

# **Sustainable Energy Systems Engineering**

**Ein gestaltungsorientierter Ansatz zur interdisziplinären Entwicklung  
nachhaltiger hybrider Leistungsbündel für die Energiewirtschaft**

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors  
der Wirtschaftswissenschaften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften  
der Universität Osnabrück

vorgelegt von

Lucas Hüer  
M. Sc. Supply Chain Management

Osnabrück, September 2022

Dekan: Prof. Dr. Frank Westermann

Referenten: Prof. Dr. Oliver Thomas  
Prof. Dr. Frank Teuteberg

Tag der Disputation: 14.09.2022

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	4
<b>Teil A – Dachbeitrag.....</b>	<b>5</b>
1 Ausgangssituation.....	6
2 Motivation und Zielsetzung.....	7
3 Einordnung.....	8
4 Methodik.....	9
4.1 Forschungsfragen und Erkenntnisinteresse.....	9
4.2 Methodenspektrum.....	11
4.3 Forschungsplan .....	13
5 Ergebnisse .....	14
5.1 Überblick.....	14
5.2 Zentrale Ergebnisse der Beiträge .....	15
5.3 Theoretische Implikationen.....	27
5.4 Praktische Implikationen.....	28
5.5 Limitationen .....	29
6 Zusammenfassung .....	30
7 Literatur .....	31
<b>Teil B – Einzelbeiträge .....</b>	<b>35</b>
Beitrag 1: Impacts of product-service systems on sustainability – a structured literature review.....	36
Beitrag 2: Der CO <sub>2</sub> -Kompass: Konzeption und Entwicklung eines Tools zur emissionsarmen Stromnutzung.....	37
Beitrag 3: Adapting the CO <sub>2</sub> -Compass architecture to further optimize data generation methods – enhancing CO <sub>2</sub> -emission forecasts by minimizing the area of observation .....	38
Beitrag 4: Developing innovative e-mobility solutions – photovoltaic carports as product-service systems .....	39
Beitrag 5: Managing interdisciplinary collaboration in product-service systems engineering: insights from a mixed-method analysis of a student project .....	40
Beitrag 6: Nachhaltigere Gestaltung der Energiewirtschaft – Entwicklung elektrotechnischer hybrider Leistungsbündel zur emissionsarmen Stromnutzung.....	41

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1.</b> <i>Forschungsplan inklusive Forschungsfragen</i> .....	13
<b>Abb. 2.</b> Leitfaden für interdisziplinäre Kollaboration in der PSS-Entwicklung.....	18
<b>Abb. 3.</b> Architektur des CO <sub>2</sub> -Kompasses.....	20
<b>Abb. 4.</b> Beispiel der transparenten Emissions-Darstellung .....	21
<b>Abb. 5.</b> Design des PSS-Prototypen eines PV-Carports.....	22
<b>Abb. 6.</b> Präsentation der Projektergebnisse am Ende der Projektwoche .....	24
<b>Abb. 7.</b> Möglichkeiten für die Energiewirtschaft: Der CO <sub>2</sub> -Kompass als Steuereinheit.....	26

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1.</b> Überblick über die publizierten Beiträge.....	14
<b>Tab. 2.</b> PSS-Charakteristika und deren Einflüsse auf die Nachhaltigkeit eines Unternehmens .....	16
<b>Tab. 3.</b> Factsheet Beitrag 1 .....	36
<b>Tab. 4.</b> Factsheet Beitrag 2 .....	37
<b>Tab. 5.</b> Factsheet Beitrag 3 .....	38
<b>Tab. 6.</b> Factsheet Beitrag 4 .....	39
<b>Tab. 7.</b> Factsheet Beitrag 5 .....	40
<b>Tab. 8.</b> Factsheet Beitrag 6 .....	41

## **Teil A – Dachbeitrag**

## 1 Ausgangssituation

Im zunehmend technologisierten 21. Jahrhundert ist eine stabile, resiliente und flexible Elektrizitätsversorgung von hoher Relevanz für die Durchführung lebenswichtiger und systemrelevanter Prozesse (Menski, Gardemann 2008; Schneemann et al. 2020). Zudem ist der „Zugang zu Elektrizität von wesentlicher Bedeutung, um Armut zu überwinden, das Wirtschaftswachstum und die Beschäftigungsmöglichkeiten zu fördern und die Bereitstellung sozialer Dienste wie Bildung und Gesundheitsversorgung zu unterstützen, die zu einer nachhaltigen menschlichen Entwicklung führen“ (Panos, Densing, Volkart 2016, S. 28). Diese gesellschaftliche Abhängigkeit von einer sicheren Elektrizitätsversorgung führt dazu, dass die Energiewirtschaft weltweit eine immer bedeutsamere Rolle einnimmt. Denn das Feld der Energiewirtschaft befasst sich unter anderem mit der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Nutzung von Energie; sie umfasst somit die gesamte Kette der Energiebereitstellung (Konstantin 2007; Dunkelberg, Hirschl, Hoffman 2011). Mit Blick auf die deutsche Energiewirtschaft wird deutlich, dass sie sich stetig an gesellschaftliche und politische Rahmenbedingungen anpassen muss; der Markt befindet sich folglich in einer kontinuierlichen Entwicklung. In der Vergangenheit wurde diese Entwicklung vor allem durch die Liberalisierung der Energiemärkte in den neunziger Jahren, den technologischen und gesellschaftlichen Wandel zur Informationsgesellschaft und die Energiewende geprägt (Steinbicker 2001; Hennicke, Fishedick 2007; Ridder 2011). Durch globale Trends, zu welchen beispielsweise der Klimawandel, die wachsende Erdpopulation oder auch der kontinuierlich steigende Energieverbrauch gehören, beschleunigen sich die Veränderungen und Ansprüche im Feld der Energiewirtschaft auch aktuell massiv. Hinzu kommen Probleme, die eine sich stetig wandelnde Gesetzeslage mit sich bringen. So rücken vor allem folgende Themen in den Mittelpunkt: die Abkehr von fossilen Energieträgern und eine zunehmende Nutzung erneuerbarer Energieträger in der Energieerzeugung, eine fortschreitende Dezentralisierung der Stromversorgung, eine Kopplung der Sektoren<sup>1</sup> sowie die Digitalisierung der Prozesse (Brauner 2016; Germanus et al. 2020).

Um die anhaltende Entwicklung der Energiewirtschaft bestmöglich zu unterstützen, müssen fortwährend innovative und nachhaltige Lösungsansätze entwickelt werden, die dem nationalen sowie dem globalen Wettbewerb standhalten. Diesbezüglich behandelten wissenschaftliche Forschungsartikel in den letzten Jahren vermehrt Möglichkeiten, um Geschäftsmodelle und Unternehmensprozesse nachhaltiger (Lüdeke-Freund 2010) und konkurrenzfähiger zu gestalten. Denn auf den zunehmend globalen Märkten wird eine Abgrenzung gegenüber Geschäftsmodellen der Konkurrenz aufgrund steigender Wettbewerbsintensität zur Notwendigkeit (Thomas et al. 2014). Ein vielversprechendes Konzept, mit Hilfe dessen dies erreicht werden soll, bietet die hybride Wertschöpfung (Gräßle, Thomas, Dollmann 2010). Zur Erstellung eines lösungsorientierten und kundenzentrierten Leistungsbündels verfolgt diese eine Integration aus Produktkomponenten und Dienstleistungen (Goedkoop 1999; Mont 2002; Tukker 2004). In existierender wissenschaftlicher Literatur werden die durch die hybride Wertschöpfung entstehenden Lösungsangebote

---

<sup>1</sup> Die Sektorenkopplung (Power-to-X-Technologie) beschreibt einen ganzheitlichen Ansatz, um die Sektoren der Energiewirtschaft und der Industrie (Elektrizitätsversorgung, Wärmeversorgung, Verkehr) zu verbinden und somit holistische Optimierungen zu erzielen. So stellt die Nutzung regenerativer „Überschussenergie durch Kopplung zu anderen Sektoren [...] eine Möglichkeit dar, diese Energie direkt mit hohen Wirkungsgraden zu nutzen oder kurz- und längerfristig in umgewandelter Energieform zu speichern“ (Brauner 2019, S. 225).

hauptsächlich hybride Leistungsbündel oder Product-Service Systems (PSS) genannt<sup>2</sup> (Thomas et al. 2010). Ein solches Leistungsbündel strebt danach, über die Integration diverser Produkt- und Dienstleistungskomponenten kundenzentrierte Lösungen anzubieten; ob die Kundenanforderungen über eine materielle Produktkomponente oder eine immaterielle Dienstleistung erfüllt werden, ist dabei irrelevant (Boehm, Thomas 2013). So vollziehen viele Unternehmen einen Wandel vom klassischen Produzenten hin zu einem Lösungsanbieter (Brenner 2011). Dieser Wandel verfügt über das Potenzial, die Nachhaltigkeit und Profitabilität eines Unternehmens zu steigern (Lüdeke-Freund 2010; Annarelli, Battistella, Nonino 2016). Die hybride Wertschöpfung bietet mit ihrer hohen Kundenfokussierung und ihren interdisziplinären Entwicklungsprozessen ein flexibles und nachhaltiges Geschäftsmodell, welches ideal für die komplexen Herausforderungen der zunehmend technisierten und automatisierten Industrie ist. Denn ein hoher Grad an Technologie und Digitalisierung sowie die Konnektivität verschiedener Systemteile erfordern oftmals eine Reihe von zugänglichen Dienstleistungen (Vandermerve, Rada 1988). Daher bietet die hybride Wertschöpfung auch für die zunehmend digitalisierte Energiewirtschaft ein vielversprechendes Konzept, mithilfe dessen sich innovative Geschäftsmodellierungen erreichen lassen.

## 2 Motivation und Zielsetzung

In den letzten Jahren haben immer mehr Unternehmen erkannt, dass sich Kunden vom „klassischen“ Kauf eines Produktes abwenden und stattdessen den Erwerb von Funktionen oder Lösungen bevorzugen (Laperche, Picard 2013; Reim et al. 2015). Denn Kunden haben häufig ein bestimmtes Problem, das nachhaltig gelöst werden soll. Infolgedessen bestehen immer mehr Angebote aus Produkten und Dienstleistungen, die gemeinsam eine personalisierte Lösung bieten und auf diese Weise den Anforderungen der Kunden entsprechen (Mont 2002). Auch in der sich stetig wandelnden Energiewirtschaft werden zunehmend nachhaltige, kundenorientierte und innovative Lösungsansätze gefordert. Um dies zu ermöglichen und gleichzeitig ein profitables Geschäftsmodell aufzubauen, ist es von größter Wichtigkeit, die Expertise verschiedener Disziplinen gewinnbringend zu kombinieren (von Weizsäcker, Lindenberger, Höffler 2016). Denn nur wenn alle Disziplinen, welche für die Lösungserbringung relevant sind, in die Entwicklung eingebunden werden, kann ein holistischer Lösungsansatz entstehen (Kolfshoten 2007). Die hybride Wertschöpfung bietet diesbezüglich einen vielversprechenden Ansatz: Indem zusätzlich zu bestehenden Produktkomponenten auch Dienstleistungen, wie unter anderem Simulations- oder Wartungsarbeiten, angeboten werden, können kundenspezifische und konfigurierbare Leistungen erbracht werden. Somit können die diversen Anforderungen der Kunden ganzheitlich erfüllt werden. Aufgrund der Komplexität integrierter Produkt- und Dienstleistungspakete sind jedoch neue Ansätze für die Entwicklung solcher Systeme erforderlich (Thomas et al. 2008). Neben der technischen Perspektive der materiellen (z. B. Photovoltaikanlage) und immateriellen (z. B. Wartungsprozess) Komponenten müssen so auch Aspekte wie die Entwicklung der Software und der Elektronik oder die Geschäftsmodellierung berücksichtigt werden. Die auf diese Weise entstehenden ganzheitlichen PSS-Lösungen gewinnen somit zunehmend an Komplexität.

Im Laufe dieses Promotionsvorhabens wurde die Einbindung hybrider Leistungsbündel in die Energiewirtschaft erforscht, indem drei PSS-Prototypen interdisziplinär entwickelt

---

<sup>2</sup> Auch in der vorliegenden Dissertation werden die Begriffe „hybrides Leistungsbündel“ und „Product-Service System (PSS)“ synonym verwendet.

wurden.<sup>3</sup> Die entstandenen hybriden Leistungsbündel zeichnen sich besonders durch individuellen Kundenfokus, Nachhaltigkeit und modulare, interdisziplinäre Gestaltung aus (Mont 2002; Tukker 2004; Kolfshoten 2007). Um die verschiedenen Charakteristika hybrider Leistungsbündel zu gewährleisten und gleichzeitig profitable Geschäftsmodelle aufzustellen, müssen vor allem die mechatronischen, elektrotechnischen, informationstechnischen und wirtschaftlichen Disziplinen eng zusammenarbeiten (von Weizsäcker, Lindenberg, Höffler 2016). Die vorliegende Dissertation untersucht erstmalig die interdisziplinäre Entwicklung nachhaltiger hybrider Leistungsbündel in der Energiewirtschaft und gibt diesbezüglich gestaltungsorientierte Ansätze anhand der bereits erwähnten drei Prototypen, welche als Anwendungsbeispiele dienen: der CO<sub>2</sub>-Kompass, das PV-Carport sowie die mobile und autarke Ladesäule. So soll dem Leser der Entwicklungsprozess hybrider Leistungsbündel im Kontext der Energiewirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Aspekte „Nachhaltigkeit“ und „interdisziplinäre Kollaboration“ schrittweise nähergebracht werden.

### 3 Einordnung

Die vorliegende Dissertation kann den beiden Forschungsfeldern der hybriden Wertschöpfung sowie der Energiewirtschaft gleichermaßen zugeordnet werden und platziert sich somit in der übergeordneten Forschungsdisziplin der Wirtschaftswissenschaften<sup>4</sup>; zusätzlich liefert sie durch ihren interdisziplinären Ansatz Erkenntnisse für weitere Forschungsdisziplinen<sup>5</sup>. In einem gestaltungsorientierten Forschungsansatz wurden im Laufe dieser Arbeit zwei übergeordnete Ansätze verfolgt (Thomas 2006, S. 14), um realweltliche Probleme aus einer Nutzerperspektive zu lösen (*partizipativer Ansatz*) und die Problemlösungen durch den Einsatz von Prototypen zu testen sowie umzusetzen (*prototypischer Ansatz*). Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf den drei interdisziplinär entwickelten PSS-Prototypen und der Frage, wie diese nachhaltigen hybriden Leistungsbündel von Nutzen für die Energiewirtschaft und alle relevanten Stakeholdern sein können. Im Folgenden wird kurz erläutert, wie sich die hybride Wertschöpfung in die existierenden Forschungserkenntnisse und Marktstrukturen der Energiewirtschaft einordnen lässt und welcher Mehrwert dadurch generiert werden kann.

Die deutsche Energiewirtschaft umfasst jenen Wirtschaftszweig, der die gesamte Wertschöpfungskette der Energiebereitstellung – also die Energieerzeugung, -übertragung, -verteilung und -nutzung – betrachtet (Konstantin 2007; Dunkelberg, Hirschl, Hoffman 2011). Die Energieerzeugung kann dabei aus verschiedenen konventionellen oder regenerativen Primärenergieträgern (Kohle, Gas, Öl, Uran, Wind, Sonne etc.) erfolgen. Anschließend können diese in der Natur vorkommenden Ressourcen über Umwandlungsprozesse zu Sekundärenergieträgern gewandelt werden und für den Verkehr, für die Wärmeversorgung oder als elektrische Energie nutzbar gemacht werden. Zu diesen nutzbaren Energien zählen unter anderem Diesel und Strom (Würfel 2015).<sup>6</sup> Das deutsche Stromnetz greift demnach auf

---

<sup>3</sup> Die drei Prototypen (CO<sub>2</sub>-Kompass, PV-Carport und die mobile, autarke Ladesäule) werden in Kapitel 5.2 vorgestellt.

<sup>4</sup> Diese Einordnung findet statt, da sich beide Forschungsfelder mit dem rationalen Umgang begrenzter Ressourcen auseinandersetzen, was auch als zentraler Gegenstand der Wirtschaftswissenschaften gilt (Franz 2004).

<sup>5</sup> Hierzu gehören hauptsächlich folgende Disziplinen: Elektrotechnik, Informatik, Mechatronik und Wirtschaftsinformatik (siehe Kapitel 5.1.2).

<sup>6</sup> Im Rahmen dieses Promotionsvorhabens wird besonders der Stromsektor betrachtet.



viele verschiedene Stromproduktionsarten zurück, welche sich nicht nur in ihrem Wirkungsgrad und ihrer Wirtschaftlichkeit unterscheiden, sondern auch verschiedene Emissionswerte pro gewandelter Energie (z. B. pro erzeugter Kilowattstunde Strom) aufweisen. Das Umweltbundesamt erkannte bereits vor zehn Jahren, welche Herausforderungen mit den durch die Stromerzeugung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen einhergehen, und mahnte in einem Themenblatt, die Energiewirtschaft müsse „zukünftig nicht nur durch die Reduktion der Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre einen eigenen Beitrag zum Klimaschutz leisten, sondern sich auch an bevorstehende und bereits eintretende Klimaänderungen anpassen“ (UBA 2011, S. 2). Zusätzlich zu dieser Herausforderung kommen nicht nur die voranschreitenden Megatrends Energiewende und Digitalisierung auf die Energiewirtschaft zu, sondern auch der notwendige Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze, die zunehmende Integration von Elektromobilität oder die Entwicklung effizienter Speichermedien. In Anbetracht dieser Umstände wird eine zuverlässige, resiliente, effiziente und nachhaltige Energiebereitstellung immer wichtiger, um auf Diskrepanzen in Stromangebot und -nachfrage effektiv reagieren zu können. Die Energiebereitstellung wird allerdings mit einer kontinuierlich ansteigenden Anzahl an dezentralen Energieerzeugern, wie PV- oder Windkraftanlagen, stetig komplexer. Aus diesem Grund gewinnen innovative Möglichkeiten zur Steuerung und Optimierung des Stromnetzes an Bedeutung, sodass Industrie- und Entwicklungsländer in den Ausbau ihrer derzeitigen Netzinfrastrukturen und in den Bau intelligenter Netze investieren (Gungor et al. 2011; Fadaeenejad et al. 2014). Ein besonderes Augenmerk muss laut Gähns et al. (2016) auf die sogenannten Prosumer gelegt werden, welche durch eigene dezentrale Energiequellen nicht nur Konsumenten, sondern auch Anbieter von Strom sind: „Die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen, [...] die sich auf Dienste und Unterstützung für den Prosumer konzentrieren, steht noch am Anfang. Es existieren zwar eine Reihe von einzelfallbezogenen Untersuchungen im Bereich der Haushalte – beispielsweise zu den Themen E-Mobilität, Smart Metering/Homes, Verbrauchsverhalten – nach wie vor besteht jedoch großer Forschungsbedarf zu den neueren technischen und marktwirtschaftlichen Entwicklungen, in denen der private Haushalt potenziell eine wichtige Rolle für das Energiesystem spielen könnte, wie beispielsweise PV-Eigenverbrauch, [...] Demand-Side-Management etc.“ (S. 5) Genau hier setzt die vorliegende Dissertation an, indem sie innovative Geschäftsmodelle im Kontext der hybriden Wertschöpfung für die Energiewirtschaft vorstellt und deren interdisziplinäre Entwicklung beleuchtet. Denn insbesondere im Bereich der elektrischen Energietechnik gibt es hohe Potenziale, um innovative und nachhaltige Lösungsansätze für die gesamte Energieversorgungskette zu entwickeln.

## **4 Methodik**

### **4.1 Forschungsfragen und Erkenntnisinteresse**

Im Sinne der kumulativen Promotion führen anstatt einer eigenständigen Dissertationsschrift (Monographie) einzelne zusammenhängende wissenschaftliche Publikationen zum Erkenntnisgewinn über das Forschungsthema (Peters 2012). Die Forschung innerhalb dieses Promotionsvorhabens ist so strukturiert, dass sechs wissenschaftliche Beiträge aufeinander aufbauen, indem die einzelnen Forschungsfragen der jeweiligen Artikel als Teilfragen dieser Dissertation dienen. Die Beantwortung der Teilfragen unterstützt im Umkehrschluss die Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage. Der angestrebte Erkenntnisgewinn dieses Promotionsvorhabens besteht in der Untersuchung nachhaltiger hybrider Leistungsbündel für die Energiewirtschaft und deren interdisziplinärer Entwicklung. Um den Erkenntnisstand auf diesem Gebiet zu erweitern, werden drei gestaltungsorientierte

Anwendungsbeispiele vorgestellt. Während der Forschungsphase entstanden diese drei Anwendungen in Form innovativer Prototypen für die Energiewirtschaft. Die Entwicklung geschah in interdisziplinärer Kollaboration und im Kontext der hybriden Wertschöpfung. Nun gilt es, die praktischen Implikationen der Entwicklung sowie die theoretischen Implikationen der begleitenden Forschung zu analysieren und zu präsentieren, mit dem Ziel, die folgende übergeordnete Kernforschungsfrage (FF) zu beantworten:

**FF:** *Wie können nachhaltige hybride Leistungsbündel für die Energiewirtschaft entwickelt und eingesetzt werden?*

Um die übergeordnete Forschungsfrage adäquat zu beantworten, wurden in sechs wissenschaftlichen Beiträgen weitere Teilfragen aufgestellt und bearbeitet. Die Beantwortung dieser Teilfragen soll einen Beitrag leisten, herauszufinden, wie die Energiewirtschaft von der Entwicklung nachhaltiger hybrider Leistungsbündel profitiert und in welchem Maße eine interdisziplinäre Kollaboration als Grundstein für eine solche Entwicklung angesehen werden kann. Zunächst wird in der ersten Teilforschungsfrage (FF 1) ein Blick auf bisherige wissenschaftliche Erkenntnisse zum Thema Product-Service Systems und deren Nachhaltigkeit geworfen:

*FF 1: Welche Einflussfaktoren werden in existierenden wissenschaftlichen Publikationen als relevant angesehen, um eine höhere Nachhaltigkeit durch Product-Service Systems zu schaffen?*

Durch Beantwortung dieser ersten Teilforschungsfrage wird eine wissenschaftliche Grundlage für die weitere Bearbeitung des Themas geschaffen. Aufbauend auf dieser Grundlage befassen sich die folgenden Teilbeiträge mit der Entwicklung von drei PSS-Prototypen für die Energiewirtschaft. Diesbezüglich wurde eine übergeordnete Teilforschungsfrage (FF 2) aufgestellt, die sich in drei praxisorientierte Fragen (FF 2.1 – FF 2.3)<sup>7</sup> zu den jeweiligen Prototyp-Entwicklungen gliedern lässt:

*FF 2: Welche Möglichkeiten bestehen, um im Kontext der hybriden Wertschöpfung Prototypen für die Energiewirtschaft zu entwickeln und zu optimieren?*

Die Erkenntnisse, die aus den Anwendungsbeispielen hervorgehen, werden in den abschließenden zwei Teilforschungsfragen (FF 3 und FF 4) aufgegriffen, sodass erläutert werden kann, wie interdisziplinäre Kollaboration im Allgemeinen für die Entwicklung hybrider Leistungsbündel eingesetzt werden kann und wie die drei Anwendungsbeispiele im Speziellen als effiziente Lösungsbündel für die Energiewirtschaft dienen:

*FF 3: Welche Faktoren beeinflussen die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung eines hybriden Leistungsbündels?*

*FF 4: Wie können hybride Leistungsbündel in die bestehenden Prozesse der Energiewirtschaft integriert werden, um diese nachhaltiger zu gestalten?*

---

<sup>7</sup> Siehe Forschungsplan in Kapitel 4.3 für die einzelnen praxisorientierten Fragen.

