



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Digitalisierung im Energiesektor: Chancen und
Herausforderungen für Energiedienstleister

verfasst von | submitted by

Jan Michael Köck BSc (WU)

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2026

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 926

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Wirtschaftsinformatik

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dipl.-Math. Dr. Peter Reichl Privatdoz.

Mitbetreut von | Co-Supervisor:

Dr.techn. Florian Güldenpfennig B.Sc.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Math. Dr. Peter Reichl, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Masterarbeit in der Forschungsgruppe Cooperative Systems (COSY) zu erstellen.

Besonders danken möchte ich Herrn Dr.techn. Florian Güldenpfennig, der mich während des gesamten Forschungsprozesses kontinuierlich begleitet hat. Durch seine fachliche Expertise, kritischen Fragen und kreativen Impulse hat er maßgeblich zur Entstehung der Masterarbeit beigetragen. Seine Unterstützung war für die inhaltliche Ausarbeitung und die wissenschaftliche Tiefe dieser Arbeit von großer Bedeutung.

Darüber hinaus danke ich auch den Expertinnen und Experten aus der Energiewirtschaft, die im Rahmen dieser Arbeit bereit waren, ihr Wissen in Interviews zu teilen und mir damit praxisnahe Einblicke in die Herausforderungen und Chancen der Digitalisierung im Energiesektor ermöglicht haben. Ebenfalls danke ich allen Teilnehmer:innen der Evaluation für ihre hilfreichen Rückmeldungen. Nicht zuletzt danke ich dem Energiedienstleister, der mir durch Zugang zu relevanten Daten und Ressourcen maßgeblich geholfen hat, die Thematik dieser Arbeit fundiert zu bearbeiten.

Abschließend danke ich Frau Carmen Märk, BEd, für das Korrekturlesen sowie für ihre Bemühungen, meine Formulierungen sprachlich zu verbessern und in eine gut verständliche Form zu bringen.

Abstract

This master's thesis examines the impacts of advancing digitalization in the energy sector, with a particular focus on energy service providers. Central to the analysis are digital technologies such as smart grids and, in particular, smart meters as the infrastructural foundation of efficient and sustainable energy systems. The aim of this thesis is to systematically classify the opportunities and limitations of these technologies and to derive concrete requirements for user-oriented digital applications.

Based on the current body of literature, digitalization in the energy sector is first evaluated with a focus on smart grids and smart meters. The emphasis lies on their characteristics, the opportunities and challenges they entail, and the status of the smart meter rollout in EU member states. In addition, five expert interviews provide practical insights into organizational, technical, and regulatory issues as well as into the actual benefits of smart meter data for energy service providers. Particular attention is given to the influence of the smart meter.

On the basis of these findings, a prototypical, user-centered solution approach is developed, which exemplarily illustrates how digital applications can be designed in real-world contexts. Special emphasis is placed on key aspects identified during the research phase: a *clear visualization* of energy consumption, *analysis and comparison functions* for interpreting consumption data, everyday '*fun facts*' to illustrate energy use, and an *information module* aimed at education and at fostering acceptance of smart meter technologies. After implementation, the prototype was evaluated with three experts and three potential users in order to gain insights into strengths, weaknesses, and further development potential of the concept.

The thesis thus contributes to the discussion on digitalization in the energy sector by demonstrating how energy service providers can develop new digital applications that leverage the opportunities of ongoing digitalization while simultaneously taking challenges and user requirements into account.

Kurzfassung

Diese Masterarbeit untersucht die Auswirkungen der voranschreitenden Digitalisierung im Energiesektor mit besonderem Fokus auf Energiedienstleister. Im Zentrum stehen digitale Technologien wie Smart Grids und insbesondere Smart Meter als infrastrukturelle Grundlage effizienter und nachhaltiger Energiesysteme. Ziel dieser Arbeit ist es, Chancen und Grenzen dieser Technologien systematisch einzuordnen und daraus konkrete Anforderungen an nutzer:innenorientierte digitale Anwendungen abzuleiten.

Auf Basis der aktuellen Literatur wird zunächst die Digitalisierung im Energiesektor, mit Fokus auf Smart Grids und Smart Meter, evaluiert. Im Vordergrund stehen die Eigenschaften, die Chancen und Herausforderungen, die diese mit sich bringen und der Stand des Smart Meter Rollouts in den EU-Mitgliedstaaten. Ergänzend hierzu bieten fünf Expert:innen-Interviews praktische Einblicke in organisatorische, technische und regulatorische Fragestellungen sowie in den tatsächlichen Nutzen von Smart-Meter-Daten für Energiedienstleister. Besonders wird der Einfluss des Smart Meters untersucht.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wird ein prototypischer, nutzer:innenzentrierter Lösungsansatz entwickelt, der exemplarisch veranschaulicht, wie digitale Anwendungen in realen Kontexten konkret gestaltet werden können. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf wichtigen Aspekten, die in der Recherche-Phase erarbeitet wurden: eine *verständliche Visualisierung* des Energieverbrauchs, *Analyse- und Vergleichsfunktionen* zur Interpretation der Verbrauchsdaten, alltagsnahe *'FunFacts'* zur Veranschaulichung des Energieverbrauchs sowie ein *Informationsmodul*, um zur Aufklärung und Akzeptanzförderung von Smart-Meter-Technologien beizutragen. Nach der Implementierung wurde der Prototyp mit drei Expert:innen und drei potenziellen Nutzer:innen evaluiert, um Hinweise auf Stärken, Schwächen und Weiterentwicklungspotenziale des Konzepts zu gewinnen.

Die Arbeit leistet damit einen Beitrag zur Diskussion über die Digitalisierung im Energiesektor, indem sie aufzeigt, wie Energiedienstleister neue digitale Anwendungen entwickeln können, die die Chancen der voranschreitenden Digitalisierung nutzen und gleichzeitig Herausforderungen und Nutzeranforderungen berücksichtigen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Abstract	iii
Kurzfassung	v
Tabellenverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xiii
1. Einleitung	1
1.1. Zielsetzung und Forschungsfragen	2
1.2. Aufbau der Masterarbeit	4
2. Methoden	5
2.1. Literaturrecherche	5
2.1.1. Recherchestrategie	5
2.1.2. Einschluss- und Ausschlusskriterien	6
2.1.3. Analyse der identifizierten Literatur	7
2.2. Datenerhebung durch Interviews	8
2.2.1. Durchführung der Interviews	8
2.2.2. Analyse der Interviews	8
2.3. Beschreibung der Teilnehmenden	11
2.4. Prototypentwicklung	13
2.4.1. Evaluation des Prototyps	14
2.5. Ethische Aspekte	14
3. Literaturrecherche	17
3.1. Digitalisierung im Energiesektor	17
3.1.1. Der Begriff der Digitalisierung	17
3.1.2. Der digitale Wandel im Energiesektor	18
3.1.3. Chancen der Digitalisierung	20
3.1.4. Herausforderungen der Digitalisierung	20
3.2. Smart Grid	22
3.2.1. Charakterisierung des Smart Grids	22
3.2.2. Chancen des Smart Grids	25
3.2.3. Herausforderungen des Smart Grids	26

Inhaltsverzeichnis

3.3.	Smart Meter	28
3.3.1.	Definition und Bedeutung des Smart Meters	28
3.3.2.	Chancen durch Smart Meter	30
3.3.3.	Herausforderungen durch Smart Meter	32
3.4.	Smart Meter Rollout	33
3.5.	Zusammenfassung: Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor	35
4.	Analyse von Experteninterviews	37
4.1.	Die Rolle von Smart Metern in der digitalen Energieinfrastruktur	38
4.1.1.	Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung der Energieinfrastruktur	38
4.1.2.	Prognose und Stabilisierung des Energiesystems	40
4.1.3.	Neue Abrechnungsmodelle und präzisere Verbrauchsdatenerfassung	40
4.2.	Herausforderungen bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern . .	40
4.2.1.	Regulatorische und Technische Hürden	41
4.2.2.	Datenverfügbarkeit, Sicherheit und Datenschutz	42
4.2.3.	Akzeptanz und Nutzerwahrnehmung	43
4.3.	Verbraucherperspektiven auf digitale Energiedienstleistungen	44
4.3.1.	Datenschutzbedenken und Kontrolle über eigene Energiedaten . . .	44
4.3.2.	Bedarf an Transparenz	45
4.3.3.	Unterstützung bei der Dateninterpretation	45
4.4.	Ökonomische Potenziale durch Smart Meter & digitale Plattformen	46
4.4.1.	Transparenz und Visualisierung von Energiedaten	46
4.4.2.	Dynamische Energiepreisgestaltung und optimierte Abrechnungs- systeme	48
4.4.3.	Automatisierte Verbrauchssteuerung und Energieeffizienzmaßnahmen	48
4.5.	Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern	49
4.5.1.	Funktionsweise und Organisation	49
4.5.2.	Erfassung, Analyse und Nutzung von Energiedaten ist ein zentraler Bestandteil der Funktionsweise von Energiegemeinschaften	50
4.5.3.	Regulatorische Rahmenbedingungen und Marktzugang	51
5.	Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen	55
5.1.	Ableitung des Anwendungsfalls aus den Interviewergebnissen	55
5.2.	Konzeptentwicklung	56
5.3.	Implementierung	57
5.3.1.	Benutzeroberfläche	58
5.3.2.	Navigation	58
5.3.3.	Komponentenbasierte Umsetzung und Datenverarbeitung	58
5.3.4.	Einzelseiten der Anwendung	60
6.	Evaluation des Prototyps	73
6.1.	Rahmenbedingungen der Evaluation	73

6.2.	Beschreibung der Aufgaben des Usability Tests	74
6.3.	Beobachtung der Teilnehmenden während der Nutzung	75
6.4.	Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden	76
6.4.1.	Nutzungsmotive und wahrgenommener Mehrwert	77
6.4.2.	Usability und Nutzererfahrung	81
6.4.3.	Herausforderungen und Verbesserungspotenzial	86
7.	Diskussion	91
7.1.	Rückbezug auf die Forschungsfragen	91
7.2.	Limitierungen dieser Arbeit	96
8.	Fazit	99
8.1.	Mögliche nächste Schritte	100
	Literaturverzeichnis	103
A.	Appendix	111
A.1.	Experteninterviews: Interview-Leitfaden	111
A.2.	Experteninterviews: Einverständniserklärung	113
A.3.	Evaluation: Interview-Leitfaden	115
A.4.	Evaluation: Einverständniserklärung	120
A.5.	Cluster	122
A.6.	Taguette Beispielhafter Screenshot	122
A.7.	Wireframe	123
A.8.	Codebeispiel	130
A.8.1.	Navigation: Sidebar	130
A.8.2.	Komponentenstruktur: Balkendiagramm	133
A.8.3.	Komponentenstruktur: Card	134
A.8.4.	Komponentenstruktur: Filter / Selector	135
A.8.5.	Komponentenstruktur: Liniendiagramm	136

Tabellenverzeichnis

2.1. Schlüsselwörter	6
2.2. Übersicht Teilnehmende der Experteninterviews	12
2.3. Übersicht Teilnehmende der Evaluation des Prototyps	13
3.1. Vergleich zwischen dem traditionellen Stromnetz und dem Smart Grid . .	23
6.1. Übersicht über die zentralen Themen der Evaluation des Prototyps	76

Abbildungsverzeichnis

2.1. Illustration der Suche potenzieller Themen mit Notizzetteln. Diese wurden iterativ verschoben und gruppiert. Zudem wurden im Prozess ggf. neue Zettel erstellt bis eine finale Struktur der wichtigsten Themen gefunden werden konnte (nicht in der Abbildung enthalten; die Zettel dienen zur Veranschaulichung des Prozesses; eine lesbare Vergrößerung des roten Clusters links-unten ist beispielhaft in Appendix A.5 zu finden).	10
3.1. Digitization – Digitalisierung – Digitale Transformation [65, S. 3]	18
3.2. Anforderungen eines Smart Grid [19, S. 123]	24
3.3. Die Messarchitekturen eines konventionellen Zählers und eines Smart Meter [39, S. 58]	29
3.4. Herausforderungen bei der Datenübertragung für ein Smart Meter System [20, S. 4]	33
3.5. Ausbaurate der Smart Meter pro Mitgliedstaat - 2022 in % [28, S. 38] . . .	34
4.1. Gesamtschau der wichtigsten Themen aus der thematischen Analyse. Auf den folgenden Seiten werden die Untergruppen bzw. Unter-Themen im Detail beschrieben.	38
4.2. Detailansicht des ersten Themenbereichs „Die Rolle von Smart Metern in der digitalen Energieinfrastruktur“	39
4.3. Detailansicht des zweiten Themenbereichs Die „Herausforderungen bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern“	41
4.4. Detailansicht des dritten Themenbereichs Die „Verbraucherperspektiven auf digitale Energiedienstleistungen“	44
4.5. Detailansicht des dritten Themenbereichs Die „Ökonomische Potenziale durch Smart Meter & digitale Plattformen“	47
4.6. Detailansicht des dritten Themenbereichs Die „Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern“	50
5.1. Beispielhafte Wireframe-Ansicht der geplanten Anwendung	57
5.2. Darstellung des Dashboards (Sidebar ausgeklappt)	59
5.3. Darstellung des Dashboards (Sidebar eingeklappt)	61
5.4. Darstellung des Variantenvergleichs	63
5.5. Darstellung der Verbrauchsübersicht für den Zeitraum: Tag	66
5.6. Darstellung der Verbrauchsanalyse für den Zeitraum: Tag	68
5.7. Darstellung der 'FunFacts'	69
5.8. Darstellung des Tarifvergleiches	70

Abbildungsverzeichnis

5.9. Darstellung des Vergleichsergebnisses	70
A.1. Wireframe: Dashboard	123
A.2. Wireframe: Smart Meter Info - Video	124
A.3. Wireframe: Smart Meter Info – FAQ	124
A.4. Wireframe: Smart Meter Info – Varianten	125
A.5. Wireframe: Verbrauchsvisualisierung	125
A.6. Wireframe: Analyse – Tagesvergleich	126
A.7. Wireframe: Analyse – Wochenvergleich	126
A.8. Wireframe: Analyse – Monatsvergleich	127
A.9. Wireframe: Analyse – Jahresvergleich	127
A.10. Wireframe: Analyse – FunFacts	128
A.11. Wireframe: Tarifvergleich	129

1. Einleitung

Elektrische Energie spielt eine große Rolle im täglichen Leben und ist ein Rückgrat der Industrie. Da diese Ressource jedoch begrenzt ist, ist es sehr wichtig, sie sorgfältig zu verwalten [32]. Einer der wichtigsten Aspekte des Energiesystems ist die Energieeffizienz. Digitale Innovationen bieten dem Energiesektor neue Möglichkeiten, ein hohes Niveau an Energieeffizienz zu erreichen. Durch den Einsatz neuer Technologien wird dem Energiesektor eine Möglichkeit geboten, alle Bereiche, von der Erzeugung bis hin zur Auslieferung an die Verbraucher:innen, zu verbessern [67].

