kauf notwendigen Netto-Kundennutzen abzüglich Marge und Steuern. Da der monetäre Kundennutzen bei den anderen Kundensegmenten größtenteils deutlich unter 50 €/a liegt, dürfte es schwierig sein, diese zu akquirieren und gleichzeitig die unternehmensseitigen Kosten zu decken. Das Marktpotenzial für diese MWA konnte in den betrachteten Kundensegmenten auf insgesamt

rund 329 Mio. €/a quantifiziert werden. Allein bei den relevanten Kundensegmenten mit WP liegt es bei insgesamt etwa 110 Mio. €/a. Das größte Potenzial für das Marktwachstum wird durch die Zunahme verbrauchsstarker Technologien wie Wärmepumpen getrieben. Eine Nachrüstung bestehender PV-Anlagen mit Batteriespeichern dürfte sich hingegen hemmend auf das Marktwachstum auswirken, da sich für diese infolge marginaler monetärer Einsparungen kaum Anreize durch die MWA „Energiemanagement“ ergeben.

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, wie die vorgestellte „Segmentale Geschäftsmodell-Evaluation“ zur Entscheidungsunterstützung bei der Vermarktung von MWA genutzt werden kann. Allerdings beschränkt sich die beispielhafte Analyse auf die beschriebenen Kundensegmente. Insbesondere Kundensegmente abseits von EH bedürfen zukünftig einer vertiefenden Analyse. Darüber hinaus kann die SGME auf weitere MWA angewendet und in für Anbieter relevante Prognoseszenarien bis zum Jahr 2030 überführt werden. Letzteres wird von den Autoren gegenwärtig bearbeitet.

Danksagung

Diese Arbeit wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des Projekts „eMpowerSYS – Aufbau einer Mehrwertplattform für die digitale Energiewende“ (Förderkennzeichen 03EI6074C).

Literaturverzeichnis

- [Ba13] Baum, H.-G.; Coenenberg, A. G.; Günther, T.: Strategisches Controlling. Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft Steuern Recht GmbH, Stuttgart, 2013.
- [BD24a] BDEW, <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/stromverbrauch-der-haushalte/>, Stand: 05.01.2024.
- [BD24b] BDEW, <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>, Stand: 24.03.2024.
- [Bo18] Bogensperger, A. et al.: Smart Meter - Umfeld - Technik - Mehrwert, München, 2018.
- [Bu21a] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Stufenmodell zur Weiterentwicklung der Standards für die Digitalisierung der Energiewende - Energiewirtschaftliche Anwendungsfälle, 2021.
- [Bu21b] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Technische Richtlinie BSI TR-03109-1 - Anforderungen an die Interoperabilität der Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems, Bonn, 2021.
- [Bu23a] Bundesnetzagentur: BK6-22-253. Positionspapier zu energiewirtschaftlich relevanten Mess- und Steuerungsvorgängen nach § 19 Absatz 2 MsbG, 2023.

- [Bu23b] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Technische Richtlinie BSI TR-03109-5. Kommunikationsadapter, Bonn, 2023.
- [Bu23c] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.: Branchenstudie 2023: Marktentwicklung - Prognose - Handlungsempfehlungen, Berlin, 2023.
- [Bu24] Bundesnetzagentur: Bestimmung der anzulegenden Werte für Solaranlagen für die Kalendermonate November 2022 bis Januar 2024. (Excel), 2024.
- [En24] Energiewirtschaftsgesetz. EnWG 2024.
- [Fo24] Forschungszentrum Jülich GmbH: Verbundvorhaben: eMpowerSYS – Aufbau einer Mehrwertplattform für die digitale Energiewende: Teilvorhaben Theben: Implementierung von Applikationen auf einem Mehrwertmodul für Smart Meter Gateways, <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=empowersys&v=10&id=10556926>, Stand: 30.03.2024.
- [Fr23] Frolova, K.; te Heesen, H.: Synthese von Wärmelastprofilen nach BDEW. (Excel), Hochschule Trier, 2023.
- [Gä21] Gährs, S. et al.: Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich. Abschlussbericht, Dessau-Roßlau, 2021.
- [Ge20] Germanus, N. et al.: Entwicklung eines generischen Bewertungsmodells für Geschäftsmodelle der Energiewirtschaft. Zeitschrift für Energiewirtschaft 4/44, S. 285–299, 2020.
- [Gi19] Giehl, J. F. et al.: Data Documentation - Vollaufnahme und Klassifikation von Geschäftsmodellen der Energiewende. Zenodo, 2019.
- [GN23] Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende. GNDEW, 2023.
- [Gü24] Günther, D. et al.: Abschlussbericht – Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“. Felduntersuchung optimal abgestimmter Wärmepumpenheizungssysteme in Bestandsgebäuden beim Betrieb im konventionellen sowie im intelligenten Stromnetz (Smart Grid), Freiburg, 2024.
- [Hä22] Häbig, P.; Hufendiek, K.: Business Model Language „Value Network“ für smarte Geschäftsmodelle: Fallstudie für eine Plattform zum Handel von Flexibilität. Zeitschrift für Energiewirtschaft 2/46, S. 87–106, 2022.
- [Hi14] Hillemacher, L.: Lastmanagement mittels dynamischer Strompreissignale bei Haushaltskunden. Diss., 2014.
- [Ho24] Hochschule Albstadt-Sigmaringen, <https://www.hs-albsig.de/forschungsdetailseite/empowersys/>, Stand: 24.03.2024.
- [Hu14] Hungenberg: Strategisches Management in Unternehmen. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2014.
- [Ka14] Kamper, A.: Dezentrales Lastmanagement zum Ausgleich kurzfristiger Abweichungen im Stromnetz. Diss., Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2014.