## 4.2 Methodenspektrum

Damit die in Kapitel 4.1 vorgestellten Forschungsfragen adäquat beantwortet und somit Erkenntnisse zur Entwicklung und zum Einsatz hybrider Leistungsbündel in der Energiewirtschaft generiert werden können, wurden verschiedene quantitative und qualitative Forschungsmethoden kombiniert, was sich laut Mayring (2001) als „notwendig und sinnvoll“ (vgl. S. 3) erweist. Entsprechend wurde beispielsweise für den Beitrag B5 (siehe Kapitel 4.3) ein sogenannter Mixed-Methods-Ansatz verwendet (Johnson, Onwuegbuzie 2004), im Rahmen dessen Daten und Informationen aus Fragebögen, semi-strukturierten Interviews, Shadowing und einer Literaturrecherche gewonnen wurden. Zusätzlich zu diesen vier Forschungsmethoden aus dem Mixed-Methods-Ansatz führten eine Regressionsprognose und eine Lebenszyklus-Analyse in Kombination mit einer sekundären Marktforschung zu weiteren wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnen. Für die Prototypentwicklung wurde hauptsächlich der Scrum-Ansatz verfolgt. Die einzelnen Forschungsmethoden werden im Folgenden kurz vorgestellt. Eine detailliertere Ausführung der jeweiligen Methoden kann in den einzelnen Beiträgen gefunden werden.

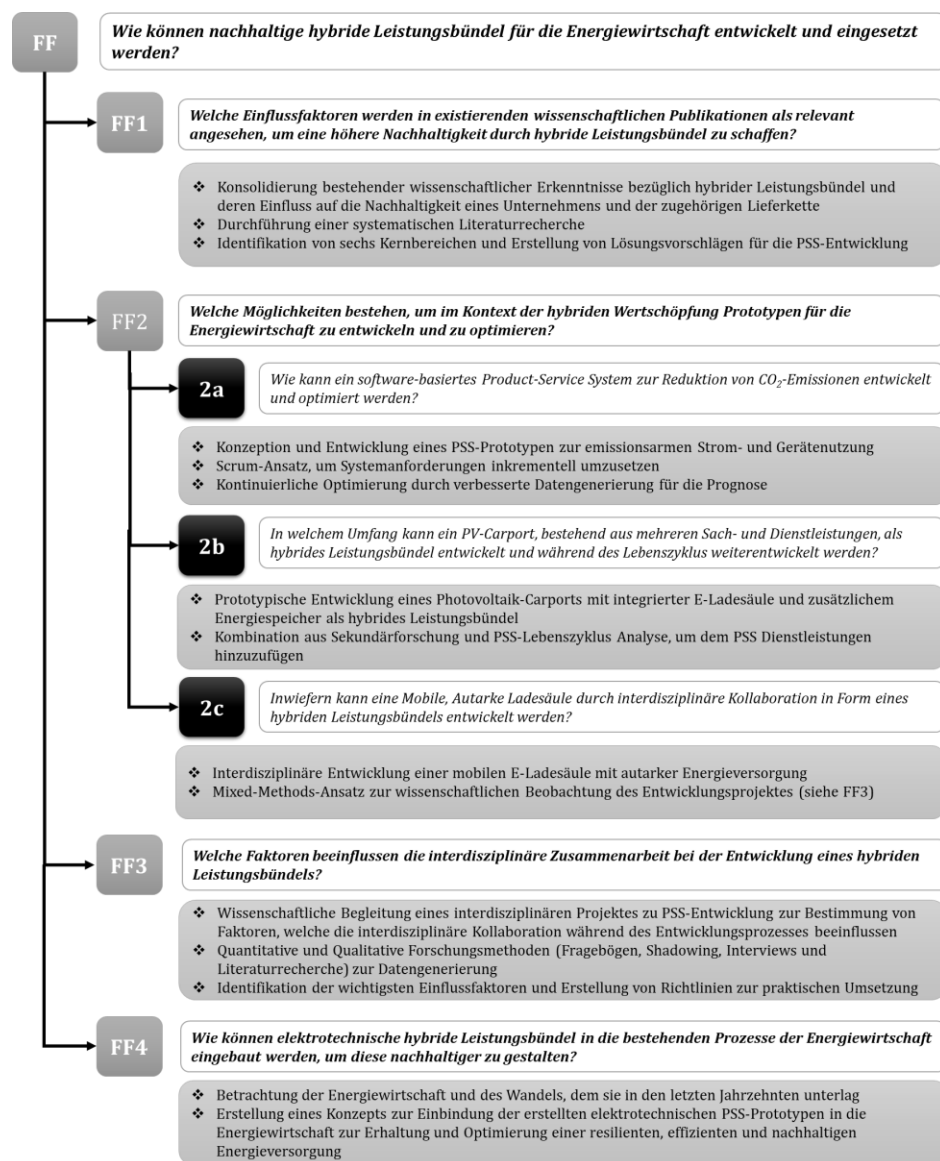
- **Literaturrecherche:** Eine systematische, strukturierte Literaturrecherche diente als Startpunkt aller vorliegenden Forschungsergebnisse. So wurde ein Wissensfundament, auf welchem die weitere Arbeit und die daraus resultierenden wissenschaftlichen Ergebnisse aufbauen, erstellt und kontinuierlich erweitert. Um alle relevanten wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu berücksichtigen, werden die Recherchen nach dem Ansatz von Webster und Watson (2002) durchgeführt. Bei diesem Ansatz werden in einem ersten Schritt geeignete Schlüsselwörter ermittelt, die zu einer äußerst breiten, aber relevanten Reihe von Ergebnissen führen. Nachdem die Schlüsselwörter festgelegt sind, werden führende Zeitschriften und Konferenzberichte über Online-Datenbanken durchsucht. Die anfänglich große Anzahl der erhaltenen wissenschaftlichen Publikationen wird darauffolgend in einzelnen Schritten minimiert. So werden zunächst alle Duplikate entfernt, bevor die Titel und Abstracts auf Relevanz überprüft werden. Die übrig gebliebenen Artikel werden nach ausführlichen Textanalysen weiter gefiltert. Zum Schluss stehen nach einer ergänzenden Vorwärts- und Rückwärtsanalyse der Referenzlisten alle Artikel fest, die für das Thema relevant sind. Die Informationen aus den Artikeln werden anschließend mit Hilfe verschiedener Methoden analysiert. Eine dieser Methoden besteht in der Inhaltsanalyse nach Mayring (2010), welche durch einen Reduktionsprozess (paraphrasieren, generalisieren, reduzieren) einzelne Konzepte konsolidiert.
- **Semi-strukturierte Interviews:** Mit Hilfe der qualitativen Forschungsmethode semi-strukturierter Interviews (Myers, Newman 2007) wurden in dieser Arbeit Projektteilnehmer einer PSS-Entwicklung zur interdisziplinären Kollaboration befragt. In diesem Projekt wurde die mobile, autarke Ladesäule als hybrides Leistungsbündel in Zusammenarbeit diverser Disziplinen entwickelt. Die Interviews wurden außerhalb der zugewiesenen Projektzeit durchgeführt und haben den Prozess daher nicht gestört. Sie folgten einer losen Richtlinie, um vergleichbare Ergebnisse erzielen zu können. Auf diese Weise wurde die Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen erörtert. Die Ergebnisse wurden transkribiert und in einer Matrix protokolliert, sodass alle erkannten Wechselwirkungen zwischen den Disziplinen dokumentiert werden konnten.

- **Beobachtung / Shadowing:** Zusätzlich zu den Interviews wurde die Projektarbeit zur PSS-Entwicklung von zwei Wissenschaftlern aus den Bereichen Electrical Engineering und Service Engineering beobachtet und dokumentiert. Die Methode des Shadowings wurde hierbei von beiden Wissenschaftlern kontinuierlich und unabhängig voneinander durchgeführt. Shadowing kann als Teilnehmerbeobachtung bezeichnet werden (Myers 2009) und ermöglicht die Dokumentation von Daten während eines Ereignisses, ohne dieses zu beeinflussen.
- **Fragebögen:** Im gleichen Projekt wurden den Teilnehmern zudem zwei Fragebögen vorgelegt (vor und nach dem Projekt), in denen demografische Daten, allgemeine Erwartungen / Bewertungen der interdisziplinären Zusammenarbeit und eine Bewertung der Erfahrungen aus dem Projekt abgefragt wurden. Der Vorteil der Fragebögen bestand darin, dass standardisierte quantitative Ergebnisse geliefert wurden, die im Laufe der Zeit miteinander verglichen werden konnten (Oates 2006). Die Fragebögen waren ein wichtiger Ausgangspunkt und ein zentrales Element für die explorative Untersuchung der Faktoren, welche die interdisziplinäre Zusammenarbeit beeinflussen.
- **Regressionsprognose:** Um die Relevanz innovativer Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge aufzuzeigen, wurde eine Prognose über das erwartete Marktwachstum von Elektrofahrzeugen erstellt und mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen. Diese Prognose wurde unter Verwendung exponentieller, linearer, logarithmischer Potenz- und Polynomregressionen durchgeführt, um Trends basierend auf historischen Zahlen darzustellen. Der Bestimmungskoeffizient ( $R^2$ ) wurde verwendet, um einen Hinweis darauf zu geben, wie gut die historischen Daten durch die vorhergesagten Regressionen dargestellt werden (Draper, Smith 2014).
- **Lebenszyklus-Analyse durch Sekundärforschung:** Eine Sekundärforschung besteht aus der Erfassung, Zusammenstellung und Auswertung bereits vorhandener Daten über interne und externe Informationsquellen (Meffert 1986). Im Kontext der vorliegenden Dissertation wurde die Sekundärforschung als Mittel zur Untersuchung eines Marktes verwendet, um jene Unternehmen zu identifizieren, die bereits einen PV-Carport oder Teile davon herstellen oder verkaufen. So sollten existierende Serviceangebote zur Unterstützung eines PV-Carports aufgedeckt werden. Laut Meffert (1986) können externe Quellen wie Kataloge, Geschäftsberichte oder Zeitschriften einen guten Überblick über die bestehenden Sortimente konkurrierender Unternehmen innerhalb eines Marktes liefern. Die hierbei erlangten Informationen bezüglich existierender Serviceangebote wurden anschließend im PSS-Lebenszyklusmodell nach Wiesner et al. (2015) den einzelnen Lebenszyklus-Phasen zugeordnet.
- **Prototypische Entwicklung:** Die Entwicklung von Prototypen („Prototyping“) nimmt einen zentralen Punkt dieser Arbeit ein, da im Laufe des Promotionsvorhabens die Gestaltung dreier hybrider Leistungsbündel für die Energiewirtschaft entstanden ist. In interdisziplinärer Kollaboration wurden der CO<sub>2</sub>-Kompass, das PV-Carport und die mobile, autarke Ladesäule als Product-Service Systems entworfen und entwickelt. Zur Erstellung der Prototypen wurde hauptsächlich der Scrum-Ansatz verwendet. Mit Hilfe dieses Ansatzes (Schwaber 1997) werden funktionelle und nichtfunktionelle Systemanforderungen an die Prototypen in einem „Product Backlog“ erstellt. Die Systemanforderungen werden anhand von Experteninterviews aufgestellt. Während der Entwicklungsphase (Sprintphase) werden zugehörige Arbeitspakete bearbeitet, beurteilt und

vervollständigt. Anschließend wird der Prototyp evaluiert und das nächste Arbeitspaket gestartet, bis die Entwicklung des Prototyps inkrementell fertiggestellt wurde. Die agile Softwareentwicklungsmethode Scrum bietet den Vorteil, dass die Produktivität der Teamarbeit durch gemeinsame Zielsetzung, Definition von Teilaufgaben und Transparenz des Projektfortschritts verbessert wird (Gloger 2010). Aufbauend auf der prototypischen Entwicklung fanden Optimierungsmaßnahmen statt, um die hybriden Leistungsbündel kontinuierlich zu verbessern. Beispiele hierfür sind der zunehmend modulare Aufbau des CO<sub>2</sub>-Kompasses sowie eine verbesserte Datengenerierung für die CO<sub>2</sub>-Prognose durch eine zusätzliche Betrachtung von lokalen Datenquellen.

### 4.3 Forschungsplan

Aufbauend auf den in Kapitel 4.1 beschriebenen Forschungsfragen wird im Folgenden ein Forschungsplan vorgestellt, welcher die einzelnen Forschungsschritte erläutert.



**Abb. 1.** Forschungsplan inklusive Forschungsfragen

Die separate Betrachtung der Forschungsschritte spiegelt den sukzessiven Aufbau der Forschungsergebnisse wider und folgt somit der Analogie des menschlichen Problemlöseverhaltens (Thomas 2009), bei dem schrittweise vorgegangen wird, um Teilprobleme nacheinander zu lösen. Im Rahmen dieser Dissertation wurde zunächst eine wissenschaftliche Grundlage zum Thema der hybriden Wertschöpfung in Bezug auf Nachhaltigkeit geschaffen. Aufbauend auf diesem erlangten Verständnis wurden in interdisziplinärer Kollaboration drei Prototypen als hybride Leistungsbündel entwickelt und kontinuierlich optimiert. Anschließend wurde analysiert, welche Faktoren eine interdisziplinäre Kollaboration in der PSS-Entwicklung beeinflussen und wie die erstellten hybriden Leistungsbündel nachhaltig in bestehende Prozesse der Energiewirtschaft eingebaut werden können. Mit Hilfe der jeweiligen Methodiken konnten die Forschungsschritte bearbeitet werden. Die Ergebnisse dieser Bearbeitung werden in Kapitel 5 vorgestellt. Der Großteil der Forschungsergebnisse entstand im Forschungsprojekt des niedersächsischen Innovationsverbunds SmartHybrid<sup>8</sup>.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Überblick

Im Laufe der Forschungsarbeit, in welche sich die vorliegende Dissertation einreicht, wurden insgesamt 16 wissenschaftliche Beiträge (B1 – B16) veröffentlicht. Von diesen Beiträgen dienen sechs (B1 – B6) explizit als Grundlage für die Promotionsleistung:

**Tab. 1.** Überblick über die publizierten Beiträge

#	Publikationsorgan	Medium	Ranking		Bibliographische Informationen	FF
			WK WI	VHB JQ3		
B1	10 <sup>th</sup> CIRP Conference on Industrial PSS, IPS2 2018, Linköping	Tagung	-	-	Hüer, L.; Hagen, S.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2018): <i>Impacts of product-service systems on sustainability—a structured literature review</i> . <i>Procedia CIRP</i> , 73, S. 228–234.	1
B2	Lecture Notes in Informatics (LNI) Proceedings; INFORMATIK 2019 Konferenz, Kassel	Tagung	B	C	Hüer, L.; Stadie, N.; Hagen, S.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2019): <i>Der CO<sub>2</sub>-Kompass: Konzeption und Entwicklung eines Tools zur emissionsarmen Stromnutzung</i> . In: David, K., Geihs, K., Lange, M.; Stumme, G. (Hrsg.): <i>INFORMATIK 2019: 50 Jahre Gesellschaft für Informatik – Informatik für Gesellschaft</i> . Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 85, S. 559–570.	2
B3	ICONS 2020: The Fifteenth International Conference on Systems	Tagung	-	-	Hüer, L.; Pfisterer, H.J.; Fischer, H.; Lawrenz, S.; Thomas, O. (2020): <i>Adapting the CO<sub>2</sub>-Compass Architecture to Further Optimize Data Generation Methods</i> . <i>ICONS 2020</i> , 15, S. 78–83.	2
B4	International Journal of Product Lifecycle Management	Journal	-	C	Hüer, L.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2020): <i>Developing Innovative E-Mobility Solutions – Photovoltaic Carports as Product-Service Systems</i> . <i>International Journal of Product Lifecycle Management (IJPLM)</i> , 12 (4), S. 269–285.	2
B5	International Journal of Product Development	Journal	-	C	Hüer, L.; Hagen, S.; Pfisterer, H.J.; Thomas, O. (2020): <i>Managing interdisciplinary collaboration in product-service systems engineering: insights from a mixed-method analysis of a student project</i> . <i>International Journal of Product Development (IJPD)</i> , 24 (4), S. 320–345.	3
B6	SmartHybrid Abschlussband: Hybride Wertschöpfung in der digitalen Transformation	Buchband	-	-	Hüer, L.; Fischer, H.; Pfisterer, H.J.; Thomas, O. (2021, im Druck): <i>Nachhaltigere Gestaltung der Energiewirtschaft – Entwicklung elektrotechnischer hybrider Leistungsbündel zur emissionsarmen Stromnutzung</i> . In: Thomas, O.; Kammler, F. (Hrsg.): <i>Hybride Wertschöpfung in der digitalen Transformation – Kundenzentrierte Lösungsangebote integriert entwickeln</i> . Springer, Berlin.	4

<sup>8</sup> Für mehr Informationen zum Innovationsverbund und zu den darin entstandenen Ergebnissen siehe: <https://smarthybrid.digital/>

#	Publikationsorgan	Medium	Ranking		Bibliographische Informationen	FF
			WK WI	VHB JQ3		
B7	Arbeitsbericht Nr.1 SmartHybrid – Hybride Leistungsbündel für die Industrie 4.0	Arbeits- bericht	-	-	Pfisterer, J.; Hüer, L. (2019): <i>Hybride Wertschöpfung als Chance zur kontinuierlichen Verbesserung von Energie- und Antriebssystemen</i> . Hybride Leistungsbündel für die Industrie 4.0, Osnabrück, Living Lab BPM e.V., S. 21–24.	4
B8	Arbeitsbericht Nr.2 SmartHybrid – Entwick- lung hybrider Lösungsan- gebote	Arbeits- bericht	-	-	Hüer, L.; Hagen, S.; Schoormann, T. (2019): <i>Welche Faktoren beeinflussen interdisziplinäre Kooperationen? Entwicklung hybrider Lösungsangebote</i> , Osnabrück, Living Lab BPM e.V., S. 11–14.	3
B9	Arbeitsbericht Nr.2 SmartHybrid – Entwick- lung hybrider Lösungsan- gebote	Arbeits- bericht	-	-	Schoormann, T.; Hagen, S.; Hüer, L. (2019): <i>Software-gestützte Entwicklung und Umsetzung von hybriden Geschäftsmodellen</i> . Entwicklung hybrider Lösungsangebote, Osnabrück, Living Lab BPM e.V., S. 33–36.	2
B10	Arbeitsbericht Nr.3 SmartHybrid – Innovative Anwendungsbeispiele	Arbeits- bericht	-	-	Hüer, L.; Fischer, H.; Hagen, S. (2020): <i>Mit dem CO<sub>2</sub>-Kompass zu intelligenten Leistungsbündeln in der Energiewirtschaft</i> . Innovative Anwendungsbeispiele, Osnabrück, Living Lab BPM e.V., S. 7–10.	2
B11	Arbeitsbericht Nr.3 SmartHybrid – Innovative Anwendungsbeispiele	Arbeits- bericht	-	-	Hüer, L. (2020): <i>Photovoltaik-Carports als innovatives Lösungssystem für die Elektromobilität</i> . Innovative Anwendungsbeispiele, Osnabrück, Living Lab BPM e.V., S. 11–14.	2
B12	Arbeitsbericht Nr.3 SmartHybrid – Innovative Anwendungsbeispiele	Arbeits- bericht	-	-	Hüer, L.; Hagen, S. (2020): <i>Energieversorgung-as-a-Service: Die mobile Ladesäule</i> . Innovative Anwendungsbeispiele, Osnabrück, Living Lab BPM e.V., S. 15–18.	2
B13	Arbeitsbericht Nr.3 SmartHybrid – Innovative Anwendungsbeispiele	Arbeits- bericht	-	-	Schoormann, T.; Hagen, S.; Hüer, L.; Richter, T. (2020): <i>Prozessorientierte Gestaltung von Geschäftsmodellen Anwendung eines digitalen Werkzeugs in der Elektromobilität</i> . Innovative Anwendungsbeispiele, Osnabrück, Living Lab BPM e.V., S. 19–22.	2
B14	Smart Glasses	Buchband	-	-	Hüer, L.; Zobel, B.; Birkel, H.; Thomas, O. (2020): <i>State-of-the-Art von Smart Glasses zur Unterstützung von Logistikprozessen</i> . In: Thomas, O.; Ickerott, I. (Hrsg.): <i>Smart Glasses</i> . Springer Gabler, Berlin, Heidelberg. S. 51–68.	
B15	Nachhaltiger Konsum	Buchband	-	-	Dethloff, A.; Hüer, L.; Griese, K.M.; Franz, M. (2021): <i>Flächensparende Logistik als Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung am Beispiel der Waldbach Fulfillment Logistik e. K.</i> In: Wellbrock, W.; Ludin, D. (Hrsg.): <i>Nachhaltiger Konsum</i> . Springer Gabler, Wiesbaden. S. 645–658.	
B16	Standort – Zeitschrift für Angewandte Geographie	Journal	-	-	Kotzold, D.; Hüer, L.; Griese, K.M.; Franz, M. (2021): <i>Flächensparen in der Planung von Logistikimmobilien</i> . Standort – Zeitschrift für Angewandte Geographie, 45 (3).	

## 5.2 Zentrale Ergebnisse der Beiträge

### 5.2.1 Nachhaltige Product-Service Systems und deren Entwicklung durch interdisziplinäre Kollaboration

Die zunehmende Ausbeutung natürlicher, endlicher Ressourcen ist ein Hauptgrund für viele soziale, wirtschaftliche und ökologische Probleme. Aus diesem Grund hat sich Nachhaltigkeit in den letzten Jahren zu einem der wichtigsten Themen der globalen Gesellschaft entwickelt. Dies gilt nicht nur für Regierungen, die Bevölkerung oder gemeinnützige Organisationen, sondern auch für produzierende Unternehmen und ihre Stakeholder (European Commission 2011). Daher behandeln aktuelle Forschungsprojekte Möglichkeiten, das Thema Nachhaltigkeit stärker in Geschäftsmodelle zu integrieren (Lüdeke-Freund 2010). Ein viel diskutiertes und vielversprechendes nachhaltiges Geschäftsmodell wird durch die Integration von Produkten und Dienstleistungen in ein marktfähiges hybrides Leistungsbündel erzielt, auch Product-Service Systems (PSS) genannt (Lelah et al. 2014). Um eine wissenschaftliche Grundlage über existierende Forschungsbeiträge zum Thema hybride Wertschöpfung zu generieren und gleichzeitig herauszufinden, welche Faktoren relevant

sind, um eine höhere Nachhaltigkeit durch PSS zu schaffen, wurde zu Beginn dieses Promotionsvorhabens eine systematische Literaturrecherche erstellt und veröffentlicht.<sup>9</sup> In diesem Rahmen wurde die Definition von Mont (2002) aufgegriffen, nach welcher ein PSS wie folgt definiert wird: „Ein System bestehend aus Produkten, Dienstleistungen, unterstützenden Netzwerken und Infrastrukturen, das so konzipiert ist, dass es wettbewerbsfähig ist, Kundenbedürfnisse befriedigt und eine geringere Umweltbelastung aufweist als herkömmliche Geschäftsmodelle“ (S. 3). Inwiefern eine solche, in der Definition erwähnte, geringere Umweltbelastung tatsächlich durch hybride Wertschöpfung erreicht werden kann und welche wissenschaftlichen Erkenntnisse hierzu bereits existieren, wurde in einer systematischen Literaturanalyse nach Webster und Watson (2002) recherchiert.<sup>10</sup>

**Tab. 2.** PSS-Charakteristika und deren Einflüsse auf die Nachhaltigkeit eines Unternehmens (siehe Hüer et al. 2018 für mehr Informationen und Quellenangaben)

PSS-Charakteristik	Definition	Positive (+) und negative (-) Einflüsse auf die Nachhaltigkeit
<b>Substitution</b>	Die Substitution von Produktkomponenten durch Dienstleistungen. Ein solcher Ersatz ist bei vielen PSS-Anbietern zu beobachten, indem sie Funktionen anbieten, statt Produkte zu verkaufen.	+ Reduzierter Materialverbrauch + Reduzierter Energieverbrauch + Weniger Abfallprodukte + Geringere Emissionen - Services mit hohen Ressourcen- und Energieverbräuchen
<b>Ownership</b>	Das Eigentum am hybriden Leistungsbündel. Es kann im Besitz des Anbieters bleiben (Stichwörter: Leasing und Vermieten) oder an einen Kunden verkauft werden.	+ PSS im Besitz eines Herstellers werden für längere Haltbarkeit entwickelt + Wartungsarbeiten, um Lebenszyklus zu verlängern + Upgrades, Wiederverwendung und Recycling - PSS im Besitz eines Herstellers wird oft unachtsam von den leasenden / mietenden Kunden genutzt
<b>Sharing</b>	Diese Charakteristik hängt eng mit der Charakteristik <i>Ownership</i> zusammen. Ein PSS kann von mehreren Kunden genutzt werden.	+ Nutzung eines PSS durch mehrere Kunden optimiert die Auslastung (utilization) - Höhere Anzahl an Transporten, um PSS für mehrere Nutzer verfügbar zu machen
<b>Product Life</b>	Beschreibt die Haltbarkeit / Langlebigkeit der materiellen Produktkomponenten eines PSS.	+ Verlängerter PSS-Lebenszyklus (siehe auch <i>Ownership</i> ) + Kollaborationen, um Langlebigkeit der PSS zu erreichen - Rebound-Effekte (Reduzierter Ressourcenverbrauch aufgrund von Verhaltensänderungen nicht erfolgt)
<b>Consumption</b>	Verhaltensänderungen in Bezug auf Verbrauchs- und Nutzungspraktiken eines PSS.	+ Reduzierung des Verbrauchs und der Umweltbelastung durch alternative Szenarien des Konsums + Kann ein Bewusstsein für Nachhaltigkeitsthemen hervorrufen - Produkte, die für einen nachhaltigen Konsum entwickelt sind, werden oftmals falsch genutzt
<b>Cooperation</b>	Kooperationen entlang der ganzen Lieferkette, im Sinne eines Informations- und Wissensaustausches.	+ Bewusstsein für Nachhaltigkeitsthemen wie ökologische Produktnutzung steigt durch Informationsaustausch entlang der gesamten Lieferkette

<sup>9</sup> Siehe Beitrag 1 (Hüer et al. 2018) für detailliertere Informationen. Dieser Abschnitt fasst die darin erlangten Ergebnisse zusammen.