Der Energiesektor befindet sich in einem stetigen Wandel, der nicht nur durch die Technologie, sondern auch von der Politik und der Gesellschaft angetrieben wird. Zudem wird das Erreichen der Klima- und Energieziele in der EU immer ambitionierter. Stellvertretend für fast alle Länder in der EU steht die Entwicklung des Stromverbrauchs von Österreich. Seit 1970 hat sich der Stromverbrauch von Österreich verdreifacht und in privaten Haushalten sogar verfünffacht [61]. Dies unterstreicht die Wichtigkeit von innovativen Energielösungen für ein nachhaltiges, effizientes und stabiles Energiesystem.

Auch die Europäische Union hat die Wichtigkeit der Digitalisierung erkannt und hat die Initiativen REPowerEU-Plan und der europäische Grüne Deal konzipiert. Ihr Ziel ist es, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern und die Entwicklung zu einem nachhaltigen, digitalisierten Energiesystem zu fördern. In diesem Zusammenhang sollen die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gesenkt werden und parallel dazu der Anteil erneuerbarer Energie am Gesamtverbrauch um 45 % erhöht werden. Dieses kann nur durch den Aufbau eines intelligenten und interaktiven Energiesystems erreicht werden [29].

Bereits in früheren Jahren wurden hierfür gesetzliche Grundlagen geschaffen. So veröffentlichte das Europäische Parlament 2009 die Richtlinie über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt. Diese soll dazu dienen, die Infrastruktur zu modernisieren und auf die laufenden Veränderungen in der Struktur der Energiemärkte zu reagieren. Ein Beispiel wäre die Dezentralisierung der Energieerzeugung. Ein Punkt in der Richtlinie ist die Einführung sogenannter intelligenter Zählersysteme. Das Ziel dabei ist es, Stromnetze in ein intelligentes Netz, Smart Grid (SG), umzuwandeln [12].

Ein Smart Grid ist ein Konzept für eine neue Art des Stromnetzes, das einen unkonventionellen Stromfluss und einen bidirektionalen Informationsfluss ermöglicht [39]. Betrachtet man das Stromnetz, ist zu erkennen, dass dieses prinzipiell immer noch so funktioniert wie vor zirka einhundert Jahren. Das heißt, der Strom fließt von den Energieerzeugern über die Netze zum Verbraucher. Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Kommunikationssystemen ermöglicht es dem Energiesektor, eine bessere Kontrolle und Überwachung des gesamten Stromnetzes zu gewährleisten. Um die Chancen und Vorteile der neuen Kommunikationstechnologien nutzen zu können und das Stromnetz zu

1. Einleitung

revolutionieren, braucht es das Smart Grid [23].

Einer der Schlüsselkomponenten des Smart Grids ist ein intelligenter Zähler, Smart Meter, der Teil der Advanced Metering Infrastruktur (AMI) ist. Die AMI trägt die Verantwortung, eine sichere Zwei-Wege-Kommunikation zwischen Smart Meter und Datenkontrollzentrum zu erstellen [2]. Ein Smart Meter ist ein Zähler für Strom, Gas, Wasser und Fernwärme, der die Fähigkeit hat, Ablesestände elektronisch auszulesen und mit Hilfe eines Kommunikationsmoduls zudem eine Fernauslese ermöglicht [48]. Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich der Smart Meter zur Erfassung des Stromverbrauchs untersucht und detailliert erläutert.

Alles in allem deuten die Erkenntnisse darauf hin, dass die Digitalisierung eine Notwendigkeit für die Energiewende ist. Sie bildet die Grundlage für einen effizienten Energieverbrauch und trägt zu den Belangen der Klimaziele und der Energiesicherheit bei. Durch den verstärkten Einsatz von neuen Technologien will die Europäische Union ein widerstandsfähiges Energiesystem schaffen und zugleich Ihre Nachhaltigkeitsziele unterstützen.

1.1. Zielsetzung und Forschungsfragen

Die vorliegende Masterarbeit untersucht die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor aus der Perspektive eines Energiedienstleisters. Ziel ist es, ein vertieftes Verständnis für aktuelle Entwicklungen zu gewinnen, indem sowohl einschlägige wissenschaftliche Literatur ausgewertet als auch praxisnahe Einblicke eines Energiedienstleisters berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck werden fünf Interviews mit Expertinnen und Experten geführt. Auf Basis dieses theoretischen und praktischen Verständnisses wird ein Prototyp entwickelt, der auf der bestehenden Smart-Meter-Infrastruktur aufbaut. Dieser soll konkrete Lösungsansätze umsetzen, die in der betrieblichen Praxis des Energiedienstleisters als relevant, gewünscht und umsetzbar beschrieben wurden.

Daraus ergibt sich folgende übergeordnete Forschungsfrage (F1), die das Vorhaben anleitet:

(F1) Welche Chancen und Herausforderungen entstehen für Energiedienstleister durch die Digitalisierung und die Nutzung von Smart-Meter-Daten?

Diese Fragestellung wird durch die Bearbeitung untergeordneter Forschungsfragen und durch die gewonnenen Erkenntnisse nachgeschärft. Ein Ansatzpunkt besteht zum Beispiel darin, erst einmal den Status Quo zu beleuchten:

(F1.1) Wie werden Smart-Meter-Daten aktuell genutzt, und welche Anwendungsfälle sind besonders erfolgreich?

Smart Meter wurden bereits in vielen Ländern eingeführt, jedoch variieren ihre Einsatzmöglichkeiten. Deshalb wird untersucht, welche konkreten Dienstleistungen heute schon durch den Smart Meter unterstützt werden. Auf den Weg dorthin gab es für die Energiewirtschaft viele Hürden zu nehmen und auch heute noch hat der Sektor viele Herausforderungen zu bewältigen:

1.1. Zielsetzung und Forschungsfragen

(F1.2) Welche technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Herausforderungen ergeben sich bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern?

Hierbei liegt der Fokus sowohl auf technischen Herausforderungen wie der Datenverfügbarkeit und Sicherheit als auch auf den wirtschaftlichen Herausforderungen wie zum Beispiel der Kundenakzeptanz. Darüber hinaus werden auch regulatorische Aspekte berücksichtigt, die maßgeblichen Anteil daran haben, in welchem Ausmaß Smart Meter genutzt werden können. Dennoch können sich Energiedienstleister diesen Herausforderungen nicht entziehen. Sie sind gefordert, darauf zu reagieren. In diesem Zusammenhang stellt sich eine eng verwandte Frage:

(F1.3) Welche spürbaren Auswirkungen hat die Digitalisierung – vor allem durch Smart Meter – auf Energiedienstleister?

Hierbei steht insbesondere die Frage im Mittelpunkt, wie Smart Meter bestehende Geschäftsmodelle beeinflussen. Es wird analysiert, wie Smart Meter zur Optimierung bestehender Dienstleistungen und Geschäftsprozesse beitragen können und welche Herausforderungen die Smart Meter mit sich bringen. In diesem Zusammenhang stellt sich des Weiteren die Frage:

(F1.4) Welche neuen Anwendungen und Dienstleistungen werden durch Smart Meter ermöglicht, die zuvor nicht realisierbar waren?

Diesbezüglich werden neue innovative Nutzungsmöglichkeiten, die im Zusammenhang mit Smart Meter stehen, untersucht. Hierbei wird untersucht, welche Potenziale sich für Energiedienstleister eröffnen und wie Smart Meter zur Entwicklung neuer Dienstleistungen beitragen. Genau diese sollen an einem eigens angefertigten Prototyp veranschaulicht werden. Somit stellt sich abschließend eine weitere übergeordnete Forschungsfrage mit angegliederter Unterfrage:

(F2) Welcher Prototyp kann im Rahmen der Masterarbeit entwickelt werden, um eine innovative Antwort auf die identifizierten Herausforderungen aufzuzeigen?

Dieser Prototyp soll Experten:innen und potenziellen Nutzer:innen vorgestellt werden, um ein erstes Feedback einzuholen:

(F2.1) Wie reagieren die Dienstleister oder potenzielle Nutzer:innen auf diesen Prototypen?

Zur Beantwortung der aufgeworfenen Forschungsfragen wird zunächst eine Literaturanalyse durchgeführt. Ergänzend dazu werden Expert:innen-Interviews geführt (n=5), um praxisnahe Erkenntnisse zu gewinnen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wird der genannte digitale Prototyp entwickelt (F2), der einen Anwendungsfall für den Einsatz von Smart-Meter-Daten demonstriert. Dieser wird abschließend durch Testnutzer:innen evaluiert (n=6). Insgesamt soll durch die Adressierung der Forschungsfragen ein fundierter Überblick über die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung sowie über das Potenzial von Smart Metern für Energiedienstleister geschaffen werden.

1. Einleitung

1.2. Aufbau der Masterarbeit

Die Masterarbeit ist in acht Hauptkapitel gegliedert, welche die Thematik strukturiert aufbereiten, beginnend mit dem vorliegenden Einleitungskapitel 1. In diesem Kapitel erfolgte die Einführung in das Thema und die zugrunde liegenden Forschungsfragen wurden dargestellt.

In Kapitel 2 wird die methodische Vorgehensweise beschrieben. In diesem Zusammenhang werden die angewandten Methoden der Literaturrecherche und der qualitativen Datenerhebung mittels Expert:innen-Interviews und Evaluation dargelegt. Es wird dabei die Recherchestrategie sowie die Durchführung der Interviews und das ausgewählte Auswertungsverfahren beschrieben.

Das anschließende Kapitel 3 widmet sich auf Basis einer Literaturrecherche den theoretischen Grundlagen der Arbeit. Zunächst wird die Digitalisierung im Energiesektor erläutert, einschließlich einer begrifflichen Einordnung sowie der damit verbundenen Chancen und Herausforderungen. Darauf folgt eine vertiefende Betrachtung der Konzepte Smart Grid und Smart Meter, wobei der Fokus insbesondere auf deren Funktionsweise, Potenziale und Herausforderungen gelegt wird. Abschließend wird der Stand des Smart-Meter-Rollouts in den EU-Mitgliedstaaten dargestellt. Eine zusammenfassende Betrachtung der identifizierten Chancen und Herausforderungen rundet dieses Kapitel ab.

Kapitel 4 präsentiert die Ergebnisse der durchgeführten Interviews. Die Erkenntnisse werden thematisch entlang der zentralen Aspekte wie die Rolle der Smart Meter, den Herausforderungen bei der Einführung, Verbraucherperspektiven auf digitale Energiedienstleistungen, ökonomische Potenziale sowie die Rolle der Smart Meter bei Energiegemeinschaften geordnet.

Nach den Ergebnissen der durchgeführten Interviews folgt das Kapitel 5. In diesem Kapitel wird die Ableitung des Anwendungsfalls aus den Ergebnissen der Interviews beschrieben, gefolgt von der konzeptionellen Ausarbeitung und der technischen Umsetzung des Prototyps.

Anschließend wird im Kapitel 6 die Evaluierung des Prototyps hinsichtlich seiner Funktionalität und Praxistauglichkeit beschrieben. In diesem Zusammenhang werden sowohl Rückmeldungen von Expert:innen als auch von potenziellen Nutzer:innen berücksichtigt.

Aufbauend auf den vorherigen Kapiteln folgt im Kapitel 7 eine Diskussion, wobei die Resultate im Kontext mit den Forschungsfragen reflektiert und erörtert werden.

Das abschließende Kapitel 8 fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche nächste Schritte.

2. Methoden

Dieses Kapitel beschreibt den methodischen Aufbau der Arbeit. Ziel ist es, das Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfrage nachvollziehbar darzustellen. Die Arbeit verbindet theoretische und praxisorientierte Zugänge, um zu untersuchen, welche Auswirkungen die Digitalisierung, insbesondere durch den Einsatz von Smart Metern, auf Geschäftsmodelle von Energiedienstleistern hat.

Dabei erfolgt die Bearbeitung in vier wesentlichen Schritten:

1. **Literaturrecherche:** Systematische Auswertung wissenschaftlicher Quellen zur Digitalisierung im Energiesektor, Smart Grid und Smart Meter
2. **Explorative Experteninterviews:** Qualitative Interviews mit Arbeitnehmer:innen eines Energiedienstleisters zur Erhebung praxisnaher Herausforderungen und Bedarfe.
3. **Prototypentwicklung:** Konzeption eines digitalen Lösungsansatzes auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse.
4. **Evaluation des Prototyps:** Qualitative Rückmeldungen zum Prototyp durch Arbeitnehmer:innen eines Energiedienstleisters und potenziellen Nutzer:innen.

In dem verbleibenden Kapitel werden diese Schritte nacheinander aus der Perspektive der Methodik genauer erörtert.

2.1. Literaturrecherche

Die Literaturrecherche bildet die Grundlage für die theoretische Auseinandersetzung mit dem Forschungsthema und umfasst eine Recherchestrategie sowie die Analyse der identifizierten Quellen.

2.1.1. Recherchestrategie

Die systematischen Recherchen wurden mit Google Scholar durchgeführt, einer leistungsstarken, wissenschaftlichen Suchmaschine, die Inhalte aus verschiedenen Datenbanken wie ProQuest, IEEE Xplore, ScienceDirect und der ACM Digital Library indexiert.

Um relevante Artikel zu identifizieren, wurden geeignete Suchbegriffe sorgfältig ausgewählt. Dabei wurden sowohl englische als auch deutsche Begriffe berücksichtigt. Die Tabelle 2.1 bietet einen Überblick über Schlüsselwörter, Synonyme sowie verwandte Begriffe, die als relevant für den Forschungsschwerpunkt identifiziert wurden.