- [Ke20] Kepplinger, P. et al.: Autonomes Demand Side Management verteilter Energiespeicher. Ein Überblick über die Forschungsarbeiten der Forschungsgruppe "Energiesysteme und -komponenten" an der Fachhochschule Vorarlberg. e & i Elektrotechnik und Informationstechnik 1/137, S. 52–58, 2020.
- [Kl07] Klobasa, M.: Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten. Diss., Zürich, 2007.
- [Kn14] Knab, S.; Rohrbeck, R.; Konnertz, L.: Kooperative Geschäftsmodellentwicklung für systemische Nachhaltigkeitsinnovationen: Eine Fallstudie im deutschen Smart Energy-Markt. In (Schallmo, D. R. A. Hrsg.): Kompendium Geschäftsmodell-Innovation. Grundlagen, aktuelle Ansätze und Fallbeispiele zur erfolgreichen Geschäftsmodell-Innovation. Springer Gabler, Wiesbaden, Germany, S. 283–317, 2014.
- [Li23] Liesenklas, L.; te Heesen, H.: Synthese von Standardstromlastprofilen nach BDEW. (Excel), Hochschule Trier, 2023.
- [Ma24a] Marktstammdatenregister,
- [Ms23] Messstellenbetriebsgesetz. MsbG, 2023.
- [NV24] Norddeutscher Rundfunk; Verifox, <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Strompreis-aktuell-So-viel-kosten-die-Kilowattstunden,strompreis182.html>, Stand: 24.03.2024.
- [Rö23] Römer, D.; Salzgeber, J.: KfW-Energiewendebarmeter 2023. Energiewende im Spannungsfeld zwischen Handlungsbedarfen und finanziellen Möglichkeiten, Frankfurt am Main, 2023.
- [Sc14] Schallmo, D.R.A. Hrsg.: Kompendium Geschäftsmodell-Innovation. Grundlagen, aktuelle Ansätze und Fallbeispiele zur erfolgreichen Geschäftsmodell-Innovation. Springer Gabler, Wiesbaden, Germany, 2014.
- [Sh21] Shamon, H. et al.: Smart Energy in Haushalten. Technologien, Geschäftsmodelle, Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, 21.
- [Sm24a] Smard: Großhandelspreise DE/LU. (Excel), <https://www.smard.de/home/downloadcenter/download->

marktdaten/?downloadAttributes=%7B%22selectedCategory%22:3,%22selectedSubCategory%22:8,%22selectedRegion%22:%22DE-LU%22,%22selectedFileType%22:false,%22from%22:1672527600000,%22to%22:1704063599999%7D, Stand: 24.03.2024.

- [Sm24b] Smard: Realisierte Stromerzeugung DE/LU. (Excel),
<https://www.smard.de/home/downloadcenter/download-marktdaten/?downloadAttributes=%7B%22selectedCategory%22:1,%22selectedSubCategory%22:1,%22selectedRegion%22:%22DE-LU%22,%22selectedFileType%22:%22XLSX%22,%22from%22:1672527600000,%22to%22:1704063599999%7D>, Stand: 24.03.2024.
- [St23a] Statistisches Bundesamt: Wohnen in Deutschland. Zusatzprogramm des Mikrozensus 2022. (Excel), Wiesbaden, 2023.
- [St23b] Statistisches Bundesamt: Statistischer Bericht. Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR) - Private Haushalte und Umwelt - Berichtszeitraum 2000-2021. (Excel), Wiesbaden, 2023.
- [St24] Statistisches Bundesamt, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html>, Stand: 24.03.2024.
- [We23a] Weiss, M.-L.: Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Klimaschutz und Energie (25. Ausschuss), 2023.
- [We23b] Weniger, J. et al.: Stromspeicher-Inspektion 2023, Berlin, 2023.
- [Ze12] Zeilinger, F.; Einfalt, A.: Modell für hochauflösende synthetische Haushaltslastprofile. Conference Paper, Graz, 2012.

(Stand: März 2024)