<sup>10</sup> Die Literaturanalyse folgte den gängigen Schritten nach Webster und Watson (2002), welche in Kapitel 4.2 und in Beitrag 1 genauer beschrieben werden.



Die 71 relevanten Forschungsartikel, die aus der strukturierten Recherche hervorgingen und deren Erkenntnisse anschließend nach Mayrings (2010) Inhaltsanalyse überprüft wurden, legen nahe, dass es sechs übergeordnete PSS-Charakteristika gibt, die einen (positiven und / oder negativen) Einfluss auf die Nachhaltigkeit eines hybriden Leistungsbündels ausüben. Die Ergebnisse der Literaturrecherche (siehe Tabelle 2) zeigen, dass der Großteil der Autoren das Konzept der hybriden Wertschöpfung als besonders geeignet für nachhaltige Prozesse ansieht. Denn 89 % der untersuchten Artikel weisen auf positive Auswirkungen von PSS auf die Nachhaltigkeits-Performance eines Unternehmens hin, während 39 % der Artikel Möglichkeiten für negative Auswirkungen erkennen. Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass die Implementierung von hybrider Wertschöpfung ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Umweltleistung eines Unternehmens aufweist. Die möglichen negativen Auswirkungen müssen hierfür allerdings überwunden werden. Diesbezüglich wurden vier Lösungsvorschläge in der untersuchten Literatur gefunden, die in Beitrag 1 eingesehen werden können. Dieser erste Beitrag der vorliegenden Dissertationsschrift trägt zur vorhandenen Literatur im Bereich PSS und Nachhaltigkeit bei, indem er positive und negative Auswirkungen eines hybriden Leistungsbündels auf die unternehmerische Nachhaltigkeit identifiziert und diese in sechs neu kreierte PSS-Charakteristika unterteilt. Basierend auf den Informationen in diesem Artikel können Forscher und Praktiker die spezifischen PSS-Charakteristika analysieren und Werkzeuge sowie Methoden entwickeln, um die positiven Auswirkungen auf das Nachhaltigkeitsniveau zu erhöhen und gleichzeitig die möglichen negativen Auswirkungen zu verringern oder gar gänzlich zu verhindern. Daher dient dieser Beitrag als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Werkzeugen und Methoden zur Erzielung höherer Nachhaltigkeitsniveaus für PSS-Anbieter (Hüer et al. 2018).

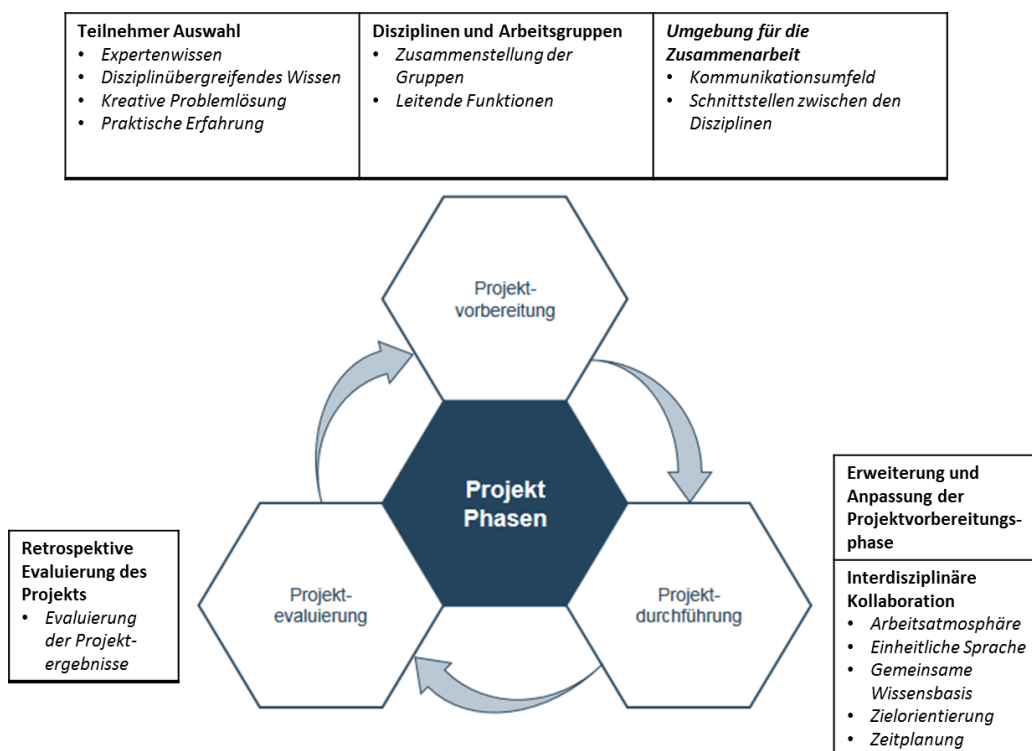
Um nachhaltige hybride Leistungsbündel zu entwickeln, ist vor allem eine enge interdisziplinäre Kollaboration von großer Bedeutung; denn nur wenn alle Disziplinen, die für die Lösungserbringung relevant sind, in den Entwicklungsprozess eingebunden werden, kann ein holistischer Lösungsansatz entstehen (Kofschoten 2007). Im Folgenden werden wichtige Faktoren für die interdisziplinäre PSS-Entwicklung vorgestellt, bevor in Kapitel 5.2.2 die Funktionen der entwickelten Prototypen genauer erläutert werden. In einem Mixed-Methods-Ansatz<sup>11</sup> sorgten verschiedene quantitative und qualitative Forschungsmethoden für einen breiten Erkenntnisgewinn bezüglich interdisziplinärer Kollaboration im Kontext einer PSS-Entwicklung. Hierzu wurde ein Studentenprojekt betreut, in welchem eine voll funktionsfähige mobile Ladesäule mit autarker Energieversorgung entwickelt wurde. In dem Entwicklungsprozess waren Studenten aus den Disziplinen Elektrotechnik, Mechatronik, Maschinenbau, Wirtschaftsinformatik, Technische Informatik und Wirtschaftswissenschaften involviert. Während der wissenschaftlichen Beobachtung der interdisziplinären Interaktionen im Projekt wurden 14 Faktoren<sup>12</sup> erfasst, die einen potenziellen Einfluss auf eine interdisziplinäre PSS-Entwicklung ausüben. Diese Faktoren wurden, aufbauend auf der Methodik von Ratner und Riis (2014), in einen Leitfaden zur systematischen Organisation interdisziplinärer Kollaboration integriert (siehe Abbildung 2). Mit Hilfe dieses Leitfadens soll es Unternehmen gelingen, die Entwicklung neuer hybrider Leistungsbündel kontinuierlich zu verbessern, da die benötigten Kompetenzen verschiedener Disziplinen nur durch

---

<sup>11</sup> Der folgende Absatz orientiert sich an den Erkenntnissen aus Beitrag 5 (Hüer et al. 2020c).

<sup>12</sup> Die 14 erfassten Faktoren sind: *Expert Knowledge, Interfaces Between Disciplines, Mutual Common Understanding, Knowledge of other Disciplines, Work Atmosphere, Goal-Oriented, Uniform Language, Scheduling, Reviewing Project Results, Creative Problem-Solving, Leading Roles, Previous Practical Experience, Environment for Communication und Composition of Groups*. Im Folgenden, wie auch in Abbildung 2, werden die Faktoren ins Deutsche übersetzt.

eine effektive interdisziplinäre Kollaboration der Projektmitarbeiter eingebracht werden können (Defila, Di Giulio 1998). Der Leitfaden ist in drei Projektphasen (Vorbereitung, Durchführung und Evaluierung) eingeteilt. Jede der Phasen weist verschiedene Faktoren auf, die zu beachten sind, damit eine effiziente und produktive interdisziplinäre Kollaboration ermöglicht wird.



**Abb. 2.** Leitfaden für interdisziplinäre Kollaboration in der PSS-Entwicklung (Hüer et al. 2020c)

Während der *Projektvorbereitung* muss das Projekt vollständig, konsistent und systematisch geplant werden. Faktoren, die eine interdisziplinäre Kollaboration beeinflussen, müssen für das gesamte Projekt berücksichtigt werden, da sie im Verlauf des Projekts nur schwer anzupassen sind. Besonders die Mitarbeiterauswahl ist in dieser Phase von großer Bedeutung, damit wesentliche Kernkompetenzen (bspw. Expertenwissen, interdisziplinäres Wissen, praktische Erfahrung etc.) vorhanden sind. Nach diesem Auswahlprozess können die Mitarbeiter in Arbeitsgruppen eingeteilt und Führungsrollen bestimmt werden, um somit Verantwortlichkeiten klar zu definieren (Kolschoten et al. 2010). Zudem ist es von immenser Wichtigkeit, Schnittstellen und ein geeignetes Kommunikationsumfeld (Räumlichkeiten, technische Kommunikationsmittel etc.) zur Verfügung zu stellen, damit jederzeit Informationen ausgetauscht werden können. Im Anschluss an die Vorbereitungsphase beginnen die *Projektdurchführung* und somit alle Prozesse und Aktivitäten, die während des Projektes stattfinden. Zunächst können Aktionen aus der Projektvorbereitung wiederholt werden, indem Verfeinerungen, Korrekturen oder Erweiterungen stattfinden (Einstellung von zusätzlichem Personal, Änderung der Gruppenzusammensetzung etc.). Ein bedeutsamer Aspekt während der Projektdurchführung ist die Schaffung einer angenehmen Arbeitsatmosphäre und eines konstruktiven Umfelds, um interdisziplinäre Kollaboration optimal zu fördern. Hierzu gehört auch eine effiziente Kommunikation zwischen den Disziplinen, welche durch eine einheitliche Sprache mit gemeinsamer Terminologie zu erreichen ist (de Vreede 2014; Leimeister 2014). Des Weiteren muss die Abstimmung der Teil- und

Gesamtziele so erfolgen, dass wichtige Entwicklungsschritte zu den richtigen Zeitpunkten fertiggestellt werden können. Die abschließende Phase besteht aus der *Projektauvaluierung*, die dazu dient, das Projekt und seine Ergebnisse hinsichtlich aller positiven und negativen Aspekte zu analysieren und in Bezug auf die interdisziplinäre Kollaboration zu evaluieren. Die Ergebnisse der Analyse sollen dann so ausgewertet werden, dass Mitarbeiter zukünftiger Projekte Rückschlüsse ziehen können, wie die Vorbereitung und Ausführung des Projektes optimiert werden können. Von besonderer Wichtigkeit ist es hierbei zu untersuchen, welche Teil- und Gesamtziele erreicht oder verfehlt wurden. Im Falle von verfehlten Zielen muss analysiert werden, welche Probleme aufgetreten sind und wie diese in zukünftigen Projekten gelöst werden können. Wenn ein Ziel nicht erreicht wurde, weil spezifisches Wissen gefehlt hat, wäre es ratsam, die Auswahl der Teilnehmer zu überprüfen und Änderungen im Personal- und Teamauswahlprozess für das nächste Projekt zu berücksichtigen. Wenn die Kommunikation zwischen verschiedenen Disziplinen ineffizient war, sollten die Teamzusammensetzung, die Kommunikationsumgebung, die Verwendung einer einheitlichen Sprache oder die Bereitstellung von Schnittstellen überprüft werden. Solche und andere Probleme können durch Fragebögen, Beobachtungen oder Interviews mit den Projektmitarbeitern aufgedeckt werden.

## 5.2.2 Entwicklung von PSS-Prototypen für die Energiewirtschaft

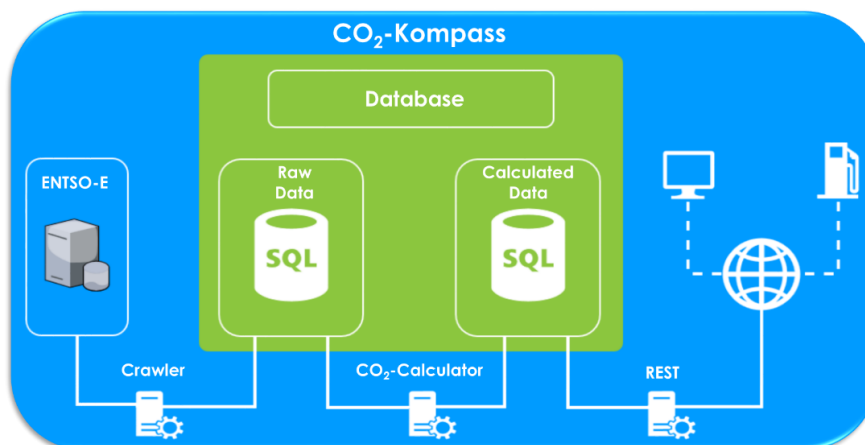
Aufbauend auf den in Kapitel 5.2.1 erläuterten Hintergründen zu nachhaltigen hybriden Leistungsbündeln und auf dem Leitfaden zur interdisziplinären PSS-Entwicklung werden nun drei Prototypen vorgestellt, die im Rahmen dieser Promotion interdisziplinär entwickelt wurden und in Zukunft eine bedeutende Rolle für eine nachhaltige und innovative Energiewirtschaft spielen können.

### Der CO<sub>2</sub>-Kompass<sup>13</sup>

Um die Vorteile regenerativer Energien zukünftig stärker nutzen zu können, ist es erforderlich, die Stromnutzung elektrischer Geräte zeitlich an die Energiegewinnung anzupassen. Dadurch können elektrische Verbraucher zu jenen Zeitpunkten eingesetzt werden, an denen der regenerative Anteil der Stromgewinnung besonders hoch ist; was im Umkehrschluss minimale CO<sub>2</sub>-Emissionen bedeutet. Hierfür wurde der CO<sub>2</sub>-Kompass in interdisziplinärer Zusammenarbeit nach dem Scrum-Ansatz entwickelt (Schwaber 1997). So entstand ein kundenzentriertes Leistungsbündel, bestehend aus Software, Dienstleistung und Produktkomponenten, welches die Zusammensetzung des deutschen Strommixes berechnet und Emissionsprognosen erstellt. Der CO<sub>2</sub>-Kompass ermöglicht, dass nicht nur preisgetriebene, sondern auch emissionsbasierte Verbrauchsentscheidungen getroffen werden können. Mit Hilfe des Leistungsbündels lassen sich die Nutzung von Haushaltsgeräten und energieintensiver Hardware (Wärmepumpen, Ladesäulen, Klimaanlage, Produktionsmaschinen etc.) koppeln, um deren Energieverbrauch auf die Zeiten mit den niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen ohne Einbußen an Komfort oder Qualität zu legen (VDE 2012). Ein Beispiel hierfür bietet die Verbindung zu einer Ladesäule für Elektrofahrzeuge über eine *Representational State Transfer (REST)-Schnittstelle*. Das angeschlossene Fahrzeug kann auf diese Weise automatisch zum ökologisch günstigsten Zeitpunkt geladen werden. Ähnliche Szenarien sind für alle Geräte mit elektrischem Strombezug denkbar, die nicht zeitkritisch sind und deren Last sich daher verschieben lässt. Der CO<sub>2</sub>-Kompass dient somit als zentrales Steuerelement für eine ökologisch geprägte Lastverschiebung und kann dadurch als einer der wichtigen

<sup>13</sup> Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Ergebnisse aus den Beiträgen 2 (Hüer et al. 2019) und 3 (Hüer et al. 2020b).

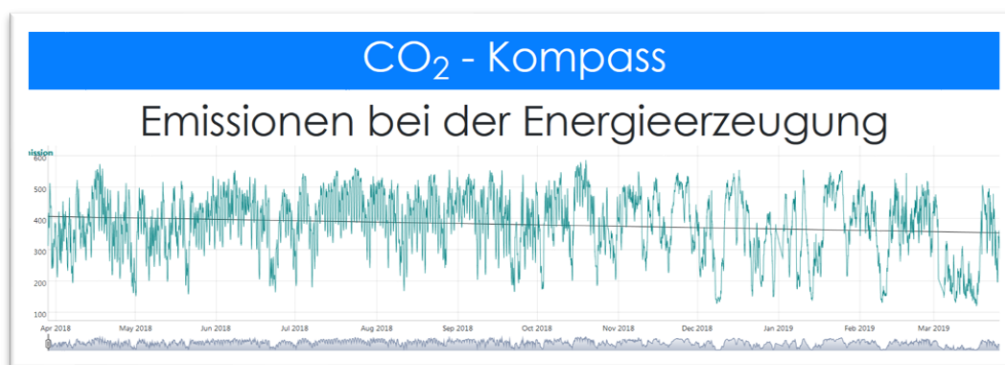
Wegbereiter für die hybride Wertschöpfung im Bereich der Energiewirtschaft angesehen werden. Die Entwicklung und Umsetzung des CO<sub>2</sub>-Kompasses geschah in einem interdisziplinären Scrum-Projekt<sup>14</sup> und basierte auf funktionellen und nichtfunktionellen Anforderungen, die im Zuge eines Experteninterviews mit einem Spezialisten aus dem Bereich Energiewirtschaft und Ladesäulenmanagement aufgestellt wurden. Indem inkrementell alle Anforderungen erfüllt wurden, entstand ein erster Prototyp, der in drei Teilsysteme (*Crawler*, *CO<sub>2</sub>-Calculator* und *REST-Schnittstelle*) strukturiert wurde:



**Abb. 3.** Architektur des CO<sub>2</sub>-Kompasses (Hüer et al. 2019)

In einem ersten Schritt sorgt das Teilsystem *Crawler* für eine Abfrage der deutschen Stromproduktionsdaten, die vom Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) über einen Sicherheitstoken zur Verfügung gestellt werden. Diese Abfrage, inklusive einer Überprüfung auf Aktualisierungen, geschieht in einem fünfminütigen Abstand. Sobald aktualisierte Rohdaten vorhanden sind, werden diese systematisch über ein Open-Source-Datenbankmanagementsystem in einer eigenen Datenbank abgelegt. Die Daten beinhalten die Stromproduktionsinformationen der vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber (50Hertz, Amprion, TenneT GER und TransnetBW) für jede einzelne Produktionsart. Anschließend werden die Rohdaten der Stromproduktion mit dem *CO<sub>2</sub>-Calculator* zu spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionswerten umgewandelt. Auch dies geschieht in fünfminütigen Intervallen. Die errechneten Werte werden den einzelnen Übertragungsnetzbetreibern und den Produktionsarten zugeordnet und anschließend wiederum in der eigenen Datenbank abgelegt. Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Werte werden die Produkte von der Produktionsmenge und der spezifischen Emission pro Stromart (siehe Schlömer et al. 2014) aufsummiert und zum Schluss durch die Summe an produziertem Strom geteilt. Dies geschieht in einem 15-Minuten-Takt. Neben dieser Berechnung stellt der *CO<sub>2</sub>-Calculator* eine tägliche Prognose der Emissionswerte für die kommenden 24 Stunden auf (siehe Hüer et al. 2019 für die Prognoseformel). Auch die Vorhersagewerte werden in der Datenbank abgelegt. Im dritten Teilsystem ermöglicht eine REST-Schnittstelle über gezielte http-Anfragen einen öffentlichen Zugang zu den Emissionswerten der Stromproduktion. So kann der CO<sub>2</sub>-Kompass dem Nutzer über verschiedene Anzeigemedien, wie Website oder App, eine transparente und nutzerfreundliche Darstellung der Emissionen bei der Energieerzeugung ermöglichen (siehe Abbildung 4).

<sup>14</sup> Zu den involvierten Disziplinen gehörten Elektrotechnik, Informatik, Software Engineering, Mechatronik, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftswissenschaften.



**Abb. 4.** Beispiel der transparenten Emissions-Darstellung (Hüer et al. 2019)

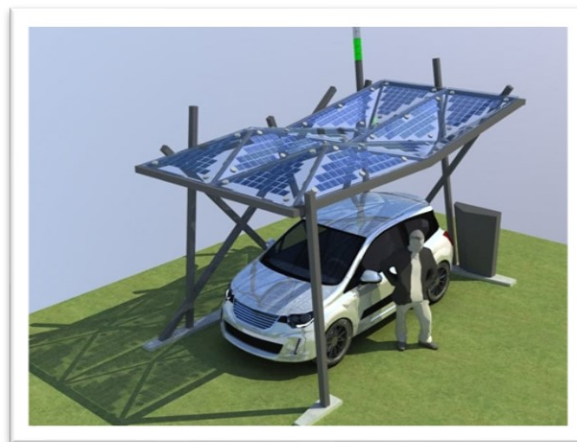
Zudem ermöglicht die REST-Schnittstelle eine Kopplung mit elektrischen Geräten, wodurch Endnutzer einen umweltfreundlicheren Konsum von Elektrizität erreichen können. Intelligente Lademanagementsysteme können so beispielsweise sicherstellen, dass Fahrzeugbatterien zu jenen Zeitpunkten geladen werden, an denen der Strommix möglichst emissionsfrei ist. Der erste Prototyp des CO<sub>2</sub>-Kompasses wurde seit der Fertigstellung stetig weiterentwickelt und optimiert. Beispielsweise wird die Datengenerierung konstant angepasst, um die Qualität der Emissionswerte sowie die Qualität der Prognose kontinuierlich zu verbessern (Hüer et al. 2020b).