2. Methoden

Suchbegriff	Assoziierte Schlüsselwörter (Deutsch & Englisch)
Digitalisierung	Digitalisation, Digitalization, Digitalisierung
Energiesektor	Energy Sector, Energy, Energiesektor, Energie
Smart Technologies	Smart Meter, Smart Meter Rollout, Smart Grid
Chancen und Herausforderungen	Chances, Opportunities, Advantages, Chancen, Vorteile, Challenges, Problems, Issues, Barriers, Hurdles, Difficulties, Limitations, Definition, Definitionen, Herausforderungen

Tabelle 2.1.: Schlüsselwörter

Für die Suchanfrage wurden boolesche Operatoren verwendet, um die wichtigsten Begriffe zu kombinieren:

(Digitalisation OR Digitalization OR Digitalisierung) AND
(Energy Sector OR Energy OR Energiesektor OR Energie) AND (Smart
Meter OR Smart Meter Rollout OR Smart Grid) AND (Definition
OR Definitionen OR Chances OR Opportunities OR Advantages
OR Chancen OR Vorteile OR Challenges OR Herausforderungen OR
Problems OR Issues OR Barriers OR Hurdles OR Difficulties OR
Limitations)

Die Literatursuche berücksichtigte dabei Veröffentlichungen zwischen 2003 und 2025.

2.1.2. Einschluss- und Ausschlusskriterien

Diese Suchanfrage ergab eine große Anzahl an Treffern. Die finale Auswahl der Studien wurde mit klar definierten Einschluss- und Ausschlusskriterien durchgeführt. Diese Kriterien dienten dazu, die Relevanz der Artikel im Hinblick auf die Fragestellungen zu beurteilen. Die angewandten Kriterien umfassten folgende Punkte:

Einschlusskriterien:

- Studien, die sich mit der Digitalisierung im Energiesektor befassen
- Studien, die sich mit Smart Grids, Smart Metern und dem Smart Meter Rollout im Energiesektor befassen

- Studien, die sich mit den Chancen und Herausforderungen des Smart Meter befassen

Ausschlusskriterien:

- Studien, die nicht frei verfügbar sind oder über den Studierenden-Account der Universität Wien bezogen werden können.
- Studien, die nicht in englischer oder deutscher Sprache verfasst sind
- Studien, die auf technische Aspekte (Hardware, Software) basieren ohne die Auswirkungen auf die Digitalisierung im Energiesektor diskutieren

Die Titel und Zusammenfassungen aller gefundenen Publikationen wurden anhand der genannten Kriterien geprüft. Studien, deren Relevanz zum Forschungsthema bereits aus dem Titel oder Zusammenfassung eindeutig ausgeschlossen werden konnte, wurden in diesem Schritt ausgeschlossen. Dazu gehörten also Studien mit fehlendem thematischem Bezug auf die Digitalisierung, den Energiesektor oder die Smart Technologien Smart Grid und Smart Meter.

Bei diesen verbleibenden Publikationen wurde der Volltext gelesen und ihre inhaltliche Relevanz geprüft. Ausschlaggebend in dieser Phase waren ebenfalls die zuvor definierten Einschluss- und Ausschlusskriterien 2.1.2. Nur Publikationen, die diese Kriterien erfüllen, wurden in die endgültige Analyse aufgenommen. Letztendlich wurden 77 Publikationen in diese Arbeit einbezogen. Diese Auswahl bildet die Grundlage für die weitere Analyse.

2.1.3. Analyse der identifizierten Literatur

Die letztlich ausgewählten Publikationen wurden nun der Analyse zugeführt. Ziel war es, die Erkenntnisse aus der bestehenden Literatur zu erfassen, inhaltlich zu strukturieren und ihren Beitrag hinsichtlich der Digitalisierung im Energiesektor wiederzugeben. Die Inhalte wurden rezipiert und relevante Textinhalte aus den ausgewählten Publikationen wurden sorgfältig extrahiert, thematisch geordnet und zusammengefasst. An dieser Stelle konzentrierte sich die Analyse auf folgende inhaltliche Punkte:

- Begriffliche und theoretische Grundlagen der Digitalisierung
- Digitalisierung im Energiesektor und ihre Bedeutung
- Zentrale digitale Technologien, Smart Grid und Smart Meter und ihre Funktionen und Anwendungsfelder
- Chancen der Digitalisierung und digitalen Technologien
- Herausforderungen bei der Implementierung digitaler Technologien

Durch diesen systematisch angelegten Prozess entstand sukzessive ein strukturierter Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. Dieser soll eine fundierte theoretische Basis für die weiterführende Diskussion in Bezug auf die Digitalisierung im Energiesektor in den folgenden Kapiteln erschaffen.

2. Methoden

2.2. Datenerhebung durch Interviews

Ergänzend zur Literaturrecherche wurden fünf Interviews mit Expert:innen aus dem Energiesektor durchgeführt. Dies diente dazu, mehr praxisnahe Perspektiven in Bezug auf die Digitalisierung im Energiesektor zu erhalten. Zudem wurden während der Evaluierung des im Rahmen dieser Masterarbeit erstellten Prototyps (basierend auf der Literaturrecherche und vor allem auf den Experteninterviews) sechs zusätzliche Interviews mit Expert:innen aus dem Energiesektor und potenziellen Nutzer:innen durchgeführt (siehe Abschnitt 2.4.1). Das methodische Vorgehen in Bezug auf die Interviews wird im folgenden Abschnitt erläutert.

2.2.1. Durchführung der Interviews

Alle Interviews (n=11) dieser Masterarbeit wurden einzeln geführt, auf Audio aufgezeichnet und transkribiert. Zuvor wurden die Teilnehmenden über ihre Rechte schriftlich aufgeklärt und haben eine Einverständniserklärung unterschrieben (weitere Details sind in Abschnitt 2.5 zu finden).

Dabei wurden die Interviews offen gestaltet und eine wichtige Strategie bestand darin, die Teilnehmer:innen nicht zu unterbrechen und sie so gut wie möglich frei sprechen zu lassen. Trotzdem wurden die Interviews mit einem vordefinierten Fragenkatalog bzw. Interview-Leitfaden durchgeführt, damit die wichtigsten Fragen beantwortet wurden (siehe Appendix A.1 A.3 für Details). Um die wichtigsten Erkenntnisse in diesen Gesprächen zu identifizieren und ein tieferes Verständnis von den Aussagen aller Teilnehmenden zu gewinnen, wurde das Verfahren der thematischen Analyse herangezogen, welches wir im folgenden Abschnitt erörtern werden.

2.2.2. Analyse der Interviews

Die qualitativen Daten, die aus den Aufzeichnungen der semi-strukturierten Interviews im Energiesektor sowie bei der späteren Evaluation des Prototyps gewonnen wurden, wurden mithilfe einer thematischen Analyse analysiert. Braun und Clark [18] beschreiben die thematische Analyse als eine Methode zur Identifizierung, Analyse und Darstellung von Mustern bzw. Themen in Daten. In diesem Zusammenhang erklären Braun und Clark [18], dass sich verschiedene relevante Themen aus den Daten durch einen iterativen Prozess des Kodierens und Reflektierens ableiten lassen. In diesem Prozess spielen die Forschenden eine aktive Rolle, denn obwohl die Themen direkt aus den gesammelten Daten stammen, liegt die Auswahl und Interpretation der Themen hinsichtlich ihrer Relevanz für die Forschungsfrage bei ihnen. Oder anders ausgedrückt: am Ende obliegt es den individuellen Forschenden, aus den Interviews Bedeutungen abzuleiten und dieser Prozess muss zwangsläufig eine Interpretation sein. Dies ist jedoch mitnichten eine Schwäche der Methode, sondern obliegt der Tatsache, wie Menschen ihrer Lebenswelt Sinn verleihen.

Die Themen stellen 'Cluster' von Sinnzusammenhängen dar, die durch ein wiederkehrendes Muster und Antworten in den Daten auffallen. Die Bedeutung der Themen wird

nicht nur an der Häufigkeit bestimmt, sondern auch an der Relevanz für die Ziele der Studie.

Braun und Clark [18] beschreiben sechs Phasen der thematischen Analyse, dabei wird betont, dass die sechs Phasen nicht nach dem linearen Prinzip verlaufen sondern im Gegenteil eher rekursiv verlaufen und es ein iterativer Wechsel zwischen den Phasen erfordert. Dies fördere, ein tieferes Verständnis über die gesammelten Daten zu erlangen. Laut Braun und Clark [18] setzen sich die sechs Phasen folgend zusammen:

1. **Vertrautmachen mit den Daten:** Diese Phase beinhaltet das aktive und iterative Lesen von Daten, um erste Muster zu erkennen. Dazu müssen die Daten bzw. Interviews transkribiert werden. In dieser Phase können erste Notizen gemacht werden, um potenzielle Ideen für die Kodierung festzulegen.
2. **Generierung erster Codes:** Kodierung der ersten interessanten Merkmale auf eine systematische Weise. Im Rahmen dessen kann die Kodierung manuell (z.B. mit Papier und Bleistift) oder softwaregestützt (eine Software verwaltet die Codes, die die Forschenden herausgearbeitet haben, ähnlich einem digitalen Textmarker) erfolgen und es können Codes mehreren Datenabschnitten zugeordnet werden. Ziel dieser Phase ist es, die Daten für die weitere Analyse in sinnvollen Gruppen vorzubereiten.
3. **Suchen nach Themen:** In dieser Phase werden die generierten Codes aus Phase zwei in potenzielle Themen gruppiert, die umfassendere Muster in den Daten darstellen. Die Verbindung der verschiedenen Codes und Themen werden untersucht. Für ein besseres Verständnis dieser Beziehungen hilft eine visuelle Darstellung wie Mind-Maps oder thematische Karten.
4. **Überprüfung der Themen:** Diese Phase bezieht sich auf die Bewertung und Verfeinerung der identifizierten Themen, indem sichergestellt wird, dass diese Themen die Daten wiedergeben. Während dieses Prozesses können Themen zusammengeführt, aufgeteilt oder verworfen werden, wenn sie nicht eindeutig durch den Datensatz belegt sind.
5. **Definieren und Bezeichnen der Themen:** Themen werden in dieser Phase klar definiert und benannt. Hier sollte sichergestellt werden, dass die Kernbedeutung klar zum Ausdruck kommt. Für komplexere Themen können Unterthemen erstellt werden. Obwohl alle Themen klar voneinander abgegrenzt sind, sollten sie dennoch stimmig mit den Daten im Einklang sein.
6. **Erstellung des Berichts:** In der letzten Phase wird die Analyse in einer klaren und überzeugenden Weise verfasst. In diesem Zusammenhang werden die Themen mit unterstützenden Auszügen aus den Daten präsentiert und bieten Interpretation und Kontext in Bezug auf die Forschungsfragen.

2. Methoden



Abbildung 2.1.: Illustration der Suche potenzieller Themen mit Notizzetteln. Diese wurden iterativ verschoben und gruppiert. Zudem wurden im Prozess ggf. neue Zettel erstellt bis eine finale Struktur der wichtigsten Themen gefunden werden konnte (nicht in der Abbildung enthalten; die Zettel dienen zur Veranschaulichung des Prozesses; eine lesbare Vergrößerung des roten Clusters links-unten ist beispielhaft in Appendix A.5 zu finden).

Konkrete Durchführung in der vorliegenden Arbeit

Zumal es sich bei der Thematischen Analyse um ein Schlüsselverfahren in dieser Masterarbeit handelt und eine der Hauptergebnisse ('main contributions') aus der intensiven Auseinandersetzung mit den Darstellungen der Expert:innen aus der Industrie besteht, soll an dieser Stelle das Vorgehen im Detail veranschaulicht werden. Dafür beziehen wir uns im Folgenden auch auf die Analyse der Expert:innen-Interviews. Die Analyse im Rahmen der Evaluation des finalen Prototyps fand separat statt und wird an dieser Stelle nicht zur Veranschaulichung herangezogen.

Ausgehend von der Transkription der Interviews und der Auseinandersetzung mit den Daten erfolgte eine strukturierte Kodierung und die systematische Entwicklung der Themen (wie oben beschrieben). Im Rahmen dessen wurden die Transkripte sorgfältig gelesen

und mithilfe der Analyse-Software Taguette¹ kodiert. Durch Taguette konnten relevante Textausschnitte strukturiert markiert und zeitgleich codiert werden (ein beispielhafter Screenshot der Anwendung findet sich in Appendix A.6). Die Kodierung erfolgte dabei mit Blick auf die Forschungsfragen, wobei gleichzeitig Offenheit für neue Muster und Zusammenhänge bewahrt wurde. Während des Prozesses der Kodierung wurden ähnliche Textstellen aus den unterschiedlichen Interviews mit denselben Code versehen, damit bereits zu Beginn Muster erkannt werden konnten. Dieser Prozess wurde in diesem Zusammenhang iterativ durchgeführt und Codes wurden kontinuierlich überprüft. Nachdem die Codes generiert wurden, folgte die erste systematische Gruppierung. Im Rahmen dessen wurden Codes mit ähnlichen Themen zu Clustern zusammengeführt, ohne dass Themen benannt wurden. Um ein besseres Verständnis zu bewahren, wurden für die Cluster unterschiedliche Farben angewandt. Dabei zeigte sich, dass bestimmte Themenbereiche immer wieder aufkamen. Um sicherzustellen, dass verschiedene Codes zu dem richtigen Cluster zugeordnet wurden, erfolgte dieser Prozess iterative. In mehreren Runden wurden die Codes hinterfragt, wenn nötig umbenannt, zusammengeführt oder auch in andere Cluster verschoben. Die Entwicklung der Clusterstruktur wird in Abbildung 2.1 veranschaulicht (Anmerkung: die Abbildung dient zur Veranschaulichung des Prozesses, die einzelnen Codes auf den Post-it Notes sind hierfür irrelevant und nicht gut lesbar).

Das Clustering diente als Basis für die finale thematische Strukturierung. In diesem Zusammenhang wurden die zentralen Themenfelder definiert und deren Unterthemen identifiziert. Darüber hinaus wurden die Zusammenhänge analysiert und dargestellt. Der gesamte Prozess der Kodierung, des Clusterings und des thematischen Strukturierens diente dazu, zentrale Inhalte und Zusammenhänge aus den Daten herauszuarbeiten. Dabei wurde sichergestellt, dass die Themen eine logische Basis für die weitere Analyse bilden. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der thematischen Analyse dargestellt. Im Zuge dessen wird auf die Hauptthemen und deren Unterthemen eingegangen.

2.3. Beschreibung der Teilnehmenden

Im Rahmen der Masterarbeit mussten Teilnehmende für zwei unterschiedliche Zwecke rekrutiert werden. Zum einen für die Expert:innen-Interviews, um einen Einblick in die Bedarfe des Energiedienstleisters zu erhalten. Zum anderen für die finale Evaluation des Prototyps (wie anschließend in Abschnitt 2.4 beschrieben). Der Fokus lag hierbei auf der Erhebung der Anforderungen für den Prototypen. Die Evaluation dessen befasst sich mit initialem Feedback und ist in ihrer Tiefe nicht mit dem Bestimmen der Anforderungen vergleichbar.