### Das PV-Carport<sup>15</sup>

Ein Übergang von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren hin zu elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist laut existierender Literatur ein vielversprechender Weg, um das Nachhaltigkeitsniveau des Mobilitätssektors zu steigern (Brenna et al. 2014; Mwasilu et al. 2014). So könne der Verkehr durch die Ausweitung von Elektrofahrzeugen bei gleichzeitiger Verringerung von Verbrennerfahrzeugen sauberer, energieeffizienter und lärmfreier werden (Mouli et al. 2016). Allerdings kann der Umstieg auf Elektrofahrzeuge nur dann vollständig nachhaltig sein, wenn die erforderliche Energie für den Antrieb aus erneuerbaren Energiequellen generiert wird (Brenna et al. 2014). Daher muss eine ausreichende Infrastruktur aus Ladestationen aufgebaut werden, die an erneuerbare Quellen angeschlossen sind. Es stehen in diesem Kontext zwei Möglichkeiten zur Verfügung, die Verteilung erneuerbarer Energien auf Ladestationen zu handhaben: zum einen die zentrale Übertragung über das Stromnetz und zum anderen die Verteilung über dezentrale Energieerzeugungsquellen (Richardson 2013). Um ebenjene dezentralen erneuerbaren Energiequellen mit privaten Ladesäulen zu koppeln, ist der Bau eines Photovoltaik-Carports eine realisierbare und zugleich aussichtsreiche Methode (Neumann, Schär, Baumgartner 2012; Brenna et al. 2014; Mwasilu et al. 2014). Im Kontext dieser Dissertation wird ein PV-Carport als dreiteilige Struktur betrachtet, die aus einem (1) mit PV-Paneelen überdachten Parkplatz, (2) einer E-Ladestation und (3) einem externen, stationären Energiespeicher besteht. Dieses zusammenhängende System birgt mehrere Vorteile für den Benutzer und die Gesellschaft als Ganzes, indem nachhaltiger Solarstrom für das Aufladen von Elektrofahrzeugen genutzt wird. Um jedoch bei der Entwicklung von PV-Carports erfolgreich zu sein, müssen Unternehmen ein profitables Geschäft aufbauen und gleichzeitig ein hohes Level an Kundenzufriedenheit erreichen (Mouli et al. 2016; Nunes, Figueiredo, Brito 2016). Diesbezüglich bietet die hybride Wertschöpfung mit ihrem Potenzial zu hoher Kundenfokussierung und optimierter

<sup>15</sup> Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Ergebnisse aus Beitrag 4 (Hüer et al. 2020a).

Rentabilität ein flexibles und nachhaltiges Geschäftsmodell. Zudem erfordern der hohe Grad an Technologie sowie die Konnektivität aller Systemteile eine Reihe von zugänglichen Dienstleistungen, wodurch die hybride Wertschöpfung prädestiniert für die Vermarktung von PV-Carports ist (Vandermerve, Rada 1988). Um herauszufinden, inwiefern die hybride Wertschöpfung ein geeignetes Geschäftsmodell für ein PV-Carport darstellt, wurde in Beitrag 4 der gesamte PSS-Lebenszyklus dieses Systems betrachtet und ein erster PSS-Prototyp<sup>16</sup> erstellt (siehe Abbildung 5 für das Design des Prototypen). Zur Betrachtung des kompletten Lebenszyklus des hybriden Leistungsbündels und um somit alle relevanten Fertigungs- und Dienstleistungsdaten interdisziplinär zu erfassen, wird das PSS-Lebenszyklusmodell von Wiesner et al. (2015) hinzugezogen. Dieses teilt das Leben eines PSS in drei übergeordnete Phasen ein: Beginning of Life (BoL), Middle of Life (MoL) und End of Life (EoL). Jede Phase ist zudem in Unterstufen geteilt.<sup>17</sup> Im Folgenden werden der PSS-Lebenszyklus erläutert und Implementierungsbeispiele für PV-Carports angeführt.



**Abb. 5.** Design des PSS-Prototypen eines PV-Carports (Bildrechte: PLAN.CONCEPT Architekten GmbH)<sup>18</sup>

Die PSS *Beginning of Life Phase* ist in drei Unterstufen unterteilt: die [1] Ideation Stage, die [2] Requirement Stage und die [3] Design Stage. In dieser Phase werden Ideen generiert, Anforderungen definiert, Spezifikationen erstellt und hybride Leistungsbündel als ganzheitliche Lösungen entworfen. Die [1] Ideation Stage beinhaltet Ideenfindungsprozesse (Brainstorming, Skizzen etc.), die Identifikation von Kundenbedürfnissen sowie die Erstellung von PSS-Lösungsvorschlägen (Wiesner et al. 2015). Für die Entwicklung eines PV-Carports als PSS sind unter anderem folgende Punkte in der Ideenfindung von Bedeutung:

- Die Eignung eines Elektrofahrzeugs für den Kunden als Transportmittel bestimmen (Analyse des Fahrverhaltens über Datenlogger) und somit analysieren, ob ein PV-Carport sinnvoll wäre.
- Analyse über das (voraussichtliche) Ladeverhalten des Kunden, um herauszufinden, zu welchen Tageszeiten das Auto geladen wird und ob eine zusätzliche stationäre Batterie von Vorteil wäre.

<sup>16</sup> Das prototypische PV-Carport steht nun auf dem Campus Lingen der Hochschule Osnabrück.

<sup>17</sup> Eine Abbildung hierzu kann auf Seite 40 in Wiesner et al. (2015) oder auf Seite 275 in Hüer et al. (2020a) gefunden werden.

<sup>18</sup> Siehe Hüer et al. (2020a) und folgende Internetquelle: <https://www.planundconcept.de/neubau-stellplatzueberdachung-mit-photovoltaik-fuer-e-betankung-osnabrueck-lingen/>

- Ermittlung aller Kundenbedürfnisse, um bei der späteren Entwicklung entsprechende Funktionen (Produkt- und Dienstleistungsaspekte des PV-Carports) zu integrieren.

Um diese Kundenbedürfnisse zu erfüllen und gleichzeitig die größtmögliche Energiemenge zu erzeugen, müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden; dies geschieht in der [2] Requirement Stage (Wiesner et al. 2015). Sobald der Aufbau des PV-Carports festgelegt ist, muss der richtige Standort ermittelt werden, damit keine Bäume und Gebäude das Solardach mit Schatten oder Schmutz bedecken können. Außerdem muss die Art und die Größe der Solarzellen sowie deren Ausrichtung in Bezug auf die Kompassrichtung festgelegt werden. Des Weiteren muss für den Ladevorgang eine effektive Ladeinfrastruktur aufgebaut werden (Axsen, Kurani 2012; Brenna et al. 2014; Nunes et al. 2016). Im Anschluss werden die in den ersten beiden Stufen aufgestellten Kundenanforderungen in der [3] Design Stage aufgeschlüsselt. In der PSS-Entwicklung sollte das Design von Dienstleistungen und Produkten zwar separat geschehen, die notwendige Kompatibilität kann allerdings durch Feedback-Schleifen sichergestellt werden (Wiesner et al. 2015). Die potenziellen Systemteile müssen nun analysiert werden, sodass eine ideale Zusammensetzung gefunden und die höchstmögliche Effizienz erzielt werden kann. Im Falle des PV-Carports muss beispielsweise geklärt werden, welche Neigungs- und Azimut-Winkel der Solarzellen für eine maximal nutzbare Energiegewinnung sorgen (Brenna et al. 2014).

Die *PSS Middle of Life Phase* teilt sich in drei weitere Unterstufen: die [4] Realisation Stage, die [5] Delivery Stage und die [6] Support Stage. In dieser Phase werden Produktkomponenten hergestellt, Dienstleistungen umgesetzt und zu einem funktionierenden, kundenorientierten PSS kombiniert. Während der [4] Realisation Stage des PSS-Lebenszyklus wird Hardware konstruiert und in ihre endgültige Form gebracht. Gleichzeitig werden Services operativ realisiert und umgesetzt. Die Summe der Produkte und Dienstleistungen wird dann als Funktion zusammengefasst, die die einzelnen Kundenwünsche erfüllen sollen (Wiesner et al. 2015). Ein Beispiel für einen solchen Kundenwunsch bei einem PV-Carport kann das Verlangen nach einer stetig verfügbaren emissionsfreien Stromproduktion sein, sodass das Elektrofahrzeug zu jedem Zeitpunkt mit grünem Strom geladen werden kann. Dies kann über eine Solaranlage mit integriertem stationären Batteriespeicher umgesetzt werden. Um allerdings auch zu Zeiten mit geringem Eigenstromanteil (wenig Sonnenstrahlung) eine Energieversorgung aus emissionsfreier Stromproduktion zu gewährleisten, kann die Software des CO<sub>2</sub>-Kompasses als zusätzliche Dienstleistung angeboten werden (Hüer et al. 2019). Somit sorgt die Kopplung von Produkt (Hardware des PV-Carports) und Dienstleistung (Software des CO<sub>2</sub>-Kompasses) für die Erfüllung des Kundenwunsches. In der anschließenden [5] Delivery Stage wird das hybride Leistungsbündel bestehend aus Hardware und Dienstleistungen an den Kunden geliefert und in Betrieb genommen. In diesem Schritt wird dem Kunden auch erklärt, wie durch das Zusammenspiel von Produkten und Dienstleistungen diverse Lösungen erreicht werden (Wiesner et al. 2015). Das PV-Carport wird bei dem Kunden platziert und alle Teilsysteme, wie beispielsweise ein zusätzlicher stationärer Energiespeicher, werden installiert. Nachdem das Leistungsbündel ausgeliefert und in Betrieb genommen wurde, wird in der [6] Support Stage dafür gesorgt, dass die Funktionen einwandfrei laufen und alle Kundenwünsche erfüllt werden können. Dies geschieht hauptsächlich durch Dienstleistungen wie Wartungs- und Reparaturarbeiten (Wiesner et al. 2015). Bei einem PV-Carport sind aber auch Säuberungsarbeiten von besonderer Wichtigkeit, um die Solaranlage von Schmutz zu befreien, damit die Stromproduktion nicht beeinträchtigt wird (Adhya et al. 2016).

Die *PSS End of Life Phase* besteht aus einer Unterstufe, der [7] Evolution Stage. In dieser Phase wird entschieden, ob ein hybrides Leistungsbündel, welches die



Kundenanforderungen nicht mehr erfüllt, durch Produkt- oder Dienstleistungsanpassungen aufgerüstet werden soll oder ob es stillgelegt wird (Wiesner et al. 2015). Bei einem PV-Carport kann die Entscheidung zur Anpassung oder Stilllegung von beiden Seiten (Kunde und Anbieter) ausgehen. Falls zum Beispiel aus Sicht des Kunden ein Aspekt des Systems veraltet ist, kann es eine interessante Option darstellen, das PSS mit Hardware- oder auch mit Dienstleistungskomponenten zu aktualisieren (Bernardes et al. 2004; Kadirgan 2006).

### Die mobile, autarke Ladesäule<sup>19</sup>

Während einer studentischen Projektwoche wurde im Rahmen dieses Promotionsvorhabens ein gemeinsames Projekt der Universität Osnabrück und der Hochschule Osnabrück zur interdisziplinären PSS-Entwicklung organisiert, durchgeführt und wissenschaftlich dokumentiert (Hüer et al. 2020c). Es sollte herausgefunden werden, inwiefern eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit als Grundstein für die Entwicklung von hybriden Leistungsbündeln angesehen werden kann und welche Faktoren die interdisziplinäre Kollaboration beeinflussen. Ziel des Studentenprojekts war es, einen elektrisch angetriebenen Transporter in eine mobile Ladestation mit autarker Energieversorgung umzuwandeln. Zudem sollten kundenzentrierte Dienstleistungen und ein geeignetes Geschäftsmodell entsprechend der hybriden Wertschöpfung entwickelt werden. Das Projekt wurde so organisiert, dass ein besonderer Schwerpunkt auf Interdisziplinarität gelegt wurde. Es war nicht nur beabsichtigt, Studierende aus verschiedenen Studiengängen einzubeziehen, sondern auch Studierende einer anderen Universität, die einen umfassenderen Hintergrund in Fächern wie Unternehmensverwaltung oder Wirtschaftsinformatik mitbrachten. Der Grund für die Einbeziehung dieser externen Studenten bestand darin, die Produktdesignphase von Unternehmen genauer simulieren zu wollen. Insgesamt waren 18 Studenten aus den Disziplinen Elektrotechnik, Mechatronik, Maschinenbau, Informatik, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftswissenschaften Teil der Projektgruppe. Innerhalb der Projektwoche wurden folgende Ergebnisse erzielt (siehe auch Abbildung 6):



**Abb. 6.** Präsentation der Projektergebnisse am Ende der Projektwoche (Hüer et al. 2020c)

<sup>19</sup> Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Ergebnisse aus Beitrag 5 (Hüer et al. 2020c).

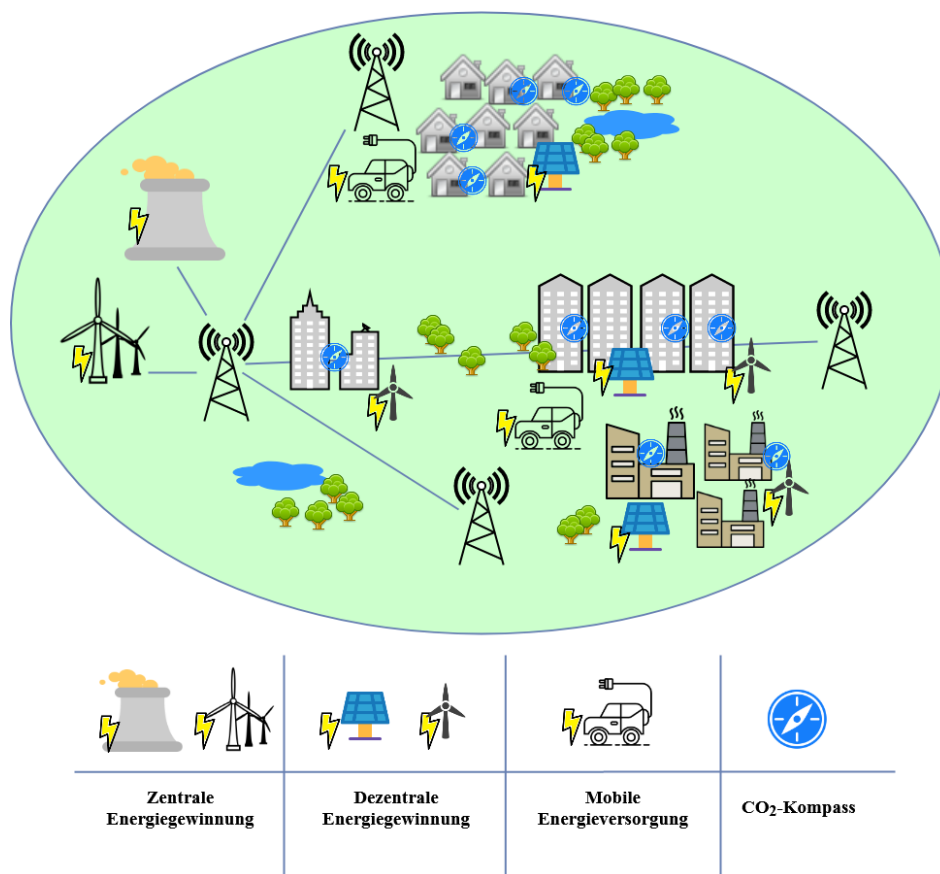


- Ein funktionierender elektrischer Schaltschrank (einschließlich eines Batteriespeichersystems, eines Wechselrichters, einer Ladesäule etc.) wurde entwickelt und in den Laderaum des Transporters integriert.
- Mechanisch verstellbare Solarmodule wurden an den Außenwänden des Transporters montiert und über einen Gleichstromwandler an den Schaltschrank, inklusive Batterie und Ladesäule, angeschlossen.
- Schnittstellen wurden identifiziert, um Daten im elektrischen System zu erfassen.
- Die Daten, wie die generierte Energie durch die Solarmodule oder der aktuelle Ladezustand der Batterie, wurden aufbereitet, an einen Server übertragen und über ein Dashboard visualisiert.
- Es wurden Geschäftsmodelle entwickelt, mit Hilfe derer sich die zukünftige Nutzung des Systems profitabel gestalten ließe.

Im Kontext der hybriden Wertschöpfung wurden verschiedene Anwendungsszenarien für die mobile, autarke Ladesäule entwickelt (Hüer, Hagen 2020). In erster Linie bieten sich durch das erstellte PSS mehrere Möglichkeiten für die Elektromobilität an. So kann die mobile, autarke Ladesäule beispielsweise für das Aufladen liegengebliebener E-Fahrzeuge dienen. Denn auch wenn automatische Hinweise sowie Schutzmechanismen, die vor einer leeren Batterie warnen, in E-Fahrzeugen integriert sind, muss es einen zusätzlichen Pannendienst geben, der schnell und kompetent Hilfe leisten kann. Die mobile, autarke Ladesäule ist gegenüber Abschleppdiensten besser geeignet, da Fahrzeuge vor Ort geladen werden können und nicht zur nächsten Ladestation transportiert werden müssen. Mit den karosserieintegrierten Solarzellen kann ein großer Teil der Energie regenerativ erzeugt werden. Ist dies wetterbedingt nicht möglich, hilft der zusätzlich integrierte Energiespeicher aus. Zukünftig könnten diese Ansätze mit weiteren Dienstleistungen verbunden werden, unter anderem mit einer vorausschauenden Wartung (Predictive Maintenance) und Überprüfung der Fahrzeugbatterie. Doch die mobile, autarke Ladesäule ist nicht nur im Pannenfall ein hilfreiches PSS. Sie kann auch als Energielieferant für kurzfristige örtliche Nachfragespitzen dienen. So kann die Ladesäule aufgrund ihrer Mobilität für Veranstaltungen mit hohem Parkaufkommen als Erweiterung existierender Ladeinfrastruktur dienen. Dies ist für Ereignisse mit großem Menschenandrang denkbar, wie für Sportveranstaltungen, Messen oder Volksfeste. Hierbei kann das hybride Leistungsbündel entweder öffentlich zur Verfügung gestellt werden oder nichtöffentlich von Einsatzkräften wie der Polizei oder der Feuerwehr genutzt werden. Bei einer nichtöffentlichen Nutzung würde der Laderaum des Transporters gleichzeitig Stauraum für Einsatzutensilien gewährleisten. Um weitere Ladepunkte anzuschließen und eine höhere Energiegewinnung zu erreichen, kann auch ein Anhänger mit zusätzlichen Solarmodulen an den Transporter angehängt werden. Die mobile, autarke Ladesäule kann auch außerhalb des Bereichs der Elektromobilität genutzt werden, indem der Transporter beispielsweise auf Campingplätzen oder Festivals als Ladestation verschiedener elektrischer Geräte zum Einsatz kommt oder der Transportraum als kleiner Kiosk oder Informationsstand verwendet wird (Hüer, Hagen et al. 2020). Der Einsatz als resilientes, dezentrales Energieversorgungssystem im Katastrophenfall ist ebenfalls gestaltbar. Rückblickend kann festgestellt werden, dass das Projekt zur Entwicklung der mobilen, autarken Ladesäule sich sehr erfolgreich gestaltete, da alle Teil- und übergeordneten Ziele erreicht und ein voll funktionsfähiges PSS entwickelt wurde. Der Erfolg spiegelt sich auch in dem ersten Platz unter allen teilnehmenden Projekten wider, der von einer neutralen Jury vergeben wurde. Um zukünftige interdisziplinäre Kooperationen zu unterstützen, wurden alle Faktoren, die sich auf die interdisziplinäre Arbeit innerhalb des beobachteten Projekts und damit auf dessen erfolgreiches Ergebnis ausgewirkt haben, untersucht (siehe Kapitel 5.2.1).

### 5.2.3 Bedeutung der PSS-Prototypen für die Energiewirtschaft<sup>20</sup>

Betrachtet man nun die in Kapitel 5.2.2 beschriebenen innovativen hybriden Leistungsbündel im Kontext der gesamten Energiewirtschaft, könnte die zukünftige Energieversorgung mit Hilfe der entwickelten Steuereinheit (CO<sub>2</sub>-Kompass) sowie der dezentralen (PV-Carport) und mobilen (mobile, autarke Ladesäule) Energiegewinnungsquellen wie folgt aussehen: Haushalte, Unternehmen und alle weiteren gesellschaftlichen Bereiche, die einen elektrischen Energiebezug vorweisen, können zukünftig in beträchtlichem Maße zur Energiegewinnung und Steuerung der Energieflüsse beitragen. Dies geschieht sowohl über dezentrale Energiequellen wie auch über Steuerelemente und kann, falls die Notwendigkeit besteht, durch mobile Energiegewinnungsquellen und -speichersysteme entlastet werden. Die eigenen dezentralen Energiequellen, die neben einer Solaranlage auch in Form von Blockheizkraftwerken, Biogas- oder Windkraftanlagen auftreten können, haben oftmals das Ziel, den Eigenverbrauch bestmöglich abzudecken. Allerdings kann bei schlechter Wetterlage auch auf die Stromzufuhr aus dem zentralen Netz zurückgegriffen werden. Gleichzeitig kann überschüssiger Strom aus den dezentralen Quellen in das zentrale Netz eingespeist werden; so verschwimmen die Rollen des Verbrauchers und des Erzeugers in Form des „Prosumers“, der elektrische Energie sowohl herstellt als auch konsumiert (Zafar et al. 2018).



**Abb. 7.** Möglichkeiten für die Energiewirtschaft: Der CO<sub>2</sub>-Kompass als Steuereinheit für zentrale, dezentrale und mobile Energiegewinnung / -versorgung (Hüer et al. 2021 im Druck)

<sup>20</sup> Dieser Absatz bezieht sich auf die Ergebnisse aus Beitrag 6 (Hüer et al. 2021 im Druck).

Die aktive Teilnahme der Prosumer am Energiemarkt kann zwar die zentrale elektrische Energieerzeugung über das Netz entlasten, bringt allerdings auch eine gestiegene Komplexität im physischen Netz mit sich. Daher müssen zukünftig innovative Kommunikationstechnologien, Optimierungsmethoden, Speichertechnologien und Kontrollmechanismen entwickelt und optimiert werden (Zafar et al. 2018). Gleichzeitig sollten dezentrale Erzeugungseinheiten die Möglichkeit eines kontrollierten Inselbetriebs aufweisen, um Bürgern im Krisenfall in Kombination mit dem zentralen Netz eine erhöhte Resilienz bieten zu können. Hier kann das PV-Carport ein Schlüsselement zur resilienten, lokalen Energieversorgung bilden, indem zusätzlich zur dezentralen Stromerzeugung ein E-Fahrzeug bidirektional angebunden wird. Auf diese Weise entsteht ein mobiler Energiespeicher, welcher in Zusammenarbeit mit entsprechender Leistungselektronik ähnlich wie eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) funktioniert und den Haushalt im Falle eines Netzzusammenbruchs unabhängig mit Strom versorgt (Paul 2014). Bei entsprechender Auslegung könnten weiter stationäre Speicher und Photovoltaikanlagen hinzugefügt werden, sodass eine kurz-, mittel- und eventuell auch langfristige Versorgung möglich wäre. Über Steuerelemente soll es dem Endverbraucher zukünftig ermöglicht werden, anhand verschiedener Kriterien (Strompreis, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Demand-Side-Management etc.) die jeweilige Stromzufuhr aus dezentralen und zentralen Energiequellen zu beeinflussen. Um beispielsweise die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die zentrale elektrische Energieerzeugung ausgestoßen werden, zu minimieren, kann der CO<sub>2</sub>-Kompass als Steuerelement dienen (Hüer et al. 2019). Dieser kann die Emissionen in einem ersten Schritt transparent anzeigen und über eine 24-stündige Vorhersage jene Zeitintervalle bestimmen, an denen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Stromproduktion am geringsten ist. Die Nutzung elektrischer Verbraucher im Kontext der CO<sub>2</sub>-Emissionen kann hierdurch optimiert werden. Die Lastverschiebung der Endgeräte kann manuell oder auch automatisch über Control Gateways erfolgen (VDE 2012). In einem weiteren Schritt kann der CO<sub>2</sub>-Kompass als Indikator dienen, der Kunden anzeigt, ob es sich für sie lohnt, eigene dezentrale Energiequellen anzuschaffen, um den eigenen Energieverbrauch abzudecken. In Ausnahmefällen, in denen die Kombination aus zentralen und dezentralen Energiegewinnungsquellen nicht für die örtliche Energienachfrage ausreicht, können mobile Energiegewinnungsquellen und -speichersysteme für eine kurzfristige Netzstabilisierung sorgen. Dies kann durch die mobile, autarke Ladesäule erfolgen. Das Zusammenspiel zwischen zentraler, dezentraler und mobiler Energiegewinnung sowie die Steuermöglichkeit von Haushalten und Unternehmen mit Hilfe des CO<sub>2</sub>-Kompasses sind in Abbildung 7 dargestellt.

### 5.3 Theoretische Implikationen

Mehrere Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sorgen für eine Erweiterung der existierenden wissenschaftlichen Erkenntnisse. Dies gilt für das Forschungsfeld der hybriden Wertschöpfung im Allgemeinen sowie für die hybride Wertschöpfung in der Energiewirtschaft im Speziellen und fokussiert sich insbesondere auf die Themen Nachhaltigkeit und Interdisziplinarität. Zu den theoretischen Implikationen gehören vor allem folgende Punkte:

In Beitrag 1 wurden sechs PSS-Charakteristika zur Identifikation des Nachhaltigkeitsniveaus von PSS-Anbietern generiert (siehe Kapitel 5.2.1). Dies geschah im Zuge einer systematischen Literaturanalyse nach Webster und Watson (2002), wobei Erkenntnisse aus 71 relevanten Forschungsartikeln erlangt wurden. Durch einen dreistufigen Reduktionsprozess nach Mayring (2010) wurden diese Erkenntnisse paraphrasiert, generalisiert und reduziert. So entstanden sechs PSS-Charakteristika, welche sowohl positiv als auch negativ zur Nachhaltigkeit eines PSS-Anbieters beitragen können. Für jedes dieser sechs

Charakteristika wurde eine neue Definition aufgestellt und die jeweiligen Einflüsse auf die Nachhaltigkeit wurden herausgearbeitet. Es wurde festgestellt, dass hybride Wertschöpfung ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Umweltleistung eines Unternehmens aufweist. Allerdings müssen diesbezüglich die möglichen negativen Auswirkungen überwunden werden. Hierfür wurden vier Lösungsvorschläge in der untersuchten Literatur gefunden. Basierend auf diesen Informationen können Forscher und Praktiker zukünftig die spezifischen PSS-Charakteristika analysieren und Werkzeuge sowie Methoden entwickeln, um die positiven Auswirkungen auf das Nachhaltigkeitsniveau zu erhöhen und gleichzeitig die möglichen negativen Auswirkungen zu verringern. Daher dienen diese Erkenntnisse als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Werkzeugen und Methoden zur Erzielung höherer Nachhaltigkeitsniveaus für PSS-Anbieter.

Mit Bezug auf die Entwicklung hybrider Leistungsbündel wurden Faktoren erfasst, welche die interdisziplinäre Kollaboration während der PSS-Entwicklung beeinflussen können (siehe Kapitel 5.2.1). Diese Faktoren wurden im Zuge einer Prototypen-Entwicklung und mit Hilfe eines Mixed-Method-Ansatzes, bestehend aus quantitativen (Fragebögen) und qualitativen (semi-strukturierte Interviews, Beobachtungen / Shadowing, Literaturrecherche) Forschungsmethoden, aufgestellt. In diesem Projekt wurde eine voll funktionsfähige, mobile Ladesäule mit autarker Energieversorgung entwickelt. In dem Entwicklungsprozess waren Studenten aus den Disziplinen Elektrotechnik, Mechatronik, Maschinenbau, Wirtschaftsinformatik, Technische Informatik und Wirtschaftswissenschaften involviert. Während der wissenschaftlichen Beobachtung der interdisziplinären Interaktionen im Projekt wurden 14 Faktoren erfasst, die einen potenziellen Einfluss auf eine interdisziplinäre PSS-Entwicklung ausüben. Anschließend wurden diese Faktoren in einen Leitfaden zur systematischen Organisation interdisziplinärer Kollaboration integriert. Mit Hilfe dieses Leitfadens soll es Unternehmen gelingen, die Entwicklung neuer hybrider Leistungsbündel kontinuierlich zu verbessern, da die benötigten Kompetenzen verschiedener Disziplinen nur durch eine effektive interdisziplinäre Kollaboration der Projektmitarbeiter eingebracht werden können (Defila, Di Giulio 1998). Die Faktoren und der unternehmerische Leitfaden sollten in zukünftigen wissenschaftlichen Untersuchungen weiter analysiert und angepasst werden.

Im Kontext der übergeordneten Forschungsfrage kann folgende primäre theoretische Erkenntnis erlangt werden: Interdisziplinär entwickelte hybride Leistungsbündel können auf vielerlei Art gewinnbringend für eine nachhaltige Energiewirtschaft eingesetzt werden. Die prognostizierte Einbindung der eigens entwickelten Prototypen in die zukünftige, nachhaltige Energiewirtschaft kann vor allem in den Bereichen der Lastverschiebung und -steuerung, der dezentralen Energiegewinnung und -speicherung sowie der mobilen Energiebereitstellung erfolgen. Diesbezüglich wurden Theorien der Einsatzpotenziale aufgestellt (siehe Kapitel 5.2.3), welche in zukünftiger Literatur weiter geprüft, bewertet, optimiert und umgesetzt werden sollen. Es können auf diese Weise interdisziplinär entwickelte, hybride Leistungsbündel schrittweise in die Prozesse der Energiewirtschaft eingebaut werden, um diesen Wirtschaftszweig innovativer und nachhaltiger zu gestalten.

#### **5.4 Praktische Implikationen**

Zusätzlich zu den theoretischen Implikationen bietet die vorliegende Dissertation diverse Bezüge für die Praxis. Hierzu zählen vor allem die drei interdisziplinär entwickelten PSS-Prototypen sowie die Handlungsempfehlungen für Unternehmen bezüglich interdisziplinärer Kollaboration in der PSS-Entwicklung. Mit Hilfe der Handlungsempfehlungen (siehe Kapitel 5.2.1) soll es Unternehmen ermöglicht werden, ihre zukünftigen Projekte zur

Entwicklung hybrider Leistungsbündel besser zu strukturieren (Projektphasen: Vorbereitung, Durchführung, Evaluierung). Zudem sollen die kreierten Einflussfaktoren Aufschluss über Optimierungsmöglichkeiten in derartigen Projekten geben. Hierauf aufbauend können zukünftige Forschungsarbeiten untersuchen, ob dieser Ansatz auch für andere interdisziplinäre Projekte außerhalb der PSS-Entwicklung von Nutzen sein kann. Zudem sollte die bestehende Handlungsempfehlung individuell auf die jeweilige Umgebung angepasst und stetig erweitert werden. Entsprechend kann die interdisziplinäre Entwicklung hybrider Leistungsbündel in Zukunft immer effizienter gestaltet werden.

Die im Kontext dieser Dissertation entwickelten PSS-Prototypen weisen einen großen Praxisbezug im Kontext der Energiewirtschaft auf (siehe Kapitel 5.2.3). So bietet der eigens entwickelte CO<sub>2</sub>-Kompass als Steuerungselement in der Energiewirtschaft die Möglichkeit, CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die zentrale elektrische Energieerzeugung ausgestoßen werden, zu minimieren. Dies geschieht dadurch, dass eine Lastverschiebung von Endgeräten und energieintensiven Prozessen auf die Zeitpunkte mit der geringsten CO<sub>2</sub>-Emission pro erzeugter Kilowattstunde stattfindet. Die Lastverschiebung kann manuell oder automatisch über Control Gateways erfolgen (VDE 2012). Besonders in Verbindung mit dezentralen (siehe Prototyp *PV-Carport* in Kapitel 5.2.2) und mobilen (siehe Prototyp *mobile, autarke Ladesäule* in Kapitel 5.2.2) Energiegewinnungsquellen kann die gesamte Energiewirtschaft nachhaltiger, resilienter und effizienter aufgestellt werden. In zukünftigen Forschungsarbeiten sollten die Potenziale der beschriebenen PSS-Prototypen für die Energiewirtschaft weiter geprüft und analysiert werden. Zudem sollten weitere innovative hybride Leistungsbündel entwickelt werden, welche das Potenzial besitzen, die Energiewirtschaft auch in Zukunft optimieren zu können. Bei diesen Entwicklungsprozessen sollte ein besonderer Fokus auf die Interdisziplinarität gelegt werden, um zu gewährleisten, dass fächerübergreifende und holistische Lösungen angeboten werden können.

## 5.5 Limitationen

Alle sechs publizierten Beiträge, die in diese kumulative Dissertation eingebracht wurden und somit die Kernergebnisse lieferten, wurden auf der Grundlage anerkannter und valider Forschungsmethoden erstellt (siehe Kapitel 4). Jeder Beitrag durchlief mehrstufige Reviewprozesse, wodurch die Qualität der wissenschaftlichen Arbeit gesichert wurde. Trotz dieser hohen Qualitätsstandards traten einige Limitationen im Laufe dieser Arbeiten zutage. Die Limitationen werden nun aufgelistet, mit dem Ziel, Vorschläge zu erarbeiten, wie diesen in zukünftiger Forschung begegnet werden können.

Mit Hinblick auf die prognostizierte Einbindung der entwickelten PSS-Prototypen in die Energiewirtschaft muss beachtet werden, dass im Rahmen dieser Arbeit nicht alle Wechselwirkungen zwischen Energieerzeugung, -verteilung und -nachfrage erfasst werden konnten. Es kann vorkommen, dass die Energiebereitstellung von zusätzlichen dezentralen und mobilen Energiequellen zu einer erhöhten Komplexität im Gleichgewicht des Stromangebots und der Stromnachfrage führt. Auch der CO<sub>2</sub>-Kompass kann zu einer Überlastung des Netzes führen, wenn viele Nutzer gleichzeitig zu den ökologisch sinnvollsten Zeitpunkten am Tag Energie beziehen. Denn eine „Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen in der Energiewirtschaft [kann] nur mit Blick auf die gesamte Wertschöpfungskette erfolgen. Hierbei sind stets die Wechselwirkungen in diesem komplexen System zu berücksichtigen.“ (UBA 2011) Diese Probleme müssen in Zukunft adressiert werden, sodass die PSS-Prototypen gewinnbringend in die Energiewirtschaft implementiert werden können. Dies könnte durch innovative Steuerelemente im Stromnetz erfolgen. Eine weitere Limitation kann im Hinblick auf die aufgestellten Handlungsempfehlungen zur interdisziplinären PSS-

Entwicklung identifiziert werden. Diese basieren auf den wissenschaftlichen Beobachtungen (Shadowing, Interviews, Fragebögen) eines einwöchigen Studentenprojektes und auf einer zusätzlichen Literaturanalyse. Auch wenn das Projekt sehr erfolgreich war, da alle Entwicklungsziele in der kurzen Zeit erreicht wurden und das Arbeitsumfeld einem Unternehmensumfeld nachempfunden wurde (Bsp.: Integration von wirtschaftlichen Disziplinen), müssen sich Unternehmen trotzdem bewusst sein, dass diese Ergebnisse nicht aus einem kommerziellen Projekt entstanden sind. Daher sind die Handlungsempfehlungen nicht als universelle Lösung aller Entwicklungsprobleme zu verstehen, sondern eher als erste Grundlage für weiterführende Forschung in einem Praxisumfeld. Die einzelnen Beiträge gehen auf die wenigen aufgetretenen Limitationen genauer ein.

## 6 Zusammenfassung

Im Zuge dieser Dissertation erfolgte eine Untersuchung der Entwicklung nachhaltiger hybrider Leistungsbündel für die Energiewirtschaft, indem gestaltungsorientierte Ansätze in Form von drei PSS-Prototypentwicklungen erläutert wurden. Das Ziel, das im Vorfeld dieser Arbeit benannt wurde, verfolgt die Darstellung der Entwicklungsprozesse diverser hybrider Leistungsbündel im Kontext der Energiewirtschaft sowie die wissenschaftliche Berücksichtigung der Aspekte „Nachhaltigkeit“ und „interdisziplinäre Kollaboration“.

Die Ergebnisse der einzelnen Beiträge verdeutlichen, dass die Entwicklung hybrider Leistungsbündel und deren Einbindung in die Energiewirtschaft in vielfältiger Weise möglich ist und dass die so entstehenden Funktions- und Lösungsangebote ein großes Potenzial für innovative Optimierungen dieses Wirtschaftszweiges und dessen Nachhaltigkeit aufweisen. Es wurde herausgefunden, dass bestimmte Charakteristika hybrider Leistungsbündel einen Einfluss auf die Nachhaltigkeit eines Unternehmens ausüben und folglich die Umweltleistung eines Unternehmens durch die richtige Handhabung verbessert werden kann. Hierfür müssen hybride Leistungsbündel allerdings in interdisziplinärer Kollaboration entwickelt werden, da ein holistischer Lösungsansatz nur dann entstehen kann, wenn alle Disziplinen, die für die Lösungserbringung relevant sind, auch in den Entwicklungsprozess eingebunden sind (Kofschoten 2007). Diesbezüglich liefert die vorliegende Dissertation eine erste Handlungsempfehlung für jene Unternehmen, die ein interdisziplinäres Entwicklungsprojekt im Kontext der hybriden Wertschöpfung verfolgen. Die Handlungsempfehlung dient als Unterstützung, um die verschiedenen Projektphasen (Vorbereitung, Durchführung und Evaluierung) zu gestalten, und gibt hilfreiche Impulse zu Themen wie Planung, Mitarbeiterauswahl, Schaffung einer geeigneten Arbeitsatmosphäre oder auch Einführung einer gemeinsamen Terminologie. Auch für die drei eigens entwickelten PSS-Prototypen (der CO<sub>2</sub>-Kompass, das PV-Carport und die mobile, autarke Ladesäule), die in dieser Dissertation vorgestellt wurden, waren interdisziplinäre Entwicklungsschritte vonnöten. Im Zuge der Beschreibung der Entwicklungsprozesse dieser Prototypen wurde deutlich, dass alle drei über großes Potenzial für eine zukünftige Anwendung in der Energiewirtschaft verfügen, denn ihre Integration kann die Steuerung und die Verknüpfung zwischen zentraler, dezentraler und mobiler Energiegewinnung und -versorgung ermöglichen. Die Nachhaltigkeit der Energiewirtschaft kann dadurch besonders profitieren, da dezentrale erneuerbare Energiequellen stärker in das Netz integriert werden und über die Steuermöglichkeit des CO<sub>2</sub>-Kompasses die Stromnutzung aus zentralen Energiegewinnungsanlagen emissionsvermindert erfolgen kann.

Insgesamt legt die vorliegende Arbeit einen erstmalig beschriebenen Ansatz dar, der die interdisziplinäre Entwicklung nachhaltiger hybrider Leistungsbündel und deren potenzielle Einbindung in bestehende Prozesse der Energiewirtschaft untersucht. Die Ergebnisse können folglich als Grundlage für die zukünftige Forschung auf diesem Gebiet dienen.

## 7 Literatur

- Adhya, S.; Saha, D.; Das, A.; Jana, J.; Saha, H. (2016): *An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit*. IEEE, In: 2016 2nd international conference on control, instrumentation, energy & communication (CIEC), S. 432–436.
- Annarelli, A.; Battistella, C.; Nonino, F. (2016): *Product service system: A conceptual framework from a systematic review*. Journal of cleaner production, 139, S. 1011–1032.
- Axsen, J.; Kurani, K.S. (2012): *Who can Recharge a Plug-In Electric Vehicle at Home?* Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(5), S. 349–353.
- Bernardes, A.M.; Espinosa, D.C.R.; Tenório, J.S. (2004): *Recycling of batteries: a review of current processes and technologies*. Journal of Power sources, 130(1-2), S. 291–298.
- Boehm, M.; Thomas, O. (2013): *Looking beyond the rim of one's teacup: a multidisciplinary literature review of Product-Service Systems in Information Systems, Business Management, and Engineering & Design*. Journal of Cleaner Production, 51, S. 245–260.
- Brauner, G. (2016): *Energiesysteme: regenerativ und dezentral*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Brauner, G. (2019): *Effizienz durch Sektorenkopplung*. In *Systemeffizienz bei regenerativer Stromerzeugung*. Springer Vieweg, Wiesbaden. S. 225–241.
- Brenna, M.; Dolara, A.; Foadelli, F.; Leva, S.; Longo, M. (2014): *Urban Scale Photovoltaic Charging Stations for Electric Vehicles*. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 5(4), S. 1234–1241.
- Brenner, M. (2011): *Vom Produzenten zum Lösungsanbieter – Reifegrade und Entwicklungsstufen basierend auf einer empirischen Studie*. Diplomica Verlag GmbH, Hamburg.
- Defila, R.; Di Giulio, A. (1998): *Interdisziplinarität und Disziplinarität*. In: Olbertz, J. (Hrsg.): *Zwischen Den Fächern – Über Den Dingen? VS Verlag für Sozialwissenschaften*, Wiesbaden.
- de Vreede, G.J. (2014): *Two case studies of achieving repeatable team performance through collaboration engineering*. MIS Quarterly Executive 13, S. 115–129.
- Draper, N.R.; Smith, H. (2014): *Applied Regression Analysis*, John Wiley & Sons.
- Dunkelberg, E.; Hirschl, B.; Hoffman, E. (2011): *Themenblatt: Anpassung an den Klimawandel – Energiewirtschaft*. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- European Commission (2011): *Analysis associated with the Roadmap to a Resource Efficient Europe Part I: COMMISSION STAFF WORKING PAPER*. Brussels, 1067, SEC(2011).
- Fadaeenejad, M.; Saberian, A.M.; Fadaee, M.; Radzi, M.A.M.; Hizam, H.; AbKadir, M.Z.A. (2014): *The present and future of smart power grid in developing countries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, S. 828–834.
- Franz, S. (2004): *Grundlagen des ökonomischen Ansatzes: Das Erklärungskonzept des Homo Oeconomicus*. Univ., Department of Macroeconomics, S. 1568–1574.
- Germanus, N.; Granzow, P.; Grosse, B.; Kochems, J.; Giehl, J.; Müller-Kirchenbauer, J. (2020): *Entwicklung eines generischen Bewertungsmodells für Geschäftsmodelle der Energiewirtschaft*. Zeitschrift für Energiewirtschaft, 44(4), S. 285–299.
- Gloger, B. (2010): *Scrum*. Informatik-Spektrum, 33(2), S. 195–200.
- Goedkoop, M.; van Halen, C.; Te Riele, H.; Rommens, P. (1999): *Product service systems*. Ecological and economic basis, Report for the Dutch ministries of Environment and Economic Affairs.
- Gungor, V.C.; Sahin, D.; Kocak, T.; Ergut, S.; Buccella, C.; Cecati, C.; Hancke, G.P. (2011): *Smart grid technologies: Communication technologies and standards*. IEEE transactions on Industrial informatics, 7(4), S. 529–539.
- Gräßle, M.; Thomas, O.; Dollmann, T. (2010): *Vorgehensmodelle des Product-Service Systems Engineering*. In: Thomas, O.; Loos, P.; Nüttgens, M. (Hrsg.): *Hybride Wertschöpfung*. Berlin, Heidelberg, Springer, S. 82–129.

- Gähns, S.; Aretz, A.; Flaute, M.; Oberst, C.A.; Großmann, A.; Lutz, C.; ... ; Madlener, R. (2016): *Prosumer-Haushalte: Handlungsempfehlungen für eine sozial-ökologische und systemdienliche Förderpolitik*. Berlin. Projekt unter Leitung des E.ON Energy Research Center Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.
- Hennicke, P.; Fishedick, M. (2007): *Erneuerbare Energien: mit Energieeffizienz zur Energiewende*. CH Beck, München, 2412.
- Hüer, L.; Hagen, S.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2018): *Impacts of product-service systems on sustainability—a structured literature review*. *Procedia CIRP*, 73, S. 228–234.
- Hüer, L.; Stadie, N.; Hagen, S.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2019): *Der CO<sub>2</sub>-Kompass: Konzeption und Entwicklung eines Tools zur emissionsarmen Stromnutzung*. In: David, K.; Geihs, K.; Lange, M.; Stumme, G. (Hrsg.): *INFORMATIK 2019: 50 Jahre Gesellschaft für Informatik – Informatik für Gesellschaft*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 85, S. 559–570.
- Hüer, L.; Hagen, S. (2020): *Energieversorgung-as-a-Service: Die mobile Ladesäule*. Innovative Anwendungsbeispiele, Osnabrück, Living Lab BPM e.V, S. 15–18.
- Hüer, L.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2020a): *Developing Innovative E-Mobility Solutions – Photovoltaic Carports as Product-Service Systems*. *International Journal of Product Lifecycle Management (IJPLM)*, 12(4), S. 269–285.
- Hüer, L.; Pfisterer, H.J.; Fischer, H.; Lawrenz, S.; Thomas, O. (2020b): *Adapting the CO<sub>2</sub>-Compass Architecture to Further Optimize Data Generation Methods*. *ICONS 2020*, 15, S. 78–83.
- Hüer, L.; Hagen, S.; Pfisterer, H.J.; Thomas, O. (2020c): *Managing interdisciplinary collaboration in product-service systems engineering: insights from a mixed-method analysis of a student project*. *International Journal of Product Development (IJPD)*, 24(4), S. 320–345.
- Hüer, L.; Fischer, H.; Pfisterer, H.J.; Thomas, O. (2021, im Druck): *Nachhaltigere Gestaltung der Energiewirtschaft – Entwicklung elektrotechnischer hybrider Leistungsbündel zur emissionsarmen Stromnutzung*. In: Thomas, O.; Kammler, F. (Hrsg.): *Hybride Wertschöpfung in der digitalen Transformation – Kundenzentrierte Lösungsangebote integriert entwickeln*. Springer, Berlin.
- Johnson, R.; Onwuegbuzie, A. (2004): *Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come*. *Educational Researcher* 33, S. 14–26.
- Kadirgan, F. (2006): *Electrochemical nano-coating processes in solar energy systems*. *International Journal of Photoenergy*, Artikel ID 084891, S. 1–5.
- Kolfschoten, G. (2007): *Theoretical Foundations for Collaboration Engineering*. Delft University of Technology, Delft, Netherlands.
- Kolfschoten, G.L.; de Vreede, G.-J.; Briggs, R.O.; Sol, H.G. (2010): *Collaboration ‘engineerability.’* *Group Decision and Negotiation*, 19, S. 301–321.
- Konstantin, P. (2007): *Praxisbuch Energiewirtschaft*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Laperche, B.; Picard, F. (2013): *Environmental constraints, Product-Service Systems development and impacts on innovation management: learning from manufacturing firms in the French context*. *Journal of Cleaner Production*, 53, S. 118–128.
- Leimeister, J.M. (2014): *Collaboration Engineering: IT-gestützte Zusammenarbeitsprozesse systematisch entwickeln und durchführen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Leilah, A.; Boucher, X.; Moreau, V.; Zwolinski, P. (2014): *Scenarios as a Tool for Transition towards Sustainable PSS*. *Procedia CIRP*, 16, S. 122–127.
- Lüdeke-Freund, F. (2010): *Towards a Conceptual Framework of Business Models for Sustainability*. Knowledge Collaboration & Learning for Sustainable Innovation, ERSCP-EMSU conference, Delft.
- Mayring, P. (2001): *Combination and integration of qualitative and quantitative analysis*. In: *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*, 2(1).