Rekrutierung für die Experteninterviews: Um wertvolle Einblicke und Daten aus der Praxis zu sammeln, wurden fünf semi-strukturierte Interviews mit Expert:innen aus dem Energiesektor durchgeführt. Die Teilnehmenden waren Angestellte eines Energiedienstleisters in Österreich. Die Rekrutierung erfolgte über eine initiale Kontaktperson innerhalb des Unternehmens. Nach einer kurzen Vorstellung des Forschungsthemas schlug

¹<https://www.taguette.org/> – Letzter Zugriff 22. November 2025

2. Methoden

die Kontaktperson potenzielle Teilnehmer:innen vor und stellte den ersten Kontakt her.

Tabelle 2.2 zeigt eine Übersicht zu den einzelnen Befragten. Wichtig war in diesem Zusammenhang, dass die Expert:innen unterschiedliche Funktionen in ihren jeweiligen Unternehmen hatten. Diese Vorgehensweise unterstützte eine breitere Perspektive auf den laufenden Wandel in der Energiebranche. Ihr Fachwissen umfasste verschiedene Bereiche innerhalb der Energiebranche, dazu zählen digitale Dienstleistungen und Serviceangebote sowie die Produktentwicklung. Zudem wurde auch die Messtechnik, Strommessung und das Smart Meter Rollout Projekt berücksichtigt, durch die Befragung der verantwortlichen Person. Es wurden noch weitere Teilnehmer:innen aus den Bereichen Kundenservice und Energiedatenmanagement befragt. Das unterschiedliche Fachwissen der Teilnehmer:innen führt dabei zu einer umfänglicheren Perspektive rund um das Thema Digitalisierung und Smart Meter sowie ihre Auswirkungen auf die Energiedienstleister.

ID	Geschlecht	Funktion	Hauptaufgaben
EX1	Männlich	Leiter digitale Services	Digitale Transformation, Entwicklung von Energieprodukten
EX2	Weiblich	Produktentwicklerin	Identifikation und Entwicklung neuer Energiedienstleistungen
EX3	Männlich	Leiter Messtechnik	Planung und Umsetzung von Smart-Meter-Projekten, Energiemessung
EX4	Männlich	Energiedatenmanager	Energiemengenbilanzierung, Marktkommunikation, Abrechnung
EX5	Männlich	Leiter Kundenservice	Betreuung von Stromkunden, Abrechnung, Forderungsmanagement

Tabelle 2.2.: Übersicht Teilnehmende der Experteninterviews

Rekrutierung für die Evaluation des Prototyps: Die Teilnehmenden für die Evaluation des Prototyps wurden gezielt rekrutiert, um sowohl fachliche Expertise als auch anwenderseitiges initiales Feedback zu erhalten. Dabei wurden drei Angestellte aus dem Energiesektor sowie drei potenzielle Nutzer:innen für die Evaluation des Prototyps herangezogen. Die Rekrutierung der Angestellten aus dem Energiesektor erfolgte nach dem gleichen Schema wie bei der Rekrutierung für die Expert:innen-Interviews. Nach einer kurzen Vorstellung des Prototyps und der verbundenen Evaluation schlug die initiale Kontaktperson innerhalb des Unternehmens potenzielle Teilnehmende vor und organisierte die Interviews. Die Rekrutierung der Nutzer:innen erfolgte über den persönlichen Bekanntenkreis. Die Auswahl der Nutzer:innen für die Evaluation des Prototyps erfolgte ohne eine gezielte Vorauswahl hinsichtlich technischer Vorerfahrungen oder ergebnisbezogenem

Interesse. Das Ziel war, Rückmeldungen von typischen Verbraucher:innen zu erhalten, die mit Verbrauchsdaten konfrontiert werden. Es wurde beachtet, dass die Teilnehmenden unterschiedliche soziodemografische Hintergründe aufweisen, um so Rückmeldungen zu erhalten, die ein realistisches Bild zur Anwendbarkeit des Prototyps vermitteln. Die Tabelle 2.3 stellt eine Übersicht der Teilnehmenden an der Evaluation des Prototyps dar.

ID	Geschlecht	Rolle	Hintergrund/Tätigkeit
T1	Männlich	Experte	Leitung des Bereichs Telekommunikation
T2	Weiblich	Expertin	Identifikation und Entwicklung neuer Energiedienstleistungen
T3	Männlich	Experte	Leiter des Teams Data und Künstliche Intelligenz
T4	Weiblich	Nutzerin	Wirtschaftsprüfung und Studentin - Wirtschaftsrecht
T5	Weiblich	Nutzerin	Zolldeklarantin
T6	Männlich	Nutzer	Studentischer Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik

Tabelle 2.3.: Übersicht Teilnehmende der Evaluation des Prototyps

2.4. Prototypentwicklung

Auf Basis der theoretischen Erkenntnisse und Interviewergebnisse wurde ein konzeptioneller Prototyp entwickelt. Dieser baut auf der bestehenden Smart-Meter-Infrastruktur auf und zielt darauf, eine Lösung zu gestalten, die an realen Bedarfen ansetzt und technische Möglichkeiten praxisnah nutzt. Er ermöglicht es, konkrete Produktideen erlebbar zu machen und damit fundiertes Feedback zu erhalten. In der Forschung spricht man häufig von einer *Technology Probe* [36].

Für die Entwicklung wurde folgender Technology-Stack eingesetzt: Die Web-Anwendung wurde mit dem Javascript-Framework React entwickelt. Für die Gestaltung der Benutzeroberfläche wurde Material UI (MUI) eingesetzt, die die Entwicklung moderner und konsistenter Layouts erleichtert. Um die Stromverbrauchsdaten zu visualisieren, wurde die auf D3.js basierende Bibliothek Nivo verwendet. Sie ermöglicht die Darstellung der Daten in Form unterschiedlichster Diagramme. Für die Datumsauswahl wurde die Bibliothek react-datepicker verwendet, die eine benutzerfreundliche Auswahl verschiedener Zeiträume ermöglicht. Für die Navigation zwischen den einzelnen Seiten und Modulen wurde React Router herangezogen, wodurch eine flüssige Navigation gewährleistet werden kann.

2. Methoden

2.4.1. Evaluation des Prototyps

Zur Bewertung des Prototyps wurden, wie oben erwähnt, sechs weitere Interviews im Rahmen einer Usability Studie [45] durchgeführt. Zu der Evaluation luden wir Angestellte des bereits involvierten Energiedienstleisters ein. Zusätzlich wurden noch potenzielle Nutzer:innen miteinbezogen. Ziel war es, Rückmeldungen zur Relevanz, Verständlichkeit und Anwendbarkeit des Konzepts zu erhalten. Die Evaluation erfolgte schließlich durch drei Expert:innen aus dem Energiesektor sowie drei Nutzer:innen, die typische Verbraucher:innen repräsentieren (vgl. Tabelle 2.3). Die Interviews mit den Teilnehmenden wurden offen gestaltet und orientierten sich an einem zuvor definierten Leitfaden (vgl. Anhang A.3). In diesem Zusammenhang wurden den Teilnehmenden konkrete Aufgaben erteilt, die typische Szenarien simulieren. Während der Bearbeitung der Aufgaben wurden die Teilnehmenden gebeten, laut zu denken. Anschließend wurden den Teilnehmenden noch einige Fragen gestellt. Diesbezüglich lag der Fokus auf allgemeinen Aspekten wie Verständlichkeit, Relevanz, Nützlichkeit sowie Verbesserungsvorschlägen. Bei den Expert:innen wurden zusätzlich nach einer Einschätzung der Einbindung eines solchen Prototyps in das bestehende System gefragt. Auch dieses Interview wurde anhand der *thematischen Analyse nach Braun und Clarke* ausgewertet, um eine konsistente methodische Vergleichbarkeit sicherzustellen.

2.5. Ethische Aspekte

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden mehrere Interviews durchgeführt. Einerseits qualitative Expert:innen-Interviews zur Einbeziehung praxisnaher Perspektiven und Erhebung von Anforderungen und andererseits für die anschließende Evaluation des entwickelten Prototyps. Für beide Erhebungen wurden entsprechende ethische Vorkehrungen getroffen, die folgend beschrieben werden.

Ethische Aspekte der Experteninterviews: Die Teilnehmenden der Experteninterviews, die im Rahmen dieser Studie interviewt wurden, wurden vorab über den Ablauf der Studie informiert und gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme (ein Muster der Einverständniserklärung befindet sich im Anhang A.2). Es wurde darauf hingewiesen, dass zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen das Interview abgebrochen werden kann. Die Interviews wurden so konzipiert, dass keine sensiblen persönlichen und unternehmerischen Informationen erhoben wurden. Bei der Datenverarbeitung wurden sowohl der Datenschutz als auch die Vertraulichkeit berücksichtigt. Alle erhobenen Daten wurden diesbezüglich anonymisiert. Die Aufzeichnungen dienten dabei ausschließlich der Transkription und werden nach Abschluss der Masterarbeit gelöscht. Abschließend ist zu erwähnen, dass die Teilnahme auf freiwilliger Basis erfolgte und keine finanzielle Kompensation gewährt wurde.

Ethische Aspekte der Evaluation des Prototyps: Auch für die Evaluation des entwickelten Prototyps wurden ethischen Aspekte beachtet. Alle Teilnehmenden wurden vorab über den Zweck der Evaluation sowie deren Ablauf informiert. Die Teilnahme war freiwillig und konnte jederzeit ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden. Vor Beginn

2.5. *Ethische Aspekte*

der Durchführung der Evaluation wurde den Teilnehmenden eine Einverständniserklärung vorgelegt. Durch Unterzeichnung dieser Einverständniserklärung stimmten die Teilnehmenden der Befragung zu. Ein Muster der Einverständniserklärung befindet sich im Anhang A.4. Im Rahmen der Evaluation wurden keine sensiblen persönlichen Daten erfasst. Die Aufzeichnungen dienen lediglich der Dokumentation und werden nach Abschluss der Arbeit gelöscht. Des Weiteren wurden alle Aussagen vollkommen anonymisiert und vertraulich behandelt. Die erhobenen Daten dienen ausschließlich für den wissenschaftlichen Zweck für diese Masterarbeit. Auch in diesem Fall wurde keine finanzielle Kompensation gewährt.

3. Literaturrecherche

Dieses Kapitel dient als theoretische Grundlage der Arbeit und verfolgt das Ziel, einen Überblick über die Digitalisierung im Energiesektor zu schaffen. Die Grundlage bildet dabei eine begriffliche Erklärung der Digitalisierung und ihren Einfluss auf den Energiesektor. Nachfolgend wird detailliert auf die Schlüsseltechnologien Smart Grid und Smart Meter eingegangen. Zum Schluss wird noch der Fortschritt der Einführung von Smart Meter in Europa dargestellt.

3.1. Digitalisierung im Energiesektor

Die Digitalisierung im Energiesektor bringt viele Veränderungen für die Energiewirtschaft mit sich. Dabei ist der Energiesektor einer der Vorreiter in der Einführung digitaler Technologien. Bereits in den 1970er Jahren haben Stromversorger neue Technologien zur Vereinfachung der Netzverwaltung eingesetzt. Das Tempo der Digitalisierung nimmt dabei in der Branche zu und viele Unternehmen haben stark in digitale Technologien investiert [50].

3.1.1. Der Begriff der Digitalisierung

Der Begriff Digitalisierung wird oftmals auf verschiedenste Weise definiert und in den unterschiedlichsten Kontexten verwendet. Weigel und Fishedick [72] bezeichnen die Digitalisierung als einen Transformationsprozess, der durch digitale Technologien initiiert, erleichtert oder beschleunigt wird. Dabei erwähnen sie, dass in der Regel sich diese Technologien aus einer Kombination von Hardware und Software bilden. Laut Trzaska et al. [65] ist die Digitalisierung ein multidimensionaler Prozess, der die Zusammenführung der realen und digitalen Bereiche fördert und die treibende Kraft für den wirtschaftlichen Wandel und Innovation ist. Schallmo und Williams [57] verstehen die Digitalisierung als die grundlegende Veränderung von Geschäftsprozessen und Geschäftsmodellen, die durch Erkenntnisse aus Digitalisierungsinitiativen vorangetrieben wird. Im Kontext der Digitalisierung werden auch die Begriffe 'Digitization' und 'Digital Transformation' häufig verwendet. Dabei versteht man unter dem Begriff 'Digitization' die Umwandlung von analogen Informationen in die digitale Form. Dies erfolgt in der Regel durch Kodierung in Binärform, damit sie von Computern gespeichert, verarbeitet und übertragen werden können. Dieser Prozess konzentriert sich auf Informationen und nicht auf die Umwandlung von Prozessen, die für die Digitalisierung charakteristisch ist [65] [77] [57] [50]. 'Digital Transformation' wird von Schallmo und Williams [57] als ein nachhaltiger unternehmensweiter Wandel, durch überarbeitete oder neue Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle, definiert. Letztlich mit dem Ziel einer verbesserten Rentabilität. Nazari und Musilek [50]

3. Literaturrecherche

beschreiben die 'Digital Transformation' als einen unternehmensweiten, strategischen Wandel, der innovative Technologien nutzt. Dadurch können neue Geschäftsmodelle gestaltet werden, um die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Wenn man diese Begriffe näher betrachtet, wird das Ausmaß des Wirkungsbereichs der Digitalisierung deutlich. Man digitalisiert Informationen, digitalisiert Prozesse und Rollen und digitalisiert das ganze Unternehmen und ihre Strategien wie in der Abbildung 3.1 dargestellt.



Abbildung 3.1.: Digitization – Digitalisierung – Digitale Transformation [65, S. 3]

Wie bereits einleitend erwähnt, spielt die Digitalisierung im Energiesektor bereits eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund erfolgt nachfolgend eine vertiefte Betrachtung dieses Themas.

3.1.2. Der digitale Wandel im Energiesektor

In den letzten Jahren wurde der digitale Wandel im Energiesektor durch neue Technologien vorangetrieben. Dabei bringt dies einen erheblichen Einfluss auf die Energiewirtschaft mit sich, besonders was die Erzeugung, Übertragung und Verteilung des Stroms betrifft [77]. Historisch gesehen ist die Energiewirtschaft durch zentralisierte Energieerzeuger gekennzeichnet, die Strom erzeugen und über das Netz (verwaltet von Netzbetreibern) an den Endverbraucher übertragen. Durch neue Technologien ändert sich diese Art und Weise. Allgemein bewegt sich die Energiewirtschaft immer weiter in Richtung Dezentralisierung, wobei der Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird und über Smart Grids verteilt wird [50]. Auch die EU-Energiepolitik verfolgt das Ziel der Dezentralisierung der Wirtschaft. Weitere Ziele sind die Verringerung der CO₂-Emissionen, die Diversifizierung der europäischen Energiequellen einschließlich der Verringerung der Abhängigkeit von Energieimporten und die Integration und den freien Verkehr von Energie innerhalb der EU [35]. Beispiel für eine Initiative der EU ist das Paket „Saubere Energie für alle Europäer“. Das Ziel ist es, die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu erhöhen und den Einsatz von intelligenten Zählern, Smart Meter, zu fördern. Gleichzeitig soll die Wettbewerbsfähigkeit und die Innovation im Energiesektor gestärkt werden [26].

Neben diesen strukturellen Veränderungen und politischen Zielen stellt sich die Frage, welche Faktoren den digitalen Wandel im Energiesektor noch antreiben. Di Silvestre et al. [21] betonen die Notwendigkeit, in veraltete Netzinfrastrukturen zu investieren, um den

3.1. Digitalisierung im Energiesektor

steigenden Anforderungen gerecht zu werden, da es durch die Integration neuer dezentraler Energiequellen zu einer stärkeren Belastung des Netzes kommt. Nazari und Musilek [50] erwähnen zahlreiche Faktoren, die den digitalen Wandel im Energiesektor antreiben. In diesem Zusammenhang erwähnen sie, dass vor allem der steigende Bedarf an erneuerbaren Energien, zunehmende Kundenansprüche und der wachsende Wettbewerb ausschlaggebend dafür sind. Auch Kosten zu senken, transparenter zu werden und regulatorischen Anforderungen zu erfüllen, zählen zu den Treibern für den Wandel. Siuta-Tokarska et al. [62] unterscheiden grundsätzlich zwei wesentliche Gruppen von Treibern. Erstens spezifische Treiber, die unmittelbar den Energiesektor betreffen. Dazu zählen die sogenannten '3 Ds' - Dekarbonisierung, Dezentralisierung und Digitalisierung, des Weiteren der verstärkte Ausbau erneuerbarer Energien, die Verbesserung der Energieeffizienz und die Einführung von Smart Grids und Smart Meters. Zweitens allgemeine technologische Treiber wie das Internet of Things, Big Data, Cloud Computing. Sie ermöglichen den Energiedienstleistern, ihre Prozesse zu optimieren und Kosten zu senken sowie die Kundenschnittstellen zu verbessern. Auch El Zein und Gebresenbet [25] betonen die Wichtigkeit der Digitalisierung im Energiesektor hinsichtlich eines nachhaltigen und robusten Energiesystems. Dabei identifizieren sie fünf strukturelle Treiber. Die sogenannten 5 Ds:

- **Dekarbonisierung:** Konzentriert sich auf die Reduzierung der Kohlenstoffemissionen
- **Dezentralisierung:** Verlagerung der Energieerzeugung von zentralen Werken hin zu vielen kleinen
- **Demokratisierung:** Stärkere Beteiligung aller Stakeholder
- **Deregulierung:** Liberalisierung der Energiemärkte
- **Digitalisierung:** Nutzung fortschrittlicher digitaler Technologie zur Optimierung

Celik et al. [15] betonen, dass digitale Technologien wie Internet of Things oder Cloud Computing entscheidend für die Integration erneuerbarer Energien sind und wesentlich zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele beitragen können. Abschließend betonen Olabi et al. [51] dass die Digitalisierung wesentlich zur Verbesserung der Effizienz von Energiesystemen beitragen kann und den Wandel hin zu nachhaltigen Energiequellen beschleunigen kann, insbesondere durch den Einsatz neuer Technologien wie Künstliche Intelligenz oder automatisierter Kontrollsysteme.

Zusammenfassend zeigt sich, dass der digitale Wandel im Energiesektor durch politische Zielsetzungen, technologische Innovationen und strukturellen Veränderungen geprägt ist. Dieser Wandel bringt sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit sich. Deshalb wird in den folgenden Abschnitten näher auf die konkreten Chancen und Herausforderungen, die sich durch die Digitalisierung ergeben, eingegangen.

3. Literaturrecherche

3.1.3. Chancen der Digitalisierung

Der digitale Wandel im Energiesektor eröffnet eine Vielzahl neuer Potenziale, unter anderem würde die Digitalisierung des Energiesektors zu einem effizienteren, zuverlässigeren und kostengünstigeren Energiesystem führen und des Weiteren Vorteile für alle Stakeholder mit sich bringen [3]. Basierend auf einer grundlegenden Literaturrecherche haben Weigel und Fischedick [72] folgende Vorteile der Digitalisierung im Energiesektor klassifiziert:

- **Systemstabilität:** Digitale Anwendungen tragen zur Stabilität bei, indem sie eine bessere Vernetzung und Kontrolle von Systemkomponenten ermöglichen. Dadurch wird die Netzstörungen minimiert
- **Umweltschutz:** Durch den Einsatz von digitalen Technologien können Emissionen und Ressourcenverbrauch minimiert werden
- **Reduzierung des Energiebedarfs:** Digitale Anwendungen helfen den Primärenergiebedarf und den Gesamtverbrauch zu reduzieren. Dies erfolgt durch verbesserte Energieeffizienz
- **Umsatzsteigerung:** Digitale Innovationen öffnen die Türen für neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen
- **Kostensenkung:** Digitalisierung ermöglicht Kosten zu senken, indem Prozesse automatisiert werden
- **Kundenzufriedenheit:** Durch neue Technologien könne die Bedürfnisse und Erwartungen der Kund:innen besser erfüllt werden

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Digitalisierung viele neue Potenziale eröffnet, von Effizienzvorteilen oder Kostenvorteilen bis hin zur besseren Integration von erneuerbaren Energien. Des Weiteren können neue Dienstleistungen angeboten werden und die Verbraucher können aktiver miteinbezogen werden. Aber die Digitalisierung stellt die Energiedienstleister auch vor neue Herausforderungen, die im nächsten Abschnitt behandelt werden.

3.1.4. Herausforderungen der Digitalisierung

Die Einführung digitaler Technologien hat nicht nur Vorteile, sondern stellt den Energiesektor auf organisatorischer, verwaltungstechnischer und politischer Ebene vor einigen Herausforderungen. Eine zentrale Herausforderung der Digitalisierung ist der Mangel an qualifiziertem Personal, das für die Einführung digitaler Technologien erforderlich ist. Ein weiterer Faktor sind die Kosten, da oft erhebliche Investitionskosten mit der Implementierung neuer Technologien verbunden sind [77]. Olabi et al. [51] beschreiben folgende wesentliche Herausforderungen:

- **Technische Herausforderungen**

- Komplexität der Systemintegration: Die Integration und Verwaltung verschiedener Datenquellen in Energiesystem stellt eine Herausforderung dar
- Anforderung an die Recheninfrastruktur: Die Datenverarbeitung in Echtzeit erfordern leistungsstarke Rechnerinfrastruktur
- Kompetenzmangel: Mangel an Fachleuten für die Implementierung von Technologien

- **Institutionelle Herausforderungen**

- Unzureichende rechtliche Rahmenbedingungen: Fehlen unterstützenden und klarer Vorschriften
- Fehlende Standardisierung: Das Fehlen branchenweiter Standards erschwert die Einführung neuer Technologien

- **Wirtschaftlich Herausforderungen**

- Cybersicherheit: Digitale Systeme bieten neue Angriffsflächen, deshalb braucht es Investitionen in eine robuste Sicherheitsinfrastruktur
- Hohe Implementierungskosten: Die Gesamtkosten für die Einführung digitaler Technologien stellen ein Hindernis dar

- **Gesellschaftliche Herausforderungen**

- Verlagerung von Arbeitsplätzen: Die Automatisierung kann zu Verlusten von Arbeitsplätzen führen.
- Missverständnisse in der Öffentlichkeit: Falsche Vorstellungen gegenüber der Digitalisierung behindern die gesellschaftliche Akzeptanz.
- Bedenken in Bezug auf Datenschutz

Nazari und Musilek [50] erwähnen in diesem Zusammenhang auch, dass veraltete IT-Systeme die Integration neuer Technologien erschweren. Auch von ihnen wird auf die Herausforderungen hinsichtlich Cybersicherheit, fehlenden Investitionskosten, rechtlichen Unsicherheiten und Fachkräftemangel hingewiesen.

El Zein und Gebresenbet [25] klassifizieren auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche zwei Hauptkategorien: Technologische und ökonomisch-organisatorische Hürden. Die technologische Ebene beinhaltet die Cybersicherheit, mangelnde Datenqualität und die Komplexität und die ökonomisch organisatorischen Hürden umfassen die hohen Investitionskosten, fehlende regulatorische Klarheit, Fachkräftemangel und die geringe gesellschaftliche Akzeptanz.

Resümierend kann festgestellt werden, dass die Digitalisierung von mehreren Schlüsselfaktoren im Energiesektor vorangetrieben wird. Wirtschaftliche Vorteile wie Umsatzwachstum und Kostensenkung treiben die Unternehmen an, digitale Technologien einzusetzen. Des Weiteren können digitale Technologien einen positiven Einfluss haben, Umweltziele

3. Literaturrecherche

zu erreichen. Auch veraltete Infrastruktur und veränderte Kund:innenerwartungen verstärken den digitalen Wandel. Digitalisierung bringt aber auch Herausforderungen für den Energiesektor mit sich. Der Mangel an digitalen Fachkräften, hohe Investitionskosten, Sicherheitsrisiko und rechtliche, regulatorische Hürden beeinflussen den Wandel. Auch die Gesellschaft wird von der Digitalisierung getroffen. Neue Dienstleistungen und Stellen können geschaffen und andere wiederum eingestellt werden. Insgesamt bietet die Digitalisierung neue Chancen, aber auch Herausforderungen für den Energiesektor. Besonders das Stromnetz profitiert von der Digitalisierung durch verbesserte Überwachungs-, Steuerungs- und Kommunikationstechnologien [50]. Im Folgenden wird genauer auf das Stromnetz und die Innovation Smart Grid eingegangen.

3.2. Smart Grid

Wie bereits mehrfach erwähnt, ist das Smart Grid ein Schlüsselfaktor für die Digitalisierung im Energiesektor. Daher werden in diesem Kapitel die Eigenschaften des Smart Grid detailliert beleuchtet. Es wird sowohl auf die Herausforderungen als auch auf die Vorteile der Einführung des Smart Grid eingegangen.

3.2.1. Charakterisierung des Smart Grids

Wie bereits in der Einleitung angedeutet, zeichnet sich das Smart Grid (SG) durch einen bidirektionalen Stromfluss in Kombination mit Informations- und Kommunikationstechnologien aus [19]. Dileep [23] weist jedoch darauf hin, dass es keine einheitliche Definition für das Smart Grid gibt, weil verschiedene Ansätze und Definitionen existieren.

Wird die ganze Definition im Allgemeinen betrachtet, kann das Smart Grid als ein Netz bezeichnet werden, das eine transparente und nahtlose bidirektionale Lieferung von Energie und Informationen ermöglicht. Dies steht im Gegensatz zum herkömmlichen Stromnetz, welches vorwiegend für unidirektionale Energieflüsse ausgerichtet ist [39]. Wenn ein klassisches Stromnetz mit Informations- und Kommunikationstechnologie integriert wird, wird dieses Stromnetz in ein Smart Grid umgewandelt und ein bidirektionaler Stromfluss wird ermöglicht [19]. Dabei bleiben die Grundprinzipien des Stromnetzes unverändert [52].

Strom wird von großen zentralen Generatoren in das Netz eingespeist und durch Verteilertransformatoren an die Endkund:innen geliefert. Durch die gesellschaftliche Entwicklung und die steigende Nachfrage wurde die Art und Weise der Erzeugung, Lieferung und des Verbrauchs von Strom verändert. Um dieser Veränderung entgegenzuwirken, sollte die Modernisierung des Stromnetzes vorangetrieben werden [52]. Dabei ist das Stromnetz ein komplexes Netzwerk aus vielen miteinander verbundenen Netzen. Es umfasst zahlreiche Stromerzeugungsquellen, verschiedener Energiedienstleister und Endverbraucher, die sich alle auf die Kommunikation und Koordination verlassen. Im traditionellen Netz erfolgte dies weitgehend manuell. Im Gegenzug setzt das Smart Grid auf den Einsatz intelligenter Systeme, die dazu dienen sollen, die Interaktion zwischen den Beteiligten zu automatisieren und zu optimieren und in diesem Zusammenhang auch eine nachhaltige,

wirtschaftliche, effiziente und sichere Stromversorgung zu gewährleisten [40]. Tabelle 3.1 veranschaulicht Zame et al. [75] Vergleich des traditionellen Stromnetzes und des Smart Grids.

Traditionelles Stromnetz	Smart Grid
Mechanisierte Infrastruktur	Digitalisierte Infrastruktur
Einseitige Kommunikation	Bidirektionale Echtzeitkommunikation
Zentrale Energieerzeugung	Dezentrale Energieerzeugung
Radiales Netzwerke	Verteiltes Netzwerk
Geringe Datennutzung	Hohe Datenverfügbarkeit und -verarbeitung
Begrenzte Einsatz von Sensorik	Umfassender Einsatz von Sensoren und Monitoring Systemen
Kaum automatisierte Überwachung	Fortgeschrittene automatisierte Überwachung
Manuelle Steuerung und Fehlerbehebung	Automatisierte Steuerung und Wiederherstellungsprozesse
Geringe Relevanz von IT-Sicherheit	Erhöhte Anforderungen an IT-Sicherheit und Datenschutz
Störungsbehebung stark manuell geprägt	Adaptive, autonome Schutzmechanismen
Keine Energiespeicherung	Interagierte Speichersysteme
Eingeschränkte Regelbarkeit	Erweitertes Steuerungs- und Regelungssystem
Verzögerte Netzreaktion	Echtzeitreaktion
Begrenzte Nutzerintegration	Hohe Nutzerintegration

Tabelle 3.1.: Vergleich zwischen dem traditionellen Stromnetz und dem Smart Grid

Das traditionelle Stromnetz ist in erster Linie für die grundlegenden Funktionen wie die Stromerzeugung, -steuerung und -verteilung ausgelegt. Ihre Kommunikationsinfrastruktur ist nur auf wesentliche Bereiche beschränkt und bietet nur minimale Daten und Steuerungsmöglichkeiten. Im Gegenzug bietet das Smart Grid Lösungen für diese Einschränkungen, indem es unter anderem eine bidirektionale Kommunikation sowie Datenaustausch in Echtzeit ermöglicht. Bekanntlich ist das Smart Grid die nächste Generation des traditionellen Stromnetzes und verändert den Energiesektor. SG wird als

3. Literaturrecherche

Zukunft des Energiesystems angesehen [42]. Dabei handelt es sich um ein umfassendes System von verbundenen Technologien und Werkzeugen, die die Integration, Interaktion und Steuerung aller Komponenten ermöglicht. Von den Energiedienstleistern bis hin zu den Endverbraucher:innen dient das SG dazu, einen effizienten und zuverlässigen Stromfluss zu gewährleisten [55]. Das Hauptziel des Smart Grids ist, die Zuverlässigkeit, Effizienz und Nachhaltigkeit von Stromangebot und –Nachfrage zu verbessern. Dies kann erreicht werden, indem Daten durch fortschrittliche Überwachungs- und Kontrollsysteme genutzt werden. Diese hochwertigen Stromverbrauchsdaten sind der Schlüssel zu den Vorteilen eines Smart Grids [14]. Des Weiteren fördert das Smart Grid die Integration erneuerbarer Energiequellen und erleichtert deren Verwaltung [52]. Laut Colak et al. [19] weist das Smart Grid viele verschiedene Aspekte auf, die in der Abbildung 3.2 dargestellt sind.

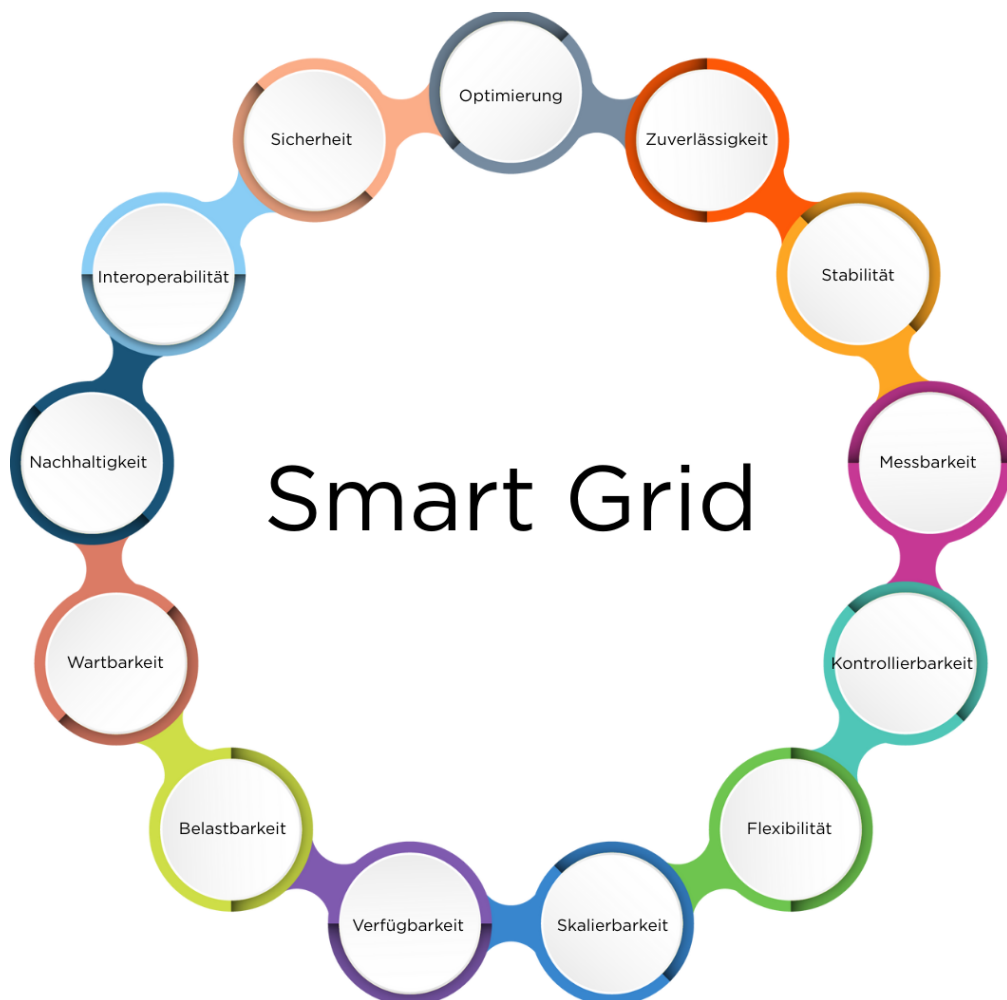


Abbildung 3.2.: Anforderungen eines Smart Grid [19, S. 123]

All diese Merkmale machen das Smart Grid robust genug gegen Stromausfall, Spannungsabfall, Leistungsverluste, Schwankungen und Überspannung. Außerdem werden Erzeuger, Netzbetreiber, Verbraucher:innen und energiepolitische Entscheidungsträger:innen vereint. Ein:e Verbraucher:in kann dabei auch als Erzeuger:in agieren und die überschüssige Energie in das Netz einspeisen [19].

Das Smart Grid ermöglicht ein umfassendes Energiemanagement durch den Einsatz neuer Technologien und erschafft die Möglichkeit für Energieerzeuger, aber auch Verbraucher:innen aktiv zur Optimierung des Gesamtsystems beizutragen [23]. Im folgenden Abschnitt wird detailliert auf die Chancen des Smart Grids eingegangen.

3.2.2. Chancen des Smart Grids

Die Entwicklung des Smart Grid bietet zahlreiche Vorteile für den Energiesektor. Dabei gehen sie weit über das traditionelle Energiesystem hinaus und erstrecken sich über technologische, wirtschaftliche, ökologische und gesellschaftliche Dimensionen. Deshalb befasst sich dieser Abschnitt mit den verschiedenen Chancen, die Smart Grids dem Energiesektor bieten, und liefert eine detaillierte Übersicht.

Vijayapriya und Kothari [68] bringen zur Sprache, dass das Smart Grid in der Lage ist, die Aktionen aller Akteure intelligent zu integrieren und dabei eine nachhaltige wirtschaftliche Stromversorgung sicherzustellen. Dazu werden innovative Produkte und Dienstleistungen zusammen mit Technologien eingesetzt. Unter anderem Steuerungs-, Kommunikations- und Selbstheilungstechnologien. Dies bringt den Vorteil, die Effizienz und Nachhaltigkeit von Stromsystemen zu verbessern. Außerdem ermöglicht das Smart Grid einen verbesserten Anschluss und Betrieb von Stromerzeugern jeglicher Größen und Typen. Auch die Verbraucher:innen können aktiv an der Optimierung mitwirken. Auch die Bereitstellung von Echtzeitinformationen ermöglicht eine bessere Übersicht über den Energieverbrauch. Darüber hinaus spielt das Smart Grid eine zentrale Rolle bei der Verringerung der Umweltauswirkungen und der Verbesserung der Zuverlässigkeit des gesamten Netzes.

Laut Alotaibi et al. [6] bieten die Smart Grids einige Vorteile, indem sie die Zuverlässigkeit verbessern und gleichzeitig die Effizienz des Gesamtsystems steigern. Außerdem tragen sie zur Optimierung der bestehenden Infrastruktur bei und verbessern die Widerstandsfähigkeit, da sie besser in der Lage sind, Störungen zu bewältigen. Auch Alotaibi et al. [6] verweisen auf die verbesserte Möglichkeit, dezentrale Energieressourcen zu integrieren und in diesem Zusammenhang auch eine dezentrale und flexiblere Energielandschaft zu ermöglichen. Für die Energiedienstleister bietet das SG die Möglichkeit, die Systemsicherheit durch den Einsatz von fortgeschrittenen Überwachungs- und Steuerungstechnologien zu verbessern.

Kapse et al. [41] betonen, dass das Smart Grid für eine gleichmäßigere und stabilere Energieversorgung sorgt, indem ein schnellerer und effizienterer Ausgleich von Angebot und Nachfrage ermöglicht wird. Zudem verringern Smart Grids die Notwendigkeit an kostspieligen Reservekraftwerken oder Spitzenlastkraftwerken. In Ergänzung dazu tragen die Selbstheilungsfähigkeiten und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen dazu bei, dass die Versorgung auch bei Störungen oder ungünstigen Bedingungen nicht unterbrochen

3. Literaturrecherche

wird.

Dileep [23] hebt insbesondere die Chancen hervor, die sich durch Smart Grids für Energiedienstleister ergeben. In diesem Zusammenhang wird erwähnt, dass Smart Grids erhebliche Möglichkeiten zur Verbesserung der Systemleistung und der Bereitstellung von Dienstleistungen beitragen. Zudem bietet das SG durch Echtzeitüberwachung und intelligente Automatisierung dem Energiedienstleister die Möglichkeit, die Ineffizienzen bei der Energieverteilung zu verringern. Durch das SG können die Energiedienstleister auch Stromausfälle schneller erkennen und den Energiefluss schneller wiederherstellen, wodurch Ausfallzeiten und Dienstunterbrechungen minimiert werden. Auch Dileep [23] erwähnt die einfachere Integration von erneuerbaren Energiequellen wie Wind- und Solarenergie durch das SG und dass gleichzeitig das Systemgleichgewicht gewahrt werden kann. Zusammenfassend trägt das Smart Grid zu einer höheren Netzzuverlässigkeit bei, indem Stromausfälle und Spannungseinbrüche verringert werden können.

Abschließend erwähnen Faheem et al. [31] dass das Smart Grid erheblichen Anteil an der Senkung des Energieverbrauchs durch die Optimierung des Verbrauchsverhaltens hat. Zusätzlich führt die Integration erneuerbarer Energiequellen zur Senkung der Treibhausgasemissionen und trägt zur Deckung des wachsenden Energiebedarfs bei. Auch die Benutzerfreundlichkeit wird durch das SG verbessert, was sowohl für Energiedienstleister als auch für Verbraucher:innen wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Letztlich können durch moderne Kommunikationstechnologien wie 4G, 5G, Satellit, Glasfaser und Mikrowellenverbindungen eine effiziente Datenübertragung mit geringer Latenz über verschiedene Netzwerkschichten ermöglicht werden.

Trotz der zahlreichen Vorteile, die das Smart Grid für den Energiesektor mit sich bringt, sind auch einige Herausforderungen zu bewältigen. Im folgenden Abschnitt werden die mit dem Smart Grid verbundenen Herausforderungen näher erläutert.

3.2.3. Herausforderungen des Smart Grids

Obwohl die Transformation des traditionellen Stromnetzes zum Smart Grid viele Vorteile mit sich bringt, gibt es immer noch Herausforderungen. Der Einsatz neuer Systeme kann die Effizienz und Zuverlässigkeit verbessern, bringt aber auch Risiken mit sich. Das Smart Grid bietet eine neue Angriffsfläche für Cyber-Angriffe, die das Netz stören können. Die Herausforderung besteht darin, das Smart Grid sicher genug zu machen [49].

Ma et al. [46] weisen auf die Herausforderung hin, eine standardisierte Interoperabilität zu gewährleisten. Diese Problematik erscheint dadurch, dass viele verschiedene Technologien und Standards auf dem Markt existieren. Die Stakeholder stehen vor der Herausforderung, geeignete Kommunikationsstandards und interoperable Protokolle zu entwickeln. Aber auch erhebliche Fragen zum Schutz von Kund:inneninformationen treten auf. Die Nutzung und Weitergabe von Daten werfen Bedenken hinsichtlich der Datensicherheit und des Datenschutzes auf. Besonders wichtig ist die Sicherheit persönlicher Daten, wie zum Beispiel Verbrauchsinformationen. Diese können nicht nur für Abrechnungszwecke verwendet werden, sondern auch für Programme zur Lastensteuerung und zeitabhängigen Tarifen [14].

Abrahmsen et al. [2] heben hervor, dass durch die zunehmende Vernetzung und den

zunehmenden Einsatz von digitaler Kommunikation der Energiesektor vor großen Herausforderungen in Bezug auf Sicherheit und Datenschutz steht. Dabei erwähnen sie, je mehr Komponenten an das Netz angeschlossen werden, desto größer wird das Risiko an Cyberangriffen wie zum Beispiel Denial-of-Service, Malware oder Datenverletzungen, was in diesem Zusammenhang die Stabilität des Netzes, die Datenintegrität und die öffentliche Sicherheit gefährdet.

Abdullah und Hassan [1] verweisen auf den Mangel an strengen rechtlichen Rahmenbedingungen und standardisierten Sicherheitsanforderungen, was das Smart Grid anfällig für Ineffizienzen und Missbrauch macht. Des Weiteren erwähnen sie die hohen Anschaffungskosten als eine Herausforderung für die breite Einführung des Smart Grid.

Salkuti et al. [56] machen deutlich, dass bei der Entwicklung des Smart Grid Herausforderungen in verschiedenen Bereichen zu bewältigen sind. Darunter zählt die Verbesserung des Stromnetzes, Kommunikationsstandards, Computerintelligenz, Umwelt- und Wirtschaftsfaktoren sowie die Erschaffung von Testumgebungen für die Validierung. Außerdem stellt der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften eine Herausforderung dar. Betont wird, dass die Werkzeuge der Computerintelligenz wie heuristische Algorithmen aufgrund der Komplexität und der begrenzten Fachkenntnisse eine Herausforderung sind. Auch die Integration erneuerbarer Energiequellen bringt Herausforderungen wie Schwankungen und Steuerungsprobleme mit sich. Außerdem hängt die schnelle und effektive Entscheidungsfindung von starken Automatisierungs- und Kommunikationssystemen ab.

In der Studie von IqtiyaniIlham et al. [37] wird betont, dass die Einführung des Smart Grids in Europa einigen zentralen Herausforderungen gegenübergestellt ist. Hierzu zählt die Systemintegration, insbesondere die Abstimmung der Infrastruktur mit den Marktabläufen, um die Interoperabilität zu gewährleisten. Des Weiteren stellen die veralteten rechtlichen Rahmenbedingungen eine Herausforderung für den Energiesektor dar. Letztlich die Akzeptanz der Nutzer:innen, da viele nicht über die potenziellen Vorteile informiert sind.