- Mayring P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse*. In: Mey G.; Mruck K. (Hrsg.): *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Menski, U.; Gardemann, J. (2008): *Auswirkungen des Ausfalls Kritischer Infrastrukturen auf den Ernährungssektor am Beispiel des Stromausfalls im Münsterland im Herbst 2005*. Empirische Untersuchung im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).
- Mont, O.K. (2002): *Clarifying the concept of product-service system*. Journal of cleaner production, 10, S. 237–245.
- Mouli, G.R.C.; Leendertse, M.; Prasanth, V.; Bauer, P.; Silvester, S.; van de Geer, S.; Zeman, M. (2016): *Economic and CO2 Emission Benefits of a Solar Powered Electric Vehicle Charging Station for Workplaces in the Netherlands*. Electrification Conference and Expo (ITEC), S. 1–7.
- Mwasilu, F.; Justo, J.J.; Kim, E.K.; Do, T.D.; Jung, J.W. (2014): *Electric Vehicles and Smart Grid Interaction: A Review on Vehicle to Grid and Renewable Energy Sources Integration*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, S. 501–516.
- Myers, M.D. (2009): *Qualitative research in business & management*. Sage Publications Ltd, Thousand Oaks, CA.
- Myers, M.D.; Newman, M. (2007): *The qualitative interview in IS research: Examining the craft*. Information and Organization 17, S. 2–26.
- Neumann, H.-M.; Schär, D.; Baumgartner, F. (2012): *The Potential of Photovoltaic Carports to Cover the Energy Demand of Road Passenger Transport*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 20 (6), S. 639–649.
- Nunes, P.; Figueiredo, R.; Brito M., C. (2016): *The Use of Parking Lots to Solar-Charge Electric Vehicles*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66, S. 679–693.
- Oates, B. (2006): *Researching Information Systems and Computing*. SAGE Publications Ltd, Thousand Oaks, CA.
- Panos, E.; Densing, M.; Volkart, K. (2016): *Access to electricity in the World Energy Council's global energy scenarios: An outlook for developing regions until 2030*. Energy Strategy Reviews, 9, S. 28–49.
- Paul, H. (2014): *Unterbrechungsfreie Stromversorgung*. In: Töpler, J.; Lehmann, J. (Hrsg.): *Wasserstoff und Brennstoffzelle*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. S. 147–156.
- Peters, S. (2012): *Mit Struktur durch die Promotion – das Handwerkszeug zur Gliederung einer Dissertation*. In: Peters, S. (Hrsg.): *Gut beraten durch die Promotion*. Gabler Verlag, S. 57–65.
- Ratner, R.K.; Riis, J. (2014): *Communicating science-based recommendations with memorable and actionable guidelines*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111, S. 13634–13641.
- Reim, W.; Parida, V.; Örtqvist, D. (2015): *Product-Service Systems (PSS) business models and tactics – a systematic literature review*. Journal of Cleaner Production 97, S. 61–75
- Richardson, D.B. (2013): *Electric Vehicles and the Electric Grid: A Review of Modeling Approaches, Impacts, and Renewable Energy Integration*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, S. 247–254.
- Ridder, N. (2011): *Öffentliche Energieversorgungsunternehmen im Wandel: Wettbewerbsstrategien im liberalisierten deutschen Strommarkt*. Tectum Verlag DE, Marburg.
- Schlömer, S.; Bruckner, T.; Fulton, L.; Hertwich, E.; McKinnon, A.; Perczyk, D.; Wiser, R. (2014): *Annex III: Technology-specific cost and performance parameters*. Climate change, S. 1329–1356.
- Schneemann, C.; Weber, E.; Wolter, M. I.; Zika, G. (2020): *Welche Branchen sind ökonomisch systemrelevant?* Wirtschaftsdienst, 100(9), S. 687–693.

- Schwaber, K. (1997): *Scrum development process*. In: Patel, D.; Sutherland, J.; Mille, J. (Hrsg.): *Business object design and implementation*. Springer, London. S. 117–134.
- Steinbicker, J. (2001): *Zur Theorie der Informationsgesellschaft*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Thomas, O. (2006): *Management von Referenzmodellen. Entwurf und Realisierung eines Informationssystems zur Entwicklung und Anwendung von Referenzmodellen*. Logos-Verlag, Berlin (Wirtschaftsinformatik-Theorie und Anwendung, 1).
- Thomas, O.; Walter, P.; Loos, P. (2008): *Product-service systems: Design and usage of an engineering methodology*. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50, S. 208–219.
- Thomas, O. (2009): *Fuzzy Process Engineering: Integration von Unschärfe bei der modellbasierten Gestaltung prozessorientierter Informationssysteme*. Gabler, Wiesbaden.
- Thomas, O.; Walter, P.; Loos, P. (2010): *Konstruktion und Anwendung einer Entwicklungsmethodik für Product-Service Systems*. In: Thomas, O.; Loos, P.; Nüttgens, M. (Hrsg.): *Hybride Wertschöpfung*. Berlin, Heidelberg, Springer, S. 61–81
- Thomas, O.; Nüttgens, M.; Fellmann, M.; Krumeich, J.; Hucke, S.; Breitschwerdt, R.; Rosenkranz, N.; Schlicker, M.; Özcan, D.; Peris, M. (2014): *Empower Mobile Technical Customer Services (EMOTEC) – Produktivitätssteigerung durch intelligente mobile Assistenzsysteme im Technischen Kundendienst*. In: Nüttgens, M.; Thomas, O.; Fellmann, M. (Hrsg.): *Dienstleistungsproduktivität: Mit mobilen Assistenzsystemen zum Unternehmenserfolg*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 2–17.
- Tukker, A. (2004): *Eight types of product-service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet*. Business Strategy and the Environment, 4(13), S. 246–260.
- Vandermerwe, S.; Rada, J. (1988): *Servitization of Business: Adding Value by Adding Services*. European Management Journal, 6 (4), S. 314–324.
- VDE (2012): *VDE-Studie – Demand Side Integration – Lastverschiebungspotenziale in Deutschland*. Energietechnische Gesellschaft im VDE, Frankfurt am Main.
- von Weizsäcker, C.C.; Lindenberger, D.; Höfler, F. (2016): *Interdisziplinäre Aspekte der Energiewirtschaft*. Springer Vieweg.
- Webster, J.; Watson, R.T. (2002): *Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review*. MIS quarterly, S. 13–23.
- Wiesner, S.; Freitag, M.; Westphal, I.; Thoben, K.D. (2015): *Interactions between service and product lifecycle management*. Procedia Cirp, 30, S. 36–41.
- Würfel, P. (2015): *Die Basics: Begriffe der Stromwirtschaft*. In: Würfel, P. (Hrsg.): *Unter Strom*. Springer Spektrum, Wiesbaden. S. 35–47.
- Zafar, R.; Mahmood, A.; Razzaq, S.; Ali, W.; Naeem, U.; Shehzad, K. (2018): *Prosumer based energy management and sharing in smart grid*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, S. 1675–1684.

## **Teil B – Einzelbeiträge**

### Beitrag 1: Impacts of product-service systems on sustainability – a structured literature review

Titel	Impacts of product-service systems on sustainability – a structured literature review
Autoren	<b>Lucas Hüer</b> , Simon Hagen, Oliver Thomas, Hans-Jürgen Pfisterer
Publikationsorgan	10th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, IPS2 2018, Linköping
Ranking	WKWI: - / VHB JQ3: -
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	<b>Hüer, L.</b> ; Hagen, S.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2018): <i>Impacts of product-service systems on sustainability—a structured literature review</i> . Procedia CIRP, 73, S. 228–234.
Zusammenfassung	The increasing interest and dissemination of PSSs and their potential to be created and used in a more sustainable way than today's "regular" products is widely discussed in research and practice. Even though companies start shifting their business models to PSSs, they do not incorporate tools to implement economic, environmental and social sustainability. Existing literature widely discusses benefits and risks of PSSs regarding sustainability, but often does not provide sufficient solutions for sustainability-related problems. Therefore, we provide a basis for creating such solutions by carrying out a systematic literature review, analyse 71 scientific publications, and derive identified and relevant factors. Six PSS characteristics are determined and investigated to reach higher sustainability levels through PSSs
Identifikation	Online ISSN: 2212-8271
Link	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118305298">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118305298</a>
Copyright	© 2021 Elsevier B.V.

**Tab. 3.** Factsheet Beitrag 1

## Beitrag 2: Der CO<sub>2</sub>-Kompass: Konzeption und Entwicklung eines Tools zur emissionsarmen Stromnutzung

Titel	Der CO <sub>2</sub> -Kompass: Konzeption und Entwicklung eines Tools zur emissionsarmen Stromnutzung
Autoren	<b>Lucas Hüer</b> , Nico Stadie, Simon Hagen, Oliver Thomas, Hans-Jürgen Pfisterer
Publikationsorgan	Lecture Notes in Informatics (LNI) Proceedings; INFORMATIK 2019 Konferenz, Kassel
Ranking	WKWI: B / VHB JQ3: C
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	<b>Hüer, L.</b> ; Stadie, N.; Hagen, S.; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2019): <i>Der CO<sub>2</sub>-Kompass: Konzeption und Entwicklung eines Tools zur emissionsarmen Stromnutzung</i> . In: David, K.; Geihs, K.; Lange, M.; Stumme, G. (Hrsg.), <i>INFORMA-TIK 2019: 50 Jahre Gesellschaft für Informatik – Informatik für Gesellschaft</i> . Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 85, S. 559–570.
Zusammenfassung	Um Elektromobilität nachhaltiger zu gestalten, muss es die Möglichkeit geben, Elektrofahrzeuge zu jenen Zeitpunkten zu laden, an denen der Strom zu einem großen Teil aus erneuerbaren Quellen generiert wird. Hierfür wurde mit Hilfe der Scrum-Methode ein Software-System entwickelt, welches Endkunden die aktuelle Zusammensetzung des Strommix transparent anzeigen kann: der CO <sub>2</sub> -Kompass. In diesem Beitrag wird die Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Kompasses vorgestellt. Zudem soll verdeutlicht werden, warum dieses Tool wichtig für eine nachhaltigere, emissionsarme Stromnutzung in der Elektromobilität sein kann. Dabei wird nicht nur auf die Notwendigkeit des Systems als Dienstleistung eingegangen, sondern es wird auch beschrieben, wie das System aufgebaut ist und wie es in ein bestehendes Produkt (in diesem Fall eine Ladesäule) integriert werden kann.
Identifikation	DOI: 10.18420/inf2019_72 ISBN: 978-3-88579-688-6 ISSN: 1617-5468
Link	<a href="https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/25024">https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/25024</a>
Copyright	“Copyright is retained by the authors.”

**Tab. 4.** Factsheet Beitrag 2

### Beitrag 3: Adapting the CO<sub>2</sub>-Compass architecture to further optimize data generation methods – enhancing CO<sub>2</sub>-emission forecasts by minimizing the area of observation

Titel	Adapting the CO <sub>2</sub> -Compass architecture to further optimize data generation methods – enhancing CO <sub>2</sub> -emission forecasts by minimizing the area of observation
Autoren	<b>Lucas Hüer</b> , Hans-Jürgen Pfisterer, Helge Fischer, Sebastian Lawrenz, Oliver Thomas
Publikationsorgan	ICONS 2020 : The Fifteenth International Conference on Systems
Ranking	WKWI: - / VHB JQ3: -
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	<b>Hüer, L.</b> ; Pfisterer, H.J.; Fischer, H.; Lawrenz, S.; Thomas, O. (2020): <i>Adapting the CO<sub>2</sub>-Compass Architecture to Further Optimize Data Generation Methods</i> . ICONS 2020, 15, S. 78–83.
Zusammenfassung	Climate change is one of the most important social issues of recent years. Every new scientific insight and political decision makes it clear that innovative ways of attacking the climate change are needed. Minimizing emissions are especially important in order to stop the greenhouse effect and thus a source for global warming. Therefore, the software of the CO <sub>2</sub> -Compass was developed to provide a transparent overview of the electricity production and related CO <sub>2</sub> emissions. Containing the service of a 24-hour forecast of these data, the CO <sub>2</sub> -Compass serves as a control tool to decide when electrical devices should be used from an ecological point of view. This paper strives to improve the existing architecture of the tool, by adding new sources of data collection and thus optimize the outcome of all offered services by the CO <sub>2</sub> -Compass. Therefore, the main goal of this paper is to improve the existing architecture of the first monomythical prototype towards a flexible and expandable microservice-based architecture.
Identifikation	ISBN: 978-1-61208-771-9
Link	<a href="https://www.iaria.org/conferences2020/ProgramMMEDIA20.html">https://www.iaria.org/conferences2020/ProgramMMEDIA20.html</a>
Copyright	© IARIA 2020

**Tab. 5.** Factsheet Beitrag 3

## Beitrag 4: Developing innovative e-mobility solutions – photovoltaic carports as product-service systems

Titel	Developing innovative e-mobility solutions – photovoltaic carports as product-service systems
Autoren	<b>Lucas Hüer</b> , Oliver Thomas, Hans-Jürgen Pfisterer
Publikationsorgan	International Journal of Product Lifecycle Management
Ranking	VHB JQ3: C
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	<b>Hüer, L.</b> ; Thomas, O.; Pfisterer, H.J. (2020): <i>Developing Innovative E-Mobility Solutions – Photovoltaic Carports as Product-Service Systems</i> . International Journal of Product Lifecycle Management (IJPLM), 12(4), S. 269–285.
Zusammenfassung	Providing consumers with photovoltaic carports can be a promising and feasible way of combining private charging stations with decentralised renewable energy sources, thereby promoting electric mobility. However, the high level of technology and the connectivity of all parts of the system require a range of accessible services. Therefore, the production and sale of photovoltaic carports as product-service systems is considered a promising business model. To support companies that plan to offer photovoltaic carports and additional services as holistic systems, this article analyses the whole lifecycle of such a product-service system by combining research results from existing scientific literature with recent market trends that were obtained through a secondary desk research. The results serve as a foundation for creating new business models when producing and selling photovoltaic carports.
Identifikation	DOI: 10.1504/IJPLM.2020.112770
Link	<a href="http://www.inderscience.com/offer.php?id=112770">http://www.inderscience.com/offer.php?id=112770</a>
Copyright	© 2021 Inderscience Enterprises Ltd.

**Tab. 6.** Factsheet Beitrag 4

## Beitrag 5: Managing interdisciplinary collaboration in product-service systems engineering: insights from a mixed-method analysis of a student project

Titel	Managing interdisciplinary collaboration in product-service systems engineering: insights from a mixed-method analysis of a student project
Autoren	<b>Lucas Hüer</b> , Simon Hagen, Hans-Jürgen Pfisterer, Oliver Thomas
Publikationsorgan	International Journal of Product Development
Ranking	VHB JQ3: C
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	<b>Hüer, L.</b> ; Hagen, S.; Pfisterer, H-J.; Thomas, O. (2020): <i>Managing interdisciplinary collaboration in product-service systems engineering: insights from a mixed-method analysis of a student project</i> . International Journal of Product Development (IJPD), 24(4), S. 320–345.
Zusammenfassung	In recent years, a growing number of companies recognized that a large proportion of customers neglect the “classic” purchase of products and, instead, favor the acquisition of functions or solutions. As a result, multiple companies offer a mix of products and services designed to provide individual solutions. However, due to the complexity of integrated bundles of products and services, new approaches for developing such systems are required and a framework for companies for an efficient interdisciplinary collaboration is needed. By observing and analyzing an interdisciplinary student project in which a product-service system was developed, insights regarding interdisciplinary work are obtained and guidelines for collaboration are derived. The results will serve as a basis for organizing collaboration in other interdisciplinary projects. In order to obtain knowledge about relevant factors in the development of product-service systems, various methods of empirically quantitative and qualitative research were selected and integrated within a mixed method approach.
Identifikation	DOI: 10.1504/IJPD.2020.113167
Link	<a href="https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPD.2020.113167?journalCode=ijpd">https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPD.2020.113167?journalCode=ijpd</a>
Copyright	© 2021 Inderscience Enterprises Ltd.

**Tab. 7.** Factsheet Beitrag 5



## Beitrag 6: Nachhaltigere Gestaltung der Energiewirtschaft – Entwicklung elektrotechnischer hybrider Leistungsbündel zur emissionsarmen Stromnutzung

Titel	Nachhaltigere Gestaltung der Energiewirtschaft – Entwicklung elektrotechnischer hybrider Leistungsbündel zur emissionsarmen Stromnutzung
Autoren	<b>Lucas Hüer</b> , Helge Fischer, Hans-Jürgen Pfisterer, Oliver Thomas
Publikationsorgan	SmartHybrid Abschlussband: Hybride Wertschöpfung in der digitalen Transformation – Kundenzentrierte Lösungsangebote integriert entwickeln
Ranking	WKWI: - / VHB JQ3: -
Status	Zur Veröffentlichung angenommen
Bibliographische Information	<b>Hüer, L.</b> ; Fischer, H.; Pfisterer, H.J.; Thomas, O. (2021, im Druck): <i>Nachhaltigere Gestaltung der Energiewirtschaft – Entwicklung elektrotechnischer hybrider Leistungsbündel zur emissionsarmen Stromnutzung</i> . In: Thomas, O.; Kammler, F. (Hrsg.): <i>Hybride Wertschöpfung in der digitalen Transformation – Kundenzentrierte Lösungsangebote integriert entwickeln</i> . Springer, Berlin.
Zusammenfassung	Um dem stetigen Wandel der Energiewirtschaft, der in den vergangenen Jahrzehnten durch Themen wie Liberalisierung, Dezentralisierung und Sektorenkopplung vorangetrieben wurde, auch weiterhin gewachsen zu sein, muss das Wissen aus verschiedenen Disziplinen gekoppelt werden, um innovative technologische Lösungen zu entwickeln. Nur so können auftretende Probleme in der Energieerzeugung, der Energieübertragung und der Energienutzung gelöst werden. Im Fokus steht hierbei vor allem die Entwicklung hybrider Leistungsbündel, mit deren Hilfe die Komplexität der Systeme durch die Einbringung von Dienstleistungen verringert wird. In diesem Beitrag werden dementsprechend drei Prototypen aus dem Bereich der Energietechnik vorgestellt, die über das Potenzial verfügen, aktuelle Probleme in der Energiewirtschaft zu beseitigen und somit die zukünftige Energiewirtschaft zu prägen.
Identifikation	-
Link	-
Copyright	-

**Tab. 8.** Factsheet Beitrag 6

## 1 Einleitung

Die Energiewirtschaft befindet sich in einem stetigen Wandel, der sich seit der Liberalisierung der Energiemärkte in den 1990igern, dem technologischen und gesellschaftlichen Wandel zur Informationsgesellschaft und letztlich dem Mega-Trend der Energiewende immer weiter beschleunigt (Steinbicker, 2001; Hennicke & Fishedick, 2007; Ridder, 2011). Um allen neuen Anforderungen und Änderungen gerecht werden zu können, müssen fortwährend innovative Lösungsansätze entwickelt werden, um eine sichere, effiziente und emissions-arme Energieversorgung zu gewährleisten. Eine zentrale Herausforderung ist die Abkehr von fossilen Brennstoffen, mit denen in der Regel in großen Kraftwerken (z.B. aus Kohle) zentral Strom erzeugt wird. Diese haben in der Vergangenheit für eine kontinuierliche, planbare Stromproduktion mit 6.000-7.000 Volllaststunden pro Jahr (vgl. Brauner 2016, S.36) und wenig Leistungsschwankungen gesorgt. Durch die notwendige Abkehr von konventioneller Erzeugung mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen hin zu erneuerbaren Energien, hat sich die Situation in Richtung dezentraler und fluktuierender Stromproduktion gewandelt. Diese wird sowohl hinsichtlich der Strommengen als auch der Leistungen im großen Maße durch Wind und Sonneneinstrahlung beeinflusst. Im Rahmen der Diskussion zur Kopplung und zunehmenden Elektrifizierung aller Energiesektoren (d.h. neben Strom auch Wärme und Verkehr) steht immer wieder die intelligente und effiziente Sektorenkopplung im Fokus (Quaschnig, 2016). Problematisch ist, dass der Strombedarf durch diese zunehmende Elektrifizierung aller Sektoren auch zukünftig die Produktionsmengen erneuerbarer Energien übertreffen könnte. Umso wichtiger ist es, weiterhin Innovationen zur effizienten Nutzung bzw. Bedarfs- und Produktionssteuerung voranzutreiben. Zudem müssen die Potenziale, die sich in den letzten 20 Jahren durch die Aufspaltung alter gebündelter Monopole der Energiewirtschaft (d.h. Produktion, Handel und Energienetz) sowie durch die Öffnung für neue Marktteilnehmer und dem rasanten Fortschritt der IT - insbesondere zur Kompensation von Informationsdefiziten - ergeben haben, genutzt werden. Nur so können Wege gefunden werden, mit denen der Umstieg von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energien im Rahmen der Energiewende unterstützt werden kann.

Hier bieten die ingenieurwissenschaftliche Energietechnik sowie die Informatik einen interdisziplinären Ansatz, um Technologien zur Energieerzeugung, Energieverteilung und Energienutzung zu entwickeln. Dieser Beitrag diskutiert aktuelle Aspekte und Herausforderungen der deutschen Energiewirtschaft (Kapitel 3), beschreibt die Potenziale energietechnischer Entwicklungen für die Energiewirtschaft und stellt erste Prototypen aus der Energietechnik vor (Kapitel 4). Diese Prototypen wurden im Kontext der hybriden Wertschöpfung entwickelt, da die Integration von Dienstleistungen und Produkten einen vielversprechenden Ansatz darstellt, um die komplexen technologischen Anforderungen der Energiewirtschaft zu erfüllen. Im Zentrum dieser Entwicklungen steht der CO<sub>2</sub>-Kompass (Hüer et al., 2019; Hüer et al. 2020). Dieses Tool ermöglicht es Privatpersonen sowie Unternehmen transparente Informationen über tatsächliche CO<sub>2</sub> Emission bei der Erzeugung des aktuellen und in naher Zukunft bezogenen Stroms zu nutzen. So kann entschieden werden, ob alternativ zum Fremdbezug von Strom eine emissionsärmere Eigenproduktion gestartet werden soll, oder ob elektrische Verbraucher zu jenen Zeitpunkten genutzt werden, an denen die CO<sub>2</sub> Emissionen der Stromproduktion am geringsten sind. Des Weiteren werden die Prototypen eines Photovoltaik (PV) Carports und einer autarken, mobilen Ladesäule vorgestellt. Ziel ist es hierbei, zu verdeutlichen, wie die Energieerzeugung, Energieverteilung inklusive Energiespeicherung und Energienutzung in holistischen Produkt-Service Systemen dargestellt werden kann. Beide Systeme können zudem mit dem CO<sub>2</sub>-Kompass verbunden werden. Letztlich soll aufgezeigt werden, inwiefern die Energiewirtschaft durch innovative

Technologien optimiert wird und welche energietechnischen Entwicklungen als Bausteine bzw. Treiber der Energiewende dienen (Kapitel 5).

## 2 Methoden

In Kapitel 4 werden drei Innovationen aus der Energietechnik beschrieben und erläutert: CO<sub>2</sub>-Kompass, PV Carport und Mobile Ladesäule. Die Erstellung der jeweiligen Prototypen erfolgte durch verschiedene Herangehensweisen und Methodiken. Um den CO<sub>2</sub>-Kompass zu entwickeln wurde die Scrum-Methode eingesetzt (Schwaber, 1997; Gloger, 2010). Zuerst wurde für die Funktionen der Software ein Anforderungskatalog auf Basis eines Interviews mit einem Experten aus der Energiewirtschaft und dem Ladesäulenmanagement aufgestellt. Das so entstandene Product Backlog enthält somit alle funktionellen sowie nichtfunktionellen Anforderungen, die die Software erfüllen soll. Einzelne Anforderungen wurden nun in den Sprint-Phasen als Arbeitspakete eingeteilt und dem Entwicklerteam zugewiesen. Die Bearbeitung der Arbeitspakete wurde von einem Projektleiter beaufsichtigt und auf deren Vollständigkeit überprüft. Nach jedem abgeschlossenen Arbeitspaket wurde das Tool evaluiert und auf Basis der Evaluationsergebnisse entweder weiter verbessert oder die Arbeitsergebnisse wurden befürwortet und angenommen. In einem inkrementellen Prozess entstand so der CO<sub>2</sub>-Kompass gemäß des aufgestellten Anforderungskataloges (Hüer et al., 2019). Bei der Erstellung des PV Carports wurde anhand von Pflichten- und Lastenheft (Steinmetz, 1982; Teich, Kolbenschlag & Reiners, 2008) eine detaillierte Anforderung an das hybride Leistungsbündel und dessen zu erbringende Funktionalität gestellt. Im Rahmen eines hochschulinternen Designwettbewerbes wurden dann Vorschläge zur Errichtung eines PV Carport, welches die Anforderungen erfüllt, eingereicht. Eine Jury bewertete die Vorschläge und das erstplatzierte Design wurde entwickelt. So entstand auf einem Parkplatz eine Konstruktion aus Solaranlage, Batteriespeicher, Ladesäule und Netzanschluss, bei dem vor allem die Ausrichtung der PV-Paneele in jede Himmelsrichtung innovativ ist. Durch dieses besondere Design ist es möglich, unabhängig vom Stand der Sonne eine relativ konstante Energieerzeugung über den gesamten Tag hinweg zu generieren. Der dritte Prototyp, die mobile Ladesäule, wurde im Rahmen einer interdisziplinären studentischen Projektwoche in Kooperation der Disziplinen Maschinenbau, Mechatronik, Elektrotechnik, Informatik, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftswissenschaften entwickelt. Das Projekt wurde im Rahmen einer Mixed-Methods Analyse in Form von Interviews, Fragebögen und Shadowing (Johnson & Onwuegbuzie, 2004) begleitet um herauszufinden, welche Faktoren wichtig sind, um hybride Leistungsbündel durch interdisziplinäre Zusammenarbeit zu entwickeln und zu erstellen. In fünf Arbeitstagen entstand ein vollständiger Prototyp bestehend aus einem Transporter, welcher mit Solarzellen auf dem Dach und an der Seite ausgestattet wurde, und in dessen Laderaum ein Schaltschrank integriert wurde, der die generierte Solarenergie in einer Batterie speichert und diese für eine zusätzliche Ladesäule nutzen kann. Bevor die drei erfolgreich entwickelten Prototypen und deren Nutzen für die Energiewirtschaft vorgestellt werden, folgt nun zuerst eine Beschreibung der Energiewirtschaft und der Wandel in dem sie sich seit Jahrzehnten befindet.

## 3 Energiewirtschaft im Wandel

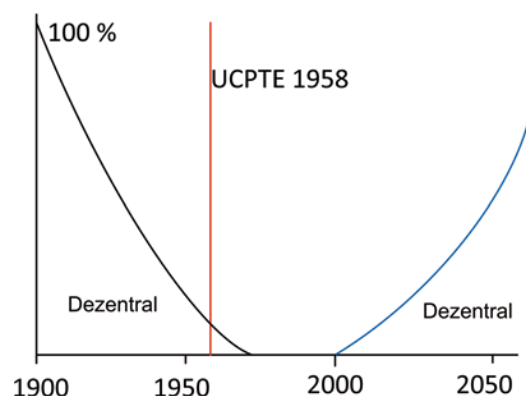
Die heutigen Herausforderungen für die deutsche Energiewirtschaft und deren Akteure stehen in enger Verbindung mit der Entstehung dieser Wirtschaft, und ihrer Entwicklung im Verlauf der vergangenen 100 Jahre (vereinfachend wird im Folgenden, falls nicht explizit erwähnt, nur die Stromwirtschaft und nicht die Gaswirtschaft betrachtet, wenn von Energiewirtschaft gesprochen wird). Der Wandel der Energiewirtschaft wird im Folgenden vor

allem anhand der Dezentralisierung der Stromerzeugung, inklusive Klimaschutzziele der Bundesregierung, und der Sektorenkopplung, als einer der zukünftigen Treiber der Energiewende, aufgezeigt.

### 3.1 Dezentralisierung der Stromerzeugung

In Anlehnung an Brauner (Brauner, 2016) wird nun zu erst ein kurzer geschichtlicher Abriss hin zur zunehmend dezentralen Stromerzeugung skizziert. Zu Beginn war es das Ziel der Elektrizitätsversorgung, mit Hilfe von dezentralen Stromerzeugungsanlagen, den Beleuchtungsbedarf benachbarter Gebäude mittels sternförmiger Inselnetze zu befriedigen (die Entwicklung der zentralen und dezentralen Stromversorgung kann in Abbildung 1 eingesehen werden). Hierbei waren es kleinere Privatunternehmen die sowohl Erzeugungsanlagen als auch Stromnetze besaßen. Problematisch war insbesondere, dass sich durch die räumliche Abgrenzung unregulierte monopolistische Marktstrukturen bildeten und Stromabnehmer vollständig von den Preisen und der Qualität der Energieerzeugung in ihrem kleinen Stromnetz abhängig waren. Zudem war die Finanz- und Investitionskraft der kleinen Versorgungsunternehmen oft sehr gering. Die Folge waren häufige Stromausfälle und eine unzuverlässige Stromversorgung, die sich vor allem aus nicht miteinander verbundenen Netzen und mangelnden Reservekapazitäten bei Ausfällen von Erzeugungsanlagen ergaben. Im frühen 20. Jahrhundert wurde immer deutlicher, dass das wirtschaftliche Wachstum und die technische Entwicklung eines Landes maßgeblich von einer sicheren und kostengünstigen Stromversorgung abhängig sind. Als Konsequenz hat der Gesetzgeber sie als öffentliche Aufgabe angesehen, und 1935 durch das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) große Versorgungsunternehmen aus der Fusion vieler kleinerer privater Versorger geschaffen. Ziel war hierbei die Stromversorgung auszubauen und zu sichern. Durch Demarkationsverträge wurden Gebietsmonopole geschaffen, wodurch der marktwirtschaftliche Wettbewerb bis 1998 mit der Novellierung des EnWG in den Hintergrund geriet.

Seit Ende des 19. Jahrhunderts ist die Übertragung von Wechselspannung auch über größere Entfernungen hinweg möglich. Es entstanden in Deutschland ab 1900 regionale Netze, die ab 1923 zu überregionalen Netzen zusammengeschlossen wurden. Der Aufbau eines 380kV-Hochspannungsnetzes und Zusammenschluss zu einem europäischen Übertragungsnetz (UCTPE-Netz) hat letztlich ab den 1960er Jahren zu einer sicheren, großflächigen Stromversorgung und günstigen Stromerzeugung durch fossile und nukleare Großkraftwerke gesorgt.



**Abb. 1** Zeitliche Entwicklung der zentralen und dezentralen Stromversorgung (Brauner, 2016)

Eine immer mehr an ihre kapazitiven und wettbewerblichen Grenzen stoßende Energiewirtschaft befand sich ab 1998 durch die europäische Liberalisierung und Öffnung der Monopolstrukturen der Strommärkte inmitten einer grundsätzlichen Veränderung. Bis dahin waren sowohl Kunden als auch Erzeuger von ihrem Energieversorgungsunternehmen, in ihrem durch Demarkation abgegrenzten Versorgungsgebiet, abhängig. Sie konnten weder alternative Lieferanten noch Stromabnehmer für überschüssige Energie frei wählen. Im Rahmen des sogenannten Unbundlings wurden die großen Energieversorgungsunternehmen in einen regulierten Bereich der Übertragung und Verteilung und einen nicht regulierten und im Wettbewerb stehenden Bereich der Energieerzeugung und des Energiehandels aufgespalten. Anschließend haben sich vier Wertschöpfungsstufen herauskristallisiert: Erzeugung, Transport, Handel und Vertrieb. Zudem konnten zunächst Großkunden, und ab 2007 alle Endkunden, ihren Energieversorger frei wählen. Neben den beschriebenen organisatorischen und wirtschaftlichen Veränderungen hat sich seit 1997 durch das Kyoto-Protokoll und spätestens seit 2015 durch die Folgebeschlüsse der UN-Klimakonferenz in Paris (Hook, 2019) mit den internationalen Vorhaben zur Begrenzung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ein nachhaltiger Wandel in der Energiewirtschaft ergeben. Deren klimawirksame Emissionen sollen bis 2050 auf annähernd Null reduziert werden (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2016). In Abbildung 2 sind die Ziele der Bundesregierung zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Klimaschutzplan 2050 aufgelistet.

Handlungsfeld	1990 (in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> -Äq.)	2014 (in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> -Äq.)	2030 (in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> -Äq.)	2030 (Minderung in % gegenüber 1990)
Energiewirtschaft	466	358	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	163	160	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	283	181	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	88	72	58 – 61	34 – 31 %
<b>Teilsomme</b>	<b>1.209</b>	<b>890</b>	<b>538 – 557</b>	<b>56 – 54 %</b>
Sonstige	39	12	5	87 %
<b>Gesamtsumme</b>	<b>1.248</b>	<b>902</b>	<b>543 – 562</b>	<b>56 – 55 %</b>

Quelle: Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung

**Abb. 2** Ziele der Bundesregierung zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2016)

So wurden vermehrt Gaskraftwerke (mit der Kopplung von Wärme und Strom) und eine Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien wie Biogas, Windkraft und Photovoltaik anstelle von Kohlekraftwerken und Atomkraftwerken ausgebaut (siehe Abbildung 3). In Deutschland wurde dies durch den 2000 bzw. 2011 beschlossenen Atomausstieg sowie die massive Förderung von erneuerbaren Energien im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG und dessen Neufassungen aus Bundesgesetzblatt, 2000) beschleunigt (Hook, 2019). Insbesondere die Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen und die Liberalisierung der Energiemärkte mit vielen wettbewerblichen Marktteilnehmern und freiem Marktzugang führen wieder zu einer deutlich kleinteiligeren und dezentraleren Stromversorgung. Die beschriebenen grundlegenden Veränderungen der Energiewirtschaft und Herausforderungen durch die Energiewende spiegeln sich auf allen Wertschöpfungsebenen wider. So müssen sich beispielsweise die Übertragungsnetzbetreiber an eine wandelnde und fluktuierende Energieerzeugung (insbesondere durch Wind in Norddeutschland) bei ebenfalls fluktuierenden Verbräuchen anpassen. Hier wird die jahrzehntelange räumliche Nähe

zwischen Stromerzeugung und -verbrauch immer mehr aufgelöst. Im Bereich der Stadtwerke muss sich auf Verteilnetzebene unter anderem auf ein durch Elektromobilität und dem verstärkten Einsatz von Wärmepumpen verändertes Abnahmeverhalten und die steigende Eigenerzeugung (z.B. durch Photovoltaik) eingestellt werden (Deckert und Saß, 2019, S.16ff), was sowohl zu Engpässen in der Netzinfrastruktur als auch zu Problemen der Systemstabilität im Tagesgeschäft führen kann. Jenseits des Betriebes von Stromnetzen verschwimmen immer mehr die Rollen des Erzeugers und des Verbrauchers in Gestalt der sogenannten Prosumer (Zafar et al., 2018). Diese Marktteilnehmer können kurzfristig vom Nachfrager zum Anbieter von Strom werden (und vice-versa), was die Komplexität im physischen Netz und der kommerziellen Wertflüsse deutlich erhöht. Der Bedarf an einer vollautomatischen Vernetzung der Energiemessung, des Energiemanagements und Abrechnung sowie Anforderungen an die Datensicherheit werden hierdurch weiterhin steigen (Brauner, 2016, S.30f). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es einerseits durch die Trennung der Marktrollen deutlich schwieriger wird, eine Informationstransparenz zur effizienten Nutzung und Steuerung vorhandener Netzressourcen, sowie die optimale Nutzung einer flexiblen Stromerzeugung und Stromabnahme sicherzustellen. Andererseits entsteht ein weitreichendes Feld für Innovationen, um entstehende Lücken zu schließen und neue, effiziente Lösungsideen sowie Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln. Hier kommt unter anderem die hybride Wertschöpfung ins Spiel, welche durch eine intelligente Kopplung von Produkten und Dienstleistungen zu ganzheitlichen Lösungen viele der komplexen Probleme der Energiewirtschaft bezüglich dezentraler Energieerzeugung oder Steuerung der Stromflüsse beheben kann.

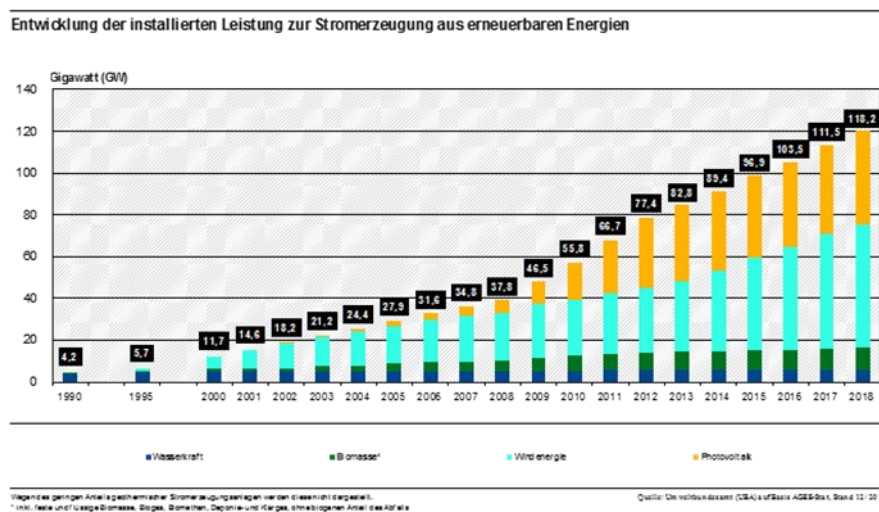
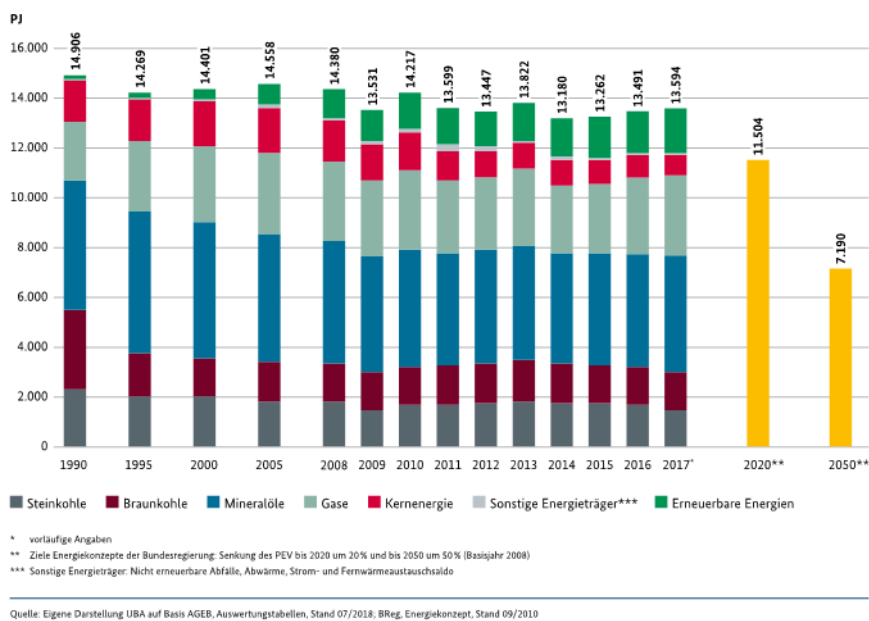


Abb. 3 Installierte Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien (UBA, 2019)

### 3.2 Sektorenkopplung

Ein weiterer Aspekt und Treiber des Wandels im Rahmen der Energiewende ist die sogenannte Sektorenkopplung, welche maßgeblich zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen beitragen kann (Brauner, 2019). Die emissionsarme Energieversorgung wird überwiegend durch die Erzeugung von Strom mit Hilfe von Windkraft und Photovoltaik sichergestellt. Hierbei entstehen drei wesentliche Herausforderungen:

- Strom ist nur mit Energieverlusten durch Umwandlung, z.B. in Pumpspeicherkraftwerken, Batteriespeichern oder Wasserstoff durch Elektrolyse (Reihenfolge mit stark ansteigenden Verlusten), physisch speicherbar.
- Eine hohe Volatilität bzw. niedrige Volllaststundenzahl in der Stromerzeugung (Abhängigkeit von Wind und Sonnenstrahlung) führt zu schwer nutzbaren Stromüberschüssen und Zwangsabschaltung von Erzeugungsanlagen.
- Nicht in allen Energiesektoren (d.h. Strom, Wärme und Mobilität) ist eine Leistungsbereitstellung durch erneuerbare Energien hinreichend etabliert. In der Wärmeerzeugung werden überwiegend fossile Brennstoffe wie Heizöl und Erdgas, und in der Mobilität fossile Treibstoffe wie Diesel und Benzin verwendet.



**Abb. 4** Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland nach Energieträgern (BMWi, 2019)

Die Sektorenkopplung verfolgt in diesem Kontext das Ziel, alle Energiesektoren zu koppeln, um dadurch verfügbare Energie aus erneuerbaren Quellen vollständig und möglichst effizient sektorübergreifend zur Verfügung zu stellen. Hierbei soll vor allem auf hohe Wirkungsgrade, also die Vermeidung von großen Umwandlungsverlusten, geachtet werden. Technologien, die sich im Umfeld der Diskussion der Sektorenkopplung etabliert haben, werden allgemein als Power-to-X-Technologien bezeichnet und können einerseits aus dem Blickwinkel der umgewandelten Energieform (Strom zu: Wärme, Gas und flüssigen Kohlenwasserstoffen spricht: Power-to-Heat, Power-to-Gas und Power-to-Liquid) und andererseits dem Verwendungszweck (Strom für: Strom, Mobilität, Treibstoff spricht: Power-to-Power, Power-to-Mobility, Power-to-Fuel) betrachtet werden (Brauner, 2019). Letztlich soll der Einsatz der in Abbildung 4 dargestellten fossilen Energieträger schrittweise reduziert werden. Durch die oben beschriebene Kopplung der Energiesektoren sowie den Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor und die Stärkung erneuerbarer Gase (wie Biogas) soll eine effiziente Alternative nachhaltig etabliert werden. Die Nutzung von CO<sub>2</sub>-emissionsfreien Wasserstoff im Wärme- und Mobilitätssektor stellt wegen der extrem hohen Wandlungsverluste einen Sonderfall der Power-to-X Technologien dar und sollte nur dort eingesetzt werden wo andere Technologien nicht verfügbar sind oder massive technologische Nachteile mit sich bringen würden (z.B. batteriebetriebenes Flugzeug).

Betrachtet man die Sektorenkopplung aus IT Sicht, so ist sie nur effizient möglich, wenn transparente Informationen über alle Akteure und zu koppelnden Systeme zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund wird dem Bereich der Informationstechnologien und insbesondere damit verbundenen Disziplinen bezüglich Datenanalyse, Schnittstellen und Kommunikation eine wachsende Rolle zugesprochen. Hierbei geht es nicht nur um einen bedarfsorientierten und effizienten Energieaustausch zwischen zwei Sektoren (wie beispielsweise Strom und Mobilität), sondern auch um die wirtschaftliche Nutzung und Entwicklung neuer hybrider Geschäftsmodelle, wobei die Resilienz des elektrischen Energieversorgungssystems weiterhin höchste Priorität haben muss. Die mit der Sektorenkopplung immer stärker zunehmende Abhängigkeit der Grundbedürfnisse der Bevölkerung vom jederzeit sicheren und resilienten Betrieb des Stromnetzes muss Rechnung getragen werden.

## **4 Hybride Wertschöpfung aus der Energietechnik und Potenziale für die Energiewirtschaft**

Die gegenwärtige sowie die zukünftige Energiewirtschaft steht vor einigen Problemen, welche sich durch Themen wie die Energiewende, die voranschreitende Digitalisierung gesellschaftlicher und unternehmerischer Prozesse, einen notwendigen Ausbau der Netze, der Problematik effiziente Speichermedien zu entwickeln oder auch der Entwicklung der Elektromobilität verfestigen. Die Elektrizitätsversorgung zählt als einer der wichtigsten Bestandteile für ein funktionierendes gesellschaftliches Zusammenleben, denn „ohne Elektrizität wird in der modernen Gesellschaft praktisch alles stillgelegt [...] Studien zeigen, dass die Gesellschaft innerhalb weniger Wochen nach einem massiven Stromausfall ins Chaos geraten würde“ (vgl. Rifkin, 2014; S. 292). Szenarien wie diese sind vermeidbar indem Länder ein zuverlässiges und robustes Stromnetz bereitstellen, das effektiv auf Diskrepanzen in Stromangebot und Stromnachfrage reagiert. In einer Zeit, in der dezentrale Energieerzeugung über Photovoltaik-Module oder Windkraftanlagen in großem Maßstab installiert wird, ist es allerdings entscheidend, Möglichkeiten zur Steuerung und Optimierung des Stromnetzes zu finden. Diese zusätzlichen Möglichkeiten der Energieerzeugung sowie ein steigender Energiebedarf sind Gründe für eine rapide steigende Komplexität der Energieverteilung. Um dieses Problem zu lösen, investieren viele Industrie- und Entwicklungsländer in den Ausbau ihrer derzeitigen Netzstrukturen und in den Bau innovativer intelligenter Netze (Gungor et al., 2011; Fadaeenejad et al., 2014; Budka, Deshpande & Thottan, 2016). Insbesondere im Bereich der elektrischen Energietechnik gibt es hohe Potenziale, um innovative Lösungsansätze für die gesamte Energieversorgungskette zu entwickeln. Im Folgenden werden einige Beispiele genannt, die verdeutlichen, inwiefern kundenzentrierte, energietechnische Lösungen durch den Einsatz hybrider Leistungsbündel generiert werden können.

### **4.1 Der CO<sub>2</sub>-Kompass – Steuerelement für Stromproduktion und -nutzung**

Wie bereits beschrieben, dient der CO<sub>2</sub>-Kompass als energiewirtschaftliches Werkzeug um die indirekten, stromproduktionsbezogenen Emissionen von Haushalten und Unternehmen zu steuern (Hüer et al., 2019; Hüer et al., 2020). Jeder beliebige elektrische Verbraucher, dessen Last verschiebbar ist, kann mit Hilfe der Software an jenen Zeitpunkten mit Energie versorgt werden, an denen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromproduktion ihren geringsten Tageswert haben. Die Möglichkeit der transparenten Darstellung der aktuellen sowie der prognostizierten Emissionen bietet mehrere Einsatzpotenziale, bei denen Dienstleistungen



und Produkte so gekoppelt werden, dass kundenspezifische Lösungen angeboten werden können. Diese Lösungen werden in den folgenden drei Unterkapiteln weiter vorgestellt.

#### 4.1.1 Transparente Darstellung und Vorhersage der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Nutzung des CO<sub>2</sub>-Kompass birgt in erster Linie die Möglichkeit, jene Emissionen, die mit der Stromproduktion der deutschen Netzbetreiber zusammenhängen, transparent aufzuzeigen und eine 24-stündige Vorhersage zu geben. So kann dem Kunden aufgezeigt werden, wie viel CO<sub>2</sub> emittiert wird, um einen seiner elektrischen Verbraucher mit Strom zu versorgen und zu welcher Zeit der kommenden 24 Stunden der ökologisch günstigste (oder ungünstigste) Zeitpunkt der Stromabnahme ist. Der CO<sub>2</sub>-Kompass kann also als Steuerelement für eine ökologisch geprägte Lastverschiebung dienen. Dies kann dem Kunden durch ein Ampelsystem auf seinem Endgerät (App auf dem Smartphone oder ein anderes Interface) angezeigt werden, sodass er die Tageszeiten mit dem geringsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß in grün angezeigt bekommt und Zeiten mit hohen Emissionen in rot präsentiert werden. So kann der Kunde selber entscheiden, wie er die Informationen nutzt und zu welchen Zeitpunkten er seine Verbraucher mit Energie versorgt.

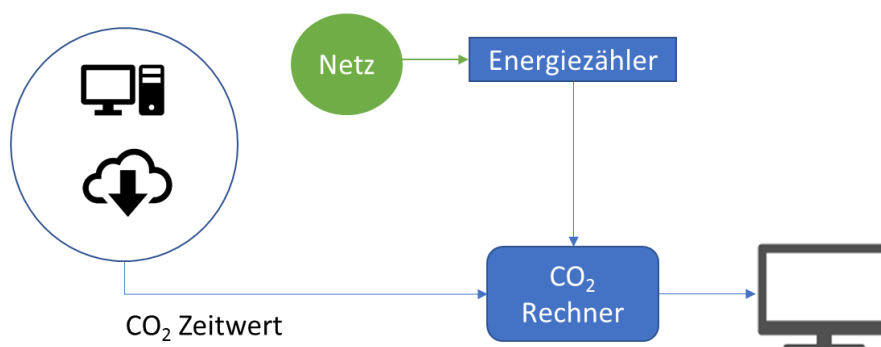


Abb. 5 Transparenz der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Einsatz des CO<sub>2</sub>-Kompass

#### 4.1.2 Optimierte Gerätenutzung zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen

In einem zweiten Schritt kann eine solche Lastverschiebung auch automatisch erfolgen, indem die elektrischen Verbraucher über ein Control Gateway direkt mit dem CO<sub>2</sub>-Kompass kommunizieren. Dies kann zum Beispiel über einen eigens angefertigten Zwischenstecker erfolgen, der die Informationen über die Emissionen regelmäßig vom CO<sub>2</sub>-Kompass bekommt und den angeschlossenen Verbraucher automatisch zu den bestmöglichen Zeiten mit Energie versorgt. In der Praxis könnte so ein Elektroauto, welches über einen längeren Zeitraum auf einem Parkplatz mit einer integrierten E-Ladesäule steht, zum ökologisch sinnvollsten Zeitpunkt laden. Damit der Fahrzeug-Besitzer allerdings nicht komplett auf die automatische Einleitung des Ladevorganges angewiesen ist, können Rahmenbedingungen eingegeben werden, wie zum Beispiel ein bestimmter Batteriestand der erreicht werden muss, bevor der restliche Ladevorgang automatisch optimiert wird. Weitere Verbraucher für die eine automatische Optimierung der Energieversorgung möglich ist, sind Wärmepumpen, Kühlhäuser oder Waschmaschinen.