Die Stromnetze sind mit vielen Herausforderungen konfrontiert und das Smart Grid kann einen erheblichen Beitrag bei der Problemlösung leisten. Das Smart Grid gilt als die Zukunft des Stromnetzes. Die Anforderungen an das Smart Grid hängen von unterschiedlichen Faktoren ab. Staatliche Ziele, regulatorische Rahmenbedingungen, geografische Gegebenheiten, Energiebedarf und verfügbare Ressourcen sind alles Faktoren, die bei der Entwicklung beachtet werden müssen [52]. Smart Grids sind entscheidend, um den Energiebedarf effizient und umweltfreundlich zu decken. Sie verbessern bestehende Systeme und unterstützen die Nutzung erneuerbarer Energien. Öffentliche Institutionen, private Institutionen, Energieunternehmen und Nutzer:innen spielen alle eine wichtige Rolle in der Entwicklung und Umsetzung eines Smart Grids. Auch die Integration von dezentraler Erzeugung ist von Bedeutung. Der soziale Aspekt darf nicht vernachlässigt werden, indem der nachhaltige Energiebedarf der Gesellschaft immer im Mittelpunkt stehen sollte. Smart Grids tragen zur Energieeffizienz und CO₂-Reduktion bei, indem sie Verbrauchsinformationen und Energiemanagementmöglichkeiten bereitstellen [49]. Um den vollen Nutzen des SG auszuschöpfen, müssen Smart Meter Sensoren und Messgeräte im gesamten Netz kommunizieren. Dadurch kann die Stabilität gewährleistet werden,

3. Literaturrecherche

Störungen erkannt, vorhergesagt und verhindert werden [2]. Ein bedeutender Schritt in der Digitalisierung traditioneller Energienetze stellt die Einführung des Smart Meters dar. Smart Meter (SM) werden als fortschrittliche Messgeräte definiert, die eine bidirektionale Kommunikation ermöglichen, indem Smart Meter Verbrauchsdaten in Echtzeit messen und übertragen [53]. Smart Meter sind ein zentraler Bestandteil des Smart Grids und tragen nicht nur zur Stabilität und Effizienzsteigerung des Netzes bei, sondern revolutionieren durch die Interaktion mit Verbraucher:innen und Versorgern das Energiemanagement [2]. Smart Meter sind eine unverzichtbare Komponente des Smart Grids. Energiedienstleister können durch den Einsatz von Smart Meter umfassende Verbrauchsdaten erfassen, die entscheidend für die Optimierung des Energiemanagements sind. Diese Funktion trägt dazu bei, die Versorgung an die Anforderungen der Zukunft anzupassen. Smart Meter sind somit nicht nur leistungsstarke Messgeräte, sondern auch eine wichtige Komponente für die Weiterentwicklung des Smart Grids [11]. Das Interesse an Smart Grids und Smart Meter ist hoch, mehrere Projekte auf europäischer und regionaler Ebene befassen sich damit [17]. Länder wie Schweden, USA und Großbritannien haben Smart Meter Rollout Programme umgesetzt und zeigen den globalen Fortschritt in diesem Bereich [53]. Angesichts dieser Relevanz wird der Smart Meter im Folgenden genauer untersucht.

3.3. Smart Meter

Wie in der Einleitung bereits kurz beschrieben, ist ein Smart Meter ein fortgeschrittener Zähler für Strom, Gas, Wasser und Fernwärme. Wobei in diesem Abschnitt ausschließlich der Smart Meter zur Erfassung des Stromverbrauches untersucht wird [48]. Der Smart Meter wird zur Messung und Fernübertragung elektronischer Informationen für die Kund:innenabrechnung und die Verwaltung des Stromnetzes eingesetzt [20] [39] [7]. Er unterstützt die bidirektionale Kommunikation zwischen Zähler und zentralem System. Zum Smart Meter System gehören der Smart Meter, eine Kommunikationsinfrastruktur und Steuergeräte [20]. In diesem Zusammenhang wird erwartet, dass der Smart Meter eine der wichtigsten Quellen für Echtzeit-Überwachungsdaten im Smart Grid sein wird [8]. Sie liefern den Verbraucher:innen und Energiedienstleistern wertvolle Einblicke in das Energieverbrauchsverhalten [53]. Rückblickend erkennt man den Einfluss der Digitalisierung, auch bei den Zählern, die im Laufe der Zeit immer weiterentwickelt wurden. Beginnend mit einem elektromechanischen Induktionszähler, über elektronische Zähler in den 1990er Jahren bis hin zur aktuellen Generation der Smart Meter (SM) [32].

3.3.1. Definition und Bedeutung des Smart Meters

Die Smart Meter werden zunehmend als Schlüsselkomponente moderner Energiesysteme anerkannt und werden von mehreren Faktoren angetrieben. In erster Linie durch die Fortschritte bei den Kommunikationsnetzen und der digitalen Strominfrastruktur, gefolgt von nationalen Richtlinien und Klimaneutralitätszielen, die den Einsatz von Smart Metern fördern. Zudem sind der Ausbau intelligenter Städte und die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien weitere Treibkräfte für den verstärkten Einsatz von Smart

Metern [27].

Die zunehmende Integration erneuerbarer Energiequellen und der steigende Strombedarf stellen herkömmliche Stromnetze vor große Herausforderungen. Des Weiteren fehlt es oft an Transparenz in Bezug auf Stromqualität, Zuverlässigkeit und Energieverbrauch. Um diesen Herausforderungen entgegenzuwirken, müssen moderne Technologien eingesetzt werden. Als eine nachhaltige Lösung erweist sich die fortschrittliche Zählerinfrastruktur (Advanced Metering Infrastructure, AMI) [4]. AMI bezieht sich dabei auf das ganze Zählersystem und ermöglicht eine Zwei-Wege-Kommunikation [12]. Ein typisches AMI-Netz besteht grundsätzlich aus drei Hauptkomponenten. Diese drei Hauptkomponenten ergeben sich aus dem Smart Meter, der beim/bei der Verbraucher:in installiert ist, dem Kommunikationsnetz, das für die Verbindung der Smart Meter mit den Energiedienstleistern verantwortlich ist und ein Zählerdatenmanagementsystem zur Verwaltung der erfassten Daten [59]. Dabei dient die AMI als Kommunikationsbrücke zwischen dem Smart Grid und den häuslichen Energiemanagementsystemen. In diesem Zusammenhang werden Technologien wie das automatische Zählerablesen (Automatic Metering Reading, AMR) und das automatische Zählermanagement (Automatic Metering Management, AMM) durch den Einsatz von Smart Meter ermöglicht. Der Smart Meter gilt dabei als eine Kernkomponente des AMI's [5]. Smart Meter haben die Fähigkeit, regelmäßig Messwerte zu erfassen, die Daten an ein Kontrollzentrum weiterzuleiten, Stromausfälle zu erkennen und Spannungsmuster zu analysieren [32]. Die Energieversorger nutzen diese Daten, um Netzstörungen und Ausfälle zu erkennen und Wiederherstellungsmaßnahmen einzuleiten [11]. Abbildung 3.3 zeigt den Vergleich zwischen einem konventionellen Energiezähler und Smart Meter.

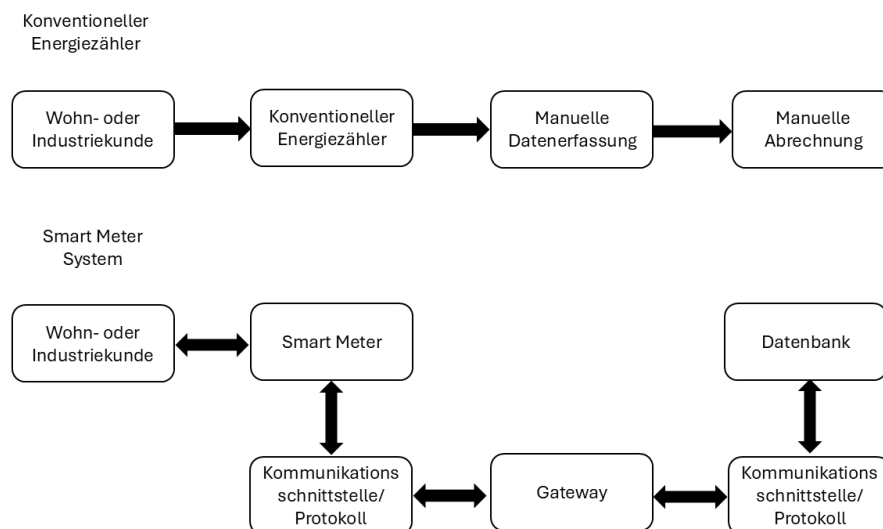


Abbildung 3.3.: Die Messarchitekturen eines konventionellen Zählers und eines Smart Meter [39, S. 58]

3. Literaturrecherche

Der Smart Meter kann im Vergleich zum konventionellen Energiezähler Informationen senden und empfangen. Allgemein werden laut Zheng et al. [39] folgende Funktionen erwartet.

- Zwei-Wege-Kommunikationsfunktion
- Datenerfassungsfunktion
- Datenaufzeichnungsfunktion
- Datenspeicherfunktion
- Lastkontrollfunktion
- Programmierfunktion
- Sicherheitsfunktion
- Anzeigefunktion
- Abrechnungsfunktion

Der Smart Meter kann nicht nur Echtzeit-Energieverbrauchsinformationen, Spannungen und Frequenzen ablesen und sicher übermitteln, sondern der bidirektionale Kommunikationsfluss ermöglicht es auch, Informationen von Kund:innen und deren Verbrauch beziehungsweise Einspeisung zu sammeln [20]. Diese Daten werden mit Hilfe von verschiedenen Sensoren und Kontrollsystemen gesammelt und ins Kommunikationsnetz übertragen. Die Daten umfassen die eindeutige Erkennung des Smart Meter, den Zeitstempel und die Verbrauchswerte [7]. Zusätzlich können die Smart Meter auch Steuerbefehle empfangen, um beispielsweise Lasten aus der Ferne ein- oder auszuschalten [39].

Nachdem die grundlegenden Funktionen und Eigenschaften des Smart Meter erläutert wurden, richtet sich der folgende Abschnitt auf die Chancen, die sich durch den Einsatz von Smart Meter ergeben.

3.3.2. Chancen durch Smart Meter

Wenig überraschend bieten Smart Meter zahlreiche Vorteile für die Energiedienstleister. Der Smart Meter liefert den Energiedienstleistern präzise Daten, die in verschiedenen Bereichen zur Optimierung genutzt werden können (vgl. Beschreibung oben). Laut Barai et al. [11] ermöglichen die Daten eine schnellere Erkennung und Behebung von Netzstörungen, verbessern die Verwaltung von Stromflüssen sowie die Möglichkeit, Kunden umfassender zu informieren.

Zheng et al. [39] erwähnen, dass die gesammelten Informationen des Smart Meters vom Energiedienstleister genutzt werden können, um Echtzeit-Preisgestaltung zu realisieren. Dies eröffnet Energiedienstleistern die Möglichkeit, den maximalen Stromverbrauch zu begrenzen und Nutzer:innen dazu anzuregen, ihre Nachfrage während Spitzenlastzeiten zu reduzieren. Des Weiteren können Smart Meter auch untereinander kommunizieren, um

den Stromverbrauch zu optimieren. Die Installation der Smart Meter bringt viele Vorteile für verschiedene Interessengruppen. Zheng et al. [39] erwähnen folgende Vorteile für die Energiedienstleister:

- Kostensenkung durch die Verbesserung des Fernablese- und Abrechnungssystem
- Bessere Bewältigung von Spitzenlasten
- Ermöglicht eine effizientere Wirtschaftsweise während der Spitzenlastzeiten
- Effizientere Nutzung von Energie- und Netzressource
- Möglichkeit für eine neues Tarifmodell
- Verbesserung der Transformatorlastmanagement für die Übertragungsleitung

Yildiz et al. [73] beschreiben folgende Vorteile für Energiedienstleister im Zusammenhang mit Smart-Meter-Daten. Beginnend von der Möglichkeit, die Spitzen- und Gesamtstromnachfrage zu verringern, was zur Optimierung der Energieverteilung und zur Entlastung des Netzes führt. Gefolgt von der Reduktion von Übertragungs- und Verteilungsverlusten und Betriebskosten. Durch den Zugang zu detaillierten Verbrauchsdaten wird den Energiedienstleistern darüber hinaus auch ermöglicht, bessere Strategien zur Nachfragesteuerung zu entwickeln. Außerdem können Vorhersagen besser getroffen werden. Dies ermöglicht den Energiedienstleistern eine bessere Abstimmung zwischen Stromangebot und -nachfrage, was wiederum zu einem stabileren und nachhaltigeren Energiesystem beiträgt.

Avancini et al. [9] weisen in ihrer Studie hin, dass der Smart Meter allen Akteuren erhebliche Vorteile bringt. Für Verteilungs- und Übertragungsnetze wird durch die Smart Meter die Datenqualität gesteigert und ermöglicht so ein besseres Lastenmanagement. Außerdem profitiert auch der Kundenservice der Energiedienstleister. Smart Meter ermöglicht eine bessere Abrechnungsgenauigkeit und ist für die Ermittlung von Stromunterbrechungen und Energiediebstahl unerlässlich. So trägt der Smart Meter zu einer verbesserten Systemleistung und zur erhöhten Kundenzufriedenheit bei.

Zusätzlich zu den bereits genannten Vorteilen erwähnen Barai et al. [11] noch weitere Vorteile, die der Smart Meter für die Energiedienstleister bietet. Dazu gehören, dass Smart Meter es ermöglichen, eine bessere Überwachung zu etablieren und die Einführung von dynamischen Preismodellen unterstützen. Des Weiteren können auch Mitarbeiter durch die automatische Fernablesung für andere Tätigkeiten freigesetzt werden. Abschließend wird erwähnt, dass Smart Meter eine wichtige Rolle in der Weiterentwicklung moderner Smart Grids spielen.

Aber auch den Verbraucher:innen bietet der Smart Meter zahlreiche Vorteile. Sie erhalten detaillierte Informationen über ihren Energieverbrauch. Dieses wiederum kann sowohl für die Verbraucher:innen als auch für die Energiewirtschaft zu Effizienzgewinnen führen. Durch das Monitoring des Verbrauchs eröffnet es Verbraucher:innen die Möglichkeit, gezielt ihren Strom anzupassen, was zu Kosteneinsparungen führen kann. Zusätzlich ist keine manuelle Ablesung mehr nötig, das heißt für die Verbraucher:innen, Ablesedienste brauchen keinen persönlichen Zugang zu den Zählern, was von Vorteil ist [11].

3. Literaturrecherche

Nachdem die Vorteile des Smart Meters beschrieben wurden, werden folgend die Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Smart Meter erörtert.

3.3.3. Herausforderungen durch Smart Meter

Smart Meter bringen neben vielen Vorteilen auch erhebliche Herausforderungen aus technischer und gesellschaftlicher Sicht mit sich. Eine zentrale Herausforderung ist die Sicherheit, von der Messung über die Übertragung bis hin zur Datenverarbeitung. Hier ist es wichtig, dass in jeder Situation gegen Manipulation und externe Eingriffe das System abgesichert wird [64].

Die verbreitete Einführung von Smart Meter wird von mehreren Herausforderungen begleitet. Ein zentraler Punkt sind die Verbraucher:innen und ihre Akzeptanz gegenüber dem Smart Meter. Die Herausforderung in diesem Zusammenhang besteht darin, das Engagement und das Bewusstsein der Verbraucher:innen zu verbessern und ihnen die Bedeutung von Smart Meter aufzuzeigen. Dies liegt daran, dass immer noch zahlreiche Bedenken auf Seiten der Verbraucher:innen gegenüber dem Gebrauch von Smart Meter bestehen [16].

Wang et al. [70] erwähnen, dass die Integration der Smart Meter den Energiedienstleister einige Vorteile bringt, stellt sie aber auch vor neue Herausforderungen. Durch die kontinuierliche Installation der Smart Meter in den Haushalten wird eine riesige Menge an Verbrauchsdaten erzeugt. Die Verwaltung dieser Menge an Daten ist eine große Herausforderung.

Janev et al. [38] weisen darauf hin, dass eines der technischen Hauptprobleme die Interoperabilität ist, also die Umwandlung von Daten aus einem Quellschema in ein Zielschema. Wie bereits erwähnt, umfassen die Daten des Smart Meters in der Regel eine eindeutige Zählererkennung, einen Zeitstempel und Stromverbrauchswerte. Die Übertragung stellt hohe Anforderungen an das Kommunikationsnetzwerk und an das Design der Geräte, um Datenübertragungen zwischen Versorgungsunternehmen und Smart Meter zu gewährleisten und Manipulationen zu verhindern [38]. Abbildung 3.4 veranschaulicht verschiedene Herausforderungen im Zusammenhang mit der Datenübertragung in einem Smart Meter System.

Bahmanyar et al. [10] sprechen die Sicherheits- und Datenschutzbedenken an. Die bidirektionale Kommunikation zwischen Verbraucher:in und Versorger setzt die Verbraucher:innen potenziellen Eingriffen in die Privatsphäre aus, da ihr Stromverhaltensverhalten offengelegt wird. Außerdem bietet der Smart Meter auch eine neue Angriffsfläche für Hacker, die Energiekosten manipulieren oder falsche Zählerstände erzeugen könnten. Deshalb betonen Efthymoiu und Kalogridis [24], dass der Datenschutz für die Einführung von Smart Meter von entscheidender Bedeutung ist, weil die erfassten Datenmengen durch Smart Meter die von den derzeitigen Systemen erfassten Daten bei weitem übersteigen.

Aber auch die Synchronisierung der neuen Technologie mit den vorhandenen Systemen stellt für die Versorgungsunternehmen eine Herausforderung dar und bringt hohe Investitionskosten mit sich [10]. Diahovchenko et al. [22] sprechen auch die Herausforderung an, moderne Technologie mit vorhandenen Systemen zu synchronisieren. Im Rahmen dessen wird die Ukraine als Beispiel herangezogen, die nur schwer bestehende Strommessgeräte

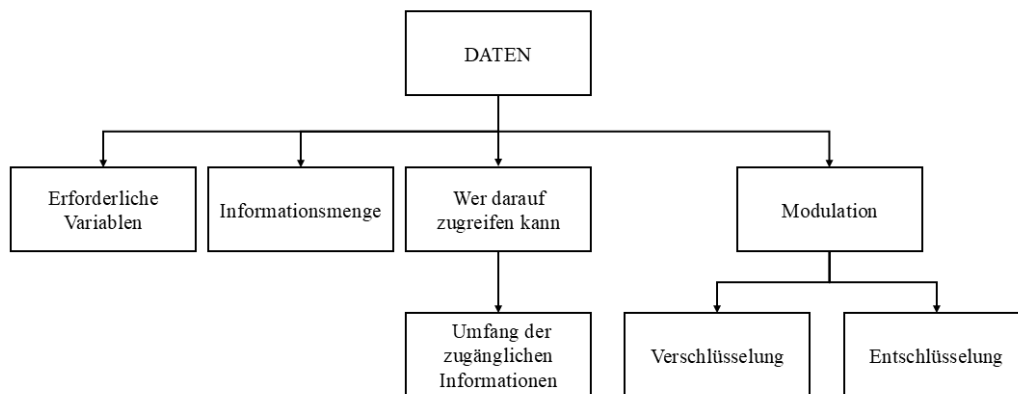


Abbildung 3.4.: Herausforderungen bei der Datenübertragung für ein Smart Meter System [20, S. 4]

durch Smart Meter ersetzen kann. Dies ist auf eine fehlende geeignete Infrastruktur für die Synchronisierung moderner Technologien mit den vorhandenen Systemen zurückzuführen. Dies wiederum behindert die flächendeckende Implementierung von Smart Meter. Die flächendeckende Implementierung ist darüber hinaus auch mit sehr hohen finanziellen Hürden verbunden. Der Austausch der Zähler führt zu hohen Investitionskosten, die von Land zu Land variieren, da sie weitgehend vom Zustand des aktuellen Systems abhängen [76]. Aubel und Poll [66] erwähnen in ihrem Artikel, dass die Einführung von Smart Meter in den Niederlanden schätzungsweise bei etwa 3,3 Milliarden Euro liegt.

Zusammenfassend bringt die Einführung und Nutzung des Smart Meter eine Vielzahl an Herausforderungen mit sich, sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus technischer Perspektive. Darüber hinaus stellt die gesellschaftliche Akzeptanz eine weitere Herausforderung für die Energiedienstleister dar. Trotzdem werden in Anbetracht der Vorteile Smart Meter weltweit in großem Umfang eingesetzt. Auch in Europa rückt die Implementierung und der Einsatz von Smart Meter in den Vordergrund. Angesichts dessen wird folgend der Smart Meter Rollout in den EU-Mitgliedstaaten dargestellt.

3.4. Smart Meter Rollout

Smart Meter spielen eine entscheidende Rolle bei der Digitalisierung der Energiewirtschaft. Durch den Smart Meter Rollout leistet die Politik einen wichtigen Beitrag, diese Entwicklung voranzutreiben. In der Europäischen Union haben sich die Länder das Ziel von 80% Umsetzung des Rollouts der Smart Meter bis 2030 gesetzt [44].

Für eine erfolgreiche Einführung der Smart Meter ist es von entscheidender Bedeutung, dass eine genaue Energiemessung gewährleistet ist und dass eine robuste Kommunikati-

3. Literaturrecherche

onsinfrastruktur zwischen den Akteuren und Systemen aufgebaut wird [33]. Die Strategie der Einführung von Smart Meter bei den EU-Mitgliedstaaten wird dabei sowohl durch den breiteren europäischen Kontext als auch durch länderspezifische Faktoren bestimmt [13]. In der Richtlinie über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt [30] forderten die Europäische Union und der Rat der Europäischen Union, die Einführung des Smart Meter. Mitgliedstaaten sollten in diesem Zusammenhang die Einführung der Smart Meter gewährleisten. Hierzu bot die EU den Mitgliedstaaten an, eine Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen, um zu prüfen, ob und zu welchem Zeitpunkt eine wirtschaftliche und kosteneffiziente Einführung der Smart Meter möglich ist [34].

Betrachtet man die letzten Jahre, wird ersichtlich, dass in vielen europäischen Ländern die konventionellen Zähler mit Smart Meter ausgetauscht wurden. Das Jahr 2020 war dabei ein Schlüsseljahr für die europäische Energie- und Klimapolitik. Ein Punkt dabei war, der Übergang zu einem verbraucher:innenorientierten und digitalisierten Energiesystem zu erleichtern [69]. Schweden gehört zu den Vorreitern der verpflichtenden Einführung von Smart Meter. Bereits 2009 führte die schwedische Regierung eine verpflichtende Einführung von Smart Meter ein und dies brachte großen Erfolg [53]. Betrachtet man die EU-Mitgliedstaaten, so haben nur 13 Mitgliedstaaten im Jahr 2022 einen nennenswerten Grad der Einführung von Smart Meter erreicht (d.h. eine Ausbaurate von mindestens 80%). Abbildung 3.5 zeigt die Ausbaurate von Smart Meter der EU-Mitgliedstaaten 2022 [28].

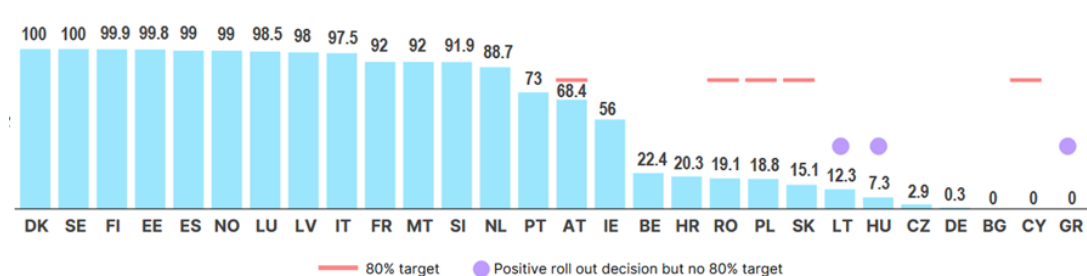


Abbildung 3.5.: Ausbaurate der Smart Meter pro Mitgliedstaat - 2022 in % [28, S. 38]

Der Status des Smart Meter Rollouts weist in Europa einen positiven Trend auf. Ein Schlüsselfaktor für die Einführung von Smart Metern in den Mitgliedstaaten ist eine positive Kosten-Nutzen-Analyse. 21 Mitgliedstaaten haben eine positive Kosten-Nutzen-Analyse und deshalb einen Smart Meter Rollout beschlossen. Trotz anfänglicher negativer Kosten-Nutzen-Analyse hat Deutschland ein Gesetz verabschiedet, das den Rollout ab 2023 erlaubt und ab 2025 verpflichtend macht, mit dem Ziel einer vollständigen Abdeckung bis 2030. Dänemark, Estland, Finnland, Italien, Spanien und Schweden haben eine fast vollständige Abdeckung erreicht. Österreich, Frankreich, die Niederlande und Portugal befinden sich noch im Rollout-Prozess [27].

Es reicht nicht, die Verbraucher:innen nur mit den Smart Meter auszustatten, sondern die Mitgliedstaaten müssen in ihren Rechtsvorschriften gemäß der Elektrizitätsrichtlinie Mindestanforderungen für Smart Meter festlegen, um das volle Potenzial für die Verbrau-

3.5. Zusammenfassung: Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor

cher auszuschöpfen. Zu den Mindestanforderungen zählen, dass der Smart Meter sowohl mit dem Energiemanagementsystem der Verbraucher:innen als auch mit dem Smart Grid interoperabel sein muss. Zudem gehören eine präzise Messung des Stromverbrauchs, ein kostenfreier Zugang zu Verbrauchsdaten sowie die Erfassung eingespeister Energie dazu. Außerdem muss die Messung und Abrechnung in der gleichen zeitlichen Auflösung erfolgen wie auf der nationalen Ebene [28].

3.5. Zusammenfassung: Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor

Die Digitalisierung im Energiesektor ist ein Schlüsselfaktor für den nachhaltigen Energieverbrauch. Sie ist ein zentraler Baustein zur Erreichung der Klimaziele und spielt in einem zunehmend komplexen Energiesystem eine entscheidende Rolle [58]. Die Digitalisierung nimmt eine zentrale Rolle ein, um veraltete Infrastruktur zu modernisieren, die steigende Kundenerwartung zu erfüllen und wirtschaftliche Vorteile zu erschließen [43]. Mit dem Einsatz verbesserter Technologien kann die Überwachung und Dienstleistung verbessert werden. So bieten Smart Grids und Smart Meter erhebliche Potenziale für die Effizienzsteigerung und die Integration von erneuerbaren Energiequellen. Das Smart Grid fungiert dabei als eine zuverlässige und sichere Infrastruktur, die digitalen Informationen und Daten nutzt, um die Sicherheit, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Effizienz des Systems zu verbessern [63]. Zentraler Aspekt des Smart Grid ist die bidirektionale Kommunikation zwischen den Energiedienstleistern und den Verbraucher:innen. Entscheidend sind die granularen Daten, die ermöglichen, auf Veränderungen von Angebot und Nachfrage zu reagieren und die Netzleistung zu optimieren. Sie bringen sowohl für die Verbraucher:innen als auch für den gesamten Energiesektor Vorteile mit sich [74]. Dabei rückt insbesondere die Rolle der Smart Meter als zentrale Kernkomponente im modernen Energiesystem in den Fokus. Sie ermöglichen die Messfunktion in den Energiesystemen [54]. Im weiteren Verlauf können die Smart Meter Energiedienstleistern und Verbraucher:innen detaillierte Informationen über den Verbrauch liefern. Der Einsatz von Smart Meter kann dabei zu einem besseren Service für die Verbraucher:innen führen, die Betriebskosten für die Energiedienstleister senken und die verbundenen Umweltbedenken bezüglich des Energieverbrauchs mildern [71]. Insgesamt bleibt die Digitalisierung für den Energiedienstleister eine große Chance, um langfristig eine nachhaltige Energieversorgung zu gewähren. Aber auch Hürden müssen bewältigt werden. Der Datenschutz, hohe Kosten, regulatorische Herausforderungen sind alles Aspekte, denen sich der Energiedienstleister gegenüberstellen muss.

Es ist zu erwähnen, dass trotz der fortschreitenden Digitalisierung im Energiesektor immer noch einige zentrale Fragen offenbleiben. Diese betreffen sowohl die Möglichkeiten als auch die Herausforderungen, die sich durch die flächendeckende Implementierung von Smart Meter ergeben. Es stellt sich die Frage, welche neuen Anwendungen und Geschäftsprozesse ermöglicht werden können, die zuvor nicht umsetzbar waren, welche bereits umgesetzt und welche noch nicht umgesetzt wurden. Des Weiteren stellt sich die Frage, welche Chancen und Herausforderungen Smart-Meter-Daten für die Energie-

3. Literaturrecherche

dienstleister mit sich bringen, und zwar nicht nur aus technischer Sicht, sondern auch aus der wirtschaftlichen Perspektive. Außerdem stellt sich die Frage, wie sich der Smart Meter Rollout auf die Energiedienstleister ausgewirkt hat. Welchen Herausforderungen mussten bewältigt werden und