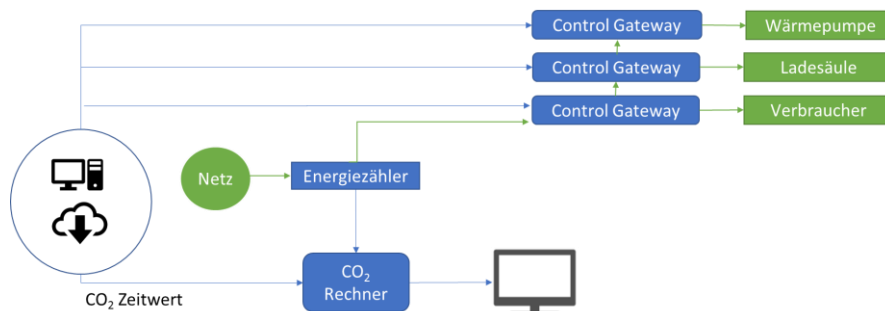


Abb. 6 Automatische Gerätenutzung zu Zeiten mit den geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen

#### 4.1.3 Erstellung neuer erneuerbarer Energiequellen um eigenen Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu minimieren

Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen langfristig und nachhaltig zu minimieren, müssen neue emissionsarme Energieerzeuger aus erneuerbaren Energiequellen erstellt werden. Hier kann der CO<sub>2</sub>-Kompass als Indikator wirken, der durch seine transparente Darstellung aktueller Emissionswerte und die integrierte Vorhersagefunktion errechnen kann, ob es sich für einen Kunden lohnt eine eigene dezentrale Energieerzeugung (z.B. in Form einer PV Anlage) anzuschaffen. So könnte für einen Kunden, der sehr energieintensive Prozesse hat, welche nur wenig lastverschiebbar sind, ein eigenes dezentrales Energiekonzept erstellt werden. Hierbei kann die Energieerzeugung über eine Solaranlage auf dem eigenen Dach oder auch durch eine kleine Windkraftanlage erfolgen. Die erzeugte Energie kann durch stationäre Energiespeicher auch zu den Zeiten genutzt werden, an denen die Energieerzeugung auf Grund der Wetterlage nur gering oder gar nicht verfügbar ist. Die Reduktion der strombasierten CO<sub>2</sub>-Emissionen kann dem Unternehmen wiederum durch einen Zertifizierer bestätigt werden und in Zukunft als Marketinginstrument verwendet oder zu Steuererstattungen führen.

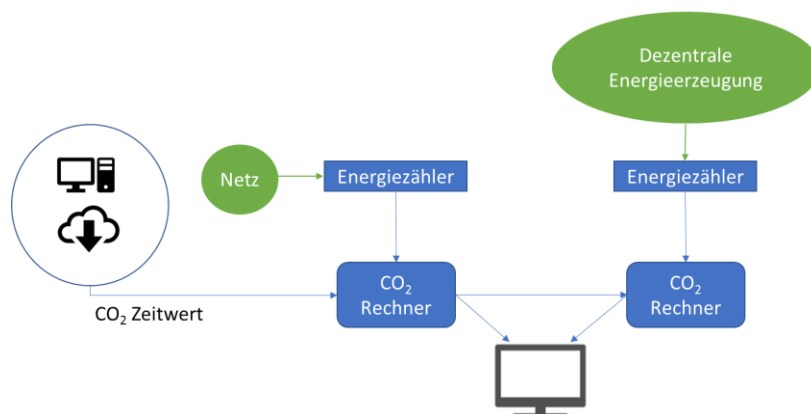


Abb. 7 Erstellung neuer dezentraler, erneuerbarer Energiequellen

#### 4.2 Dezentrale Stromproduktion, -speicherung und -nutzung über ein PV-Carport

Eine dezentrale Lösung um Strom zu produzieren, zu speichern und zu nutzen, erfolgt durch die Kombination aus Produkten und Dienstleistungen, aus denen ein Photovoltaik-Carport (PV-Carport) erstellt und angeboten wird. Ein solcher PV-Carport bezeichnet ein System, das aus einem mit PV-Modulen überdachten Parkplatz besteht, welches sowohl mit einer Ladestation für ein Elektrofahrzeug als auch mit einer Batterie verbunden ist. Die stationäre

Batterie hat die Aufgabe, jene Energiemenge zu speichern, die weder zum Laden des Elektrofahrzeugs noch zur Einspeisung in das Stromnetz verwendet wird. Der hohe Grad an technologischer Komplexität sowie die Konnektivität der verschiedenen Systemteile erfordert die enge Einbindung von Dienstleistungen (Vandermerwe & Rada, 1988), weshalb ein PV-Carport als ein hybrides Leistungsbündel angeboten wird. Für die Entwicklung eines PV-Carports in Form eines hybriden Leistungsbündels ist es wichtig, das Fahrverhalten des/der Kunden inklusive (voraussichtlichem) Ladeverhaltens mit Hilfe eines Datenloggers zu analysieren um zu bestimmen, welche Produkt- und Dienstleistungsaspekte für den Kunden in Frage kommen. Es sollen mehrere Produktteile und Serviceangebote miteinander verknüpft werden um dem Kunden die gewünschte Lösung in Bezug auf Kosten, Effizienz und Innovation zur Verfügung zu stellen. Um die maximale Energiemenge zu erzeugen, müssen zudem Faktoren wie der Standort oder die Art, Ausrichtung und Neigung der Solarzellen berücksichtigt werden. In Abbildung 8 wird ein Design präsentiert, in welchem die Solarmodule in jede der vier Himmelsrichtungen zeigen, sodass die Energiezufuhr zu allen Tageszeiten relativ konstant bleibt. Zusätzlich zur Errichtung der PV-Anlage, muss die Ladefrastruktur angeschlossen werden. Um auch zu Zeiten mit geringem Eigenstromanteil eine stetige Energieversorgung gewährleisten zu können, kann ein stationärer Speicher die überschüssige Energie speichern. Sollte auch dieser Speicher leer sein, kann die nötige Energie aus dem Netz bezogen werden. Hier kann eine Kopplung mit dem CO<sub>2</sub>-Kompass erfolgen um zu gewährleisten, dass der Netzstrom so geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen wie möglich aufweist. Somit sorgt das Zusammenspiel von Produkt (Hardware des PV Carport) und Dienstleistung (Software des CO<sub>2</sub>-Kompass) für die Erfüllung des Kundenwunsches einer emissionsarmen Stromzufuhr. Sobald das hybride Leistungsbündel geliefert wurde und einsatzbereit ist, sorgen Wartungs- und Säuberungsdienstleistungen für eine kontinuierliche Stromproduktion.



**Abb. 8** Design eines PV Carports (Bildrechte: PLAN.CONCEPT Architekten GmbH)

### 4.3 Mobile Stromproduktion, -speicherung und -nutzung am Beispiel der mobilen Ladesäule

Mithilfe einer mobilen und autarken Lösung zur Gewinnung, Speicherung und Nutzung von Energie kann eine kurzfristige, örtliche Netzentlastung geschaffen werden. Hierfür wurde eine mobile Ladesäule zur Beladung von Elektrofahrzeugen oder anderen elektrischen Verbrauchern entwickelt, indem ein Transporter an den Außenseiten und auf dem Karosseriedach mit mechanisch-verstellbaren Solarzellen ausgestattet wurde, welche über eine Verkabelung mit der Fahrzeugbatterie, einem externen Batteriespeicher und einer Ladesäule im Transportraum verbunden sind. Durch die Solarzellen wird Energie gewonnen, die anschließend zur Versorgung des Fahrzeuges und der Ladesäule dient. Über die Ladesäule können dann andere Elektrofahrzeuge aufgeladen werden. Es handelt sich also um ein

ähnliches Modell wie das in 4.2 beschriebene PV-Carport; allerdings bietet die Mobilität dieses Systems weitere Einsatzmöglichkeiten um kurzfristig für eine örtliche Netzentlastung zu sorgen. So kann die mobile Ladesäule für Großereignisse genutzt werden, bei denen es ein erhöhtes Parkaufkommen gibt und nicht genügend Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge vorhanden sind. Diese erhöhte Lade-Nachfrage kann durch die eigens gewonnene und gespeicherte Energie kurzfristig abgedeckt werden. Die zur Verfügung gestellte Energie kann aber auch für andere Zwecke genutzt werden und ist nicht ausschließlich für die Erweiterung der Ladeinfrastruktur anzusehen. Das Fahrzeug kann als Servicefahrzeug für liegengeliebene Elektrofahrzeuge genutzt werden. Der erzeugte und gespeicherte Strom kann auch für andere elektrische Verbraucher (wie z.B. Beleuchtung) genutzt werden, weshalb diese mobile Lösung auch als kurzfristige Erweiterung des Stromnetzes gesehen werden kann. Über einen mit Solarzellen und Batterie ausgestatteten Anhänger kann die Stromgewinnung sogar noch erweitert werden.



Abb. 9 Mobile, Autarke Ladesäule

## 5 Zukunft der Energiewirtschaft im Kontext hybrider Wertschöpfung

Es ist absehbar, dass die Entwicklung hybrider Leistungsbündel auch in den kommenden Jahren einen großen Einfluss auf die Energiewirtschaft haben wird. Denn durch die hohe technologische Komplexität der Energieversorgung und die Verbindung verschiedenster Prozesse wie Energiegewinnung, Energieübertragung oder auch Energienutzung, nimmt der Bedarf an zugänglichen Dienstleistungen zu (Vandermerwe & Rada, 1988). Auch der voraussichtliche Druck den Verbraucher auf die Nachhaltigkeit von Produkten und Dienstleistungen auswirken, wird vermutlich zu einem Anstieg in der Entwicklung von nachhaltigen Produkt-Service Systemen innerhalb der Energiewirtschaft führen (Mont, 2002; Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH & PricewaterhouseCoopers AG WPG, 2016). Auf der Suche nach neuen technologischen Lösungen für die Probleme der Energiewirtschaft werden vor allem interdisziplinäre Aspekte eine immer höhere Bedeutung erlangen (von Weizsäcker, Lindenberger, & Höffler, 2016). Ein gutes Beispiel für die Wichtigkeit der interdisziplinären Zusammenarbeit in der Entwicklung von hybriden Leistungsbündeln für die Energiewirtschaft konnte in der Projektarbeit für die mobile, autarke Ladesäule beobachtet werden. In der Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Disziplinen ist deutlich geworden, dass folgende Faktoren (*kursiv*) immens wichtig für eine erfolgreiche interdisziplinäre Kollaboration sind:

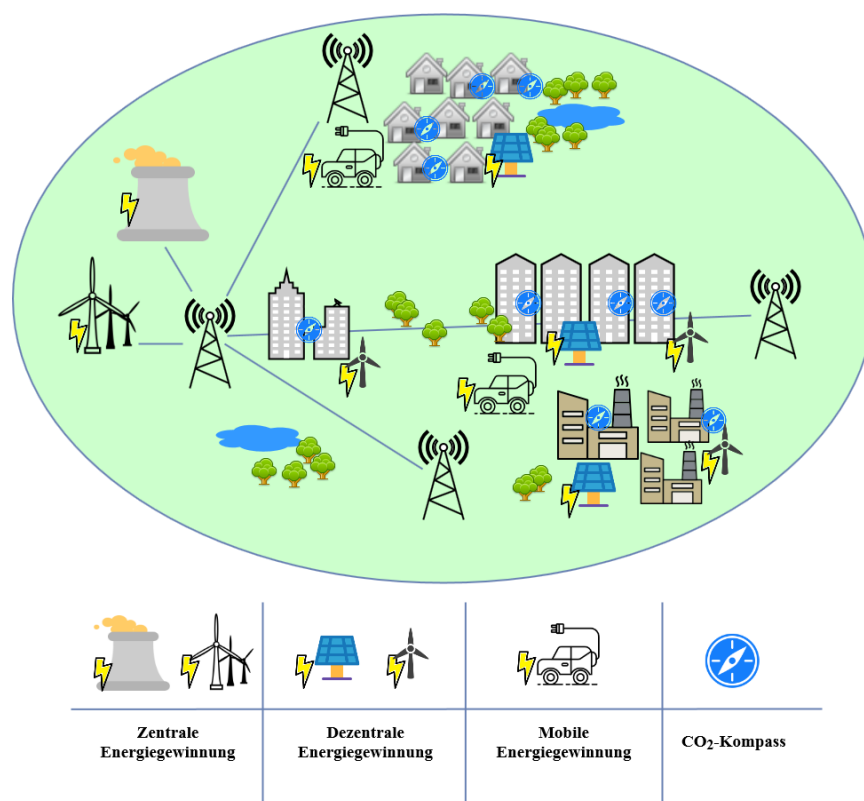
- Projektmitarbeiter sollten ein fundiertes *Expertenwissen* – idealerweise durch *praktische Erfahrung* – im eigenen Disziplinarbereich aufweisen und ein gewisses

*Grundlagenwissen über die anderen involvierten Disziplinen* haben. Über einen stetigen, gemeinsamen Austausch führt diese Wissensbasis zu einem *gemeinsamen Verständnis* mit welchem die gemeinsamen Ziele erreicht werden können.

- Um einen solchen gemeinsamen Austausch zu ermöglichen, muss eine stetige *Kooperation der Disziplinen* stattfinden. Dies wird durch eine *einheitliche Sprache*, einem geeigneten *Kommunikationsumfeld*, einer *konstruktiven Arbeitsatmosphäre* und einem aufeinander abgestimmten *Zeitmanagement* ermöglicht. Zudem müssen vor dem Projekt *Führungsrollen* für jede teilnehmende Disziplin bestimmt werden, über die der interdisziplinäre Austausch organisiert werden soll.
- Weitere wichtige Faktoren im Laufe einer interdisziplinären PSS-Entwicklung sind die *Zielorientierung* der einzelnen Teilnehmer, deren Ansätze zu *kreativen Problemlösungen*, einer ausgewogenen *Gruppenzusammensetzung* und einer *Nachbereitung der Ergebnisse und der Kooperation* um zukünftige interdisziplinäre Projekte zu optimieren.

Durch Beachtung dieser Faktoren verlief die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren, Informatikern und Wirtschaftswissenschaftlern sehr produktiv, sodass die Entwicklung des hybriden Leistungsbündels (mobile, autarke Ladesäule) sehr erfolgreich war. Auch für weitere innovative Entwicklungen in der Energiewirtschaft, ist es wichtig bestimmte Faktoren zu beachten und zur Verfügung zu stellen, um ein produktives Arbeitsumfeld zu schaffen. So wurde zum Beispiel auch der CO<sub>2</sub>-Kompass in einer interdisziplinären Zusammenarbeit effektiv weiterentwickelt (Hüer et al., 2020).

Betrachtet man nun die in Kapitel 4 beschriebenen innovativen hybriden Leistungsbündel im Kontext der gesamten Energiewirtschaft, könnte die zukünftige Energieversorgung wie folgt aussehen. Haushalte, Unternehmen und alle weiteren Teile der Gesellschaft, die Energie benötigen, werden durch dezentrale Energiequellen sowie Steuerelemente deutlich zur Energiegewinnung und Steuerung der Energieflüsse beitragen. Die eigenen dezentralen Energiequellen (Solaranlage, Biogasanlage, Windkraftanlage etc.) sollen den Eigenverbrauch so gut es geht abdecken und so die zentrale Stromzufuhr über das Netz entlasten. Gleichzeitig müssen neue dezentrale Erzeugungseinheiten die Möglichkeit eines kontrollierten Inselbetriebs aufweisen um im Krisenfall dem Bürger eine erhöhte Resilienz bieten zu können. Sollten die dezentralen Energiequellen nicht ausreichen um einen bestimmten Bedarf abzudecken, wird die restliche Energie aus dem zentralen Energienetz hinzugezogen. Steuerelemente sollen es dem Kunden hierbei ermöglichen, anhand verschiedener Kriterien (Strompreis, CO<sub>2</sub>-Emissionen etc.) die jeweilige Stromzufuhr aus zentralen Energiequellen zu beeinflussen. Um zum Beispiel die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die Stromproduktion ausgestoßen werden, zu minimieren, kann der CO<sub>2</sub>-Kompass als Steuerelement dienen. Dieser kann die Emissionen in einem ersten Schritt transparent anzeigen und über eine 24-stündige Vorhersage jenen Zeitpunkt bestimmen, an dem der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Stromproduktion am geringsten ist, sodass die Nutzung elektrischer Verbraucher optimiert werden kann. Eine solche Geräte-Optimierung kann auch automatisch über Control Gateways erfolgen. In einem weiteren Schritt kann der CO<sub>2</sub>-Kompass als Indikator dienen, der Kunden anzeigt, ob es sich für sie lohnt, eigene dezentrale Energiequellen anzuschaffen um den eigenen Energieverbrauch abzudecken. In Ausnahmefällen, an denen die Kombination aus zentralen und dezentralen Energiegewinnungsquellen nicht für die örtliche Energienachfrage genügt, können mobile Energiegewinnungsquellen für eine kurzfristige Netzstabilisierung sorgen. Dies kann zum Beispiel durch die mobile, autarke Ladesäule erfolgen. Das Zusammenspiel zwischen zentraler, dezentraler und mobiler Energiegewinnung sowie die Steuermöglichkeit von Haushalten und Unternehmen mit Hilfe des CO<sub>2</sub>-Kompass sind in Abbildung 10 dargestellt.



**Abb. 10** CO<sub>2</sub>-Kompass als Steuerelement für zentrale, dezentrale und mobile Energiegewinnung

Neben dem Zusammenspiel zwischen zentraler, dezentraler und optional auch mobiler Energiegewinnung sowie der Steuerung der Stromflüsse, wird die Energiewirtschaft der Zukunft vor allem durch Trends wie Digitalisierung, Globalisierung, Sektorenkopplung oder dem Klimawandel geprägt. „Auf den Märkten wird Nachhaltigkeit zum entscheidenden Wettbewerbskriterium. [Eine] nicht-nachhaltige Produktion wird als unethisch angesehen und abgelehnt, [vor allem im Bezug auf ...] CO<sub>2</sub>-Emissionen“ (vgl. Seite 7 aus Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH & PricewaterhouseCoopers AG WPG, 2016). Durch das gestiegene Bewusstsein für Nachhaltigkeit unter vielen Verbrauchern und stärkeren Regulierungen bezüglich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, gibt es einen Anstieg im Verkauf von Elektrofahrzeugen. Somit ist „die digitale Steuerung des Verkehrs und das Verschmelzen mit der städtischen Stromversorgung“ (vgl. Seite 7) in Zukunft möglich, und durch eine gezielte Sektorenkopplung können hohe Effizienzsteigerungen im Vergleich zur konventionellen mit Verbrennungsmaschinen angetriebenen Mobilität ermöglicht werden. Durch bidirektionale Speichermöglichkeiten von Elektrofahrzeugen, könnten diese in Zukunft auch als mobile Energiespeicher fungieren wodurch das Netz wiederum entlastet werden könnte. Insgesamt kann festgehalten werden, dass sich das Expertenwissen und die technischen Möglichkeiten auf dem Gebiet der Energiewirtschaft so rasant entwickeln, dass in Zukunft viele Probleme durch innovative Produkt- und Dienstleistungsentwicklungen gelöst werden können. Über eine interdisziplinäre Kollaboration kann zudem sichergestellt werden, dass ein holistischer Ansatz bei der Problemlösung eingeschlagen wird.

## 6 Literaturverzeichnis

- Brauner, G. (2016): *Energiesysteme: regenerativ und dezentral*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Budka, K. C., Deshpande, J. G., & Thottan, M. (2016): *Communication networks for smart grids*. Springer London Limited.
- Bundesgesetzblatt (2000): *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes*, I, S. 305: 29.3.2000.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2016): *2050—Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Berlin, Germany.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH & PricewaterhouseCoopers AG WPG (2016): *Delphi Energy Future 2040: Delphi-Studie zur Zukunft der Energiesysteme in Deutschland, in Europa und in der Welt im Jahr 2040*. Ergebnisband. Berlin. Abgerufen unter [https://www.pwc.de/de/energiewirtschaft/assets/delphi\\_energy\\_future\\_2040.pdf](https://www.pwc.de/de/energiewirtschaft/assets/delphi_energy_future_2040.pdf)
- Deckert, R., & Saß, A. (2019): *Digitalisierung und Energiewirtschaft: Technologischer Wandel und wirtschaftliche Auswirkungen*. Springer-Verlag.
- Fadaeenejad, M., Saberian, A. M., Fadaee, M., Radzi, M. A. M., Hizam, H., & AbKadir, M. Z. A. (2014): *The present and future of smart power grid in developing countries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 828-834.
- Gloger, B. (2010): *Scrum*. Informatik-Spektrum, 33(2), 195-200.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011): *Smart grid technologies: Communication technologies and standards*. IEEE transactions on Industrial informatics, 7(4), 529-539.
- Hennicke, P., & Fishedick, M. (2007): *Erneuerbare Energien: mit Energieeffizienz zur Energiewende*. (Vol. 2412). CH Beck.
- Hook, S. (2019): *Klimawandel und Paradigmenwechsel in der Energiewirtschaft*. In: Einführung in die Regenerative Energiewirtschaft (pp. 135-152). Springer VS, Wiesbaden.
- Hüer, L., Stadie, N., Hagen, S., Thomas, O., & Pfisterer, H. J. (2019): *Der CO<sub>2</sub>-Kompass: Konzeption und Entwicklung eines Tools zur emissionsarmen Stromnutzung*. INFORMATIK 2019: 50 Jahre Gesellschaft für Informatik–Informatik für Gesellschaft.
- Hüer, L., Fischer, H., Lawrenz, S., Pfisterer, H.J. & Thomas, O. (2020): *Adapting the CO<sub>2</sub>-Compass to Further Optimize Data Generation Methods – Enhancing CO<sub>2</sub> Emission Forecasts by Minimizing the Area of Observation*. IARIA – ICONS 2020: The Fifteenth International Conference on Systems, p. 78-83
- Johnson, R.B., Onwuegbuzie, A. (2004): *Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come*. Educational Researcher 33, 14–26. <https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>
- Mont, O.K. (2002): *Clarifying the concept of product–service system*. Journal of Cleaner Production, vol. 10, no. 3, pp. 237–245
- Quaschnig, V. (2016): *Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung*. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft, 155.
- Ridder, N. (2011): *Öffentliche Energieversorgungsunternehmen im Wandel: Wettbewerbsstrategien im liberalisierten deutschen Strommarkt*. Tectum Verlag DE.
- Rifkin, J. (2014): *The zero marginal cost society: The internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism*. St. Martin's Press.

- Schwaber, K. (1997): *Scrum development process*. In: Business object design and implementation (pp. 117-134). Springer, London.
- Steinbicker, J. (2001): *Zur Theorie der Informationsgesellschaft*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Steinmetz, G. (1982): *Was ist ein Pflichtenheft?* it-Information Technology, 24(1-6), 225-229.
- Teich, I., Kolbenschlag, W., & Reiners, W. (2008): *Der richtige Weg zur Softwareauswahl: Lastenheft, Pflichtenheft, Compliance, Erfolgskontrolle*. Springer-Verlag.
- Vandermerwe, S. and Rada, J. (1988): *Servitization of Business: Adding Value by Adding Services*. European Management Journal, Vol. 6 No. 4, pp. 314–324.
- von Weizsäcker, C. C., Lindenberger, D., & Höffler, F. (2016): *Interdisziplinäre Aspekte der Energiewirtschaft*. Springer Vieweg.
- Zafar, R., Mahmood, A., Razzaq, S., Ali, W., Naeem, U., & Shehzad, K. (2018): *Prosumer based energy management and sharing in smart grid*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 1675-1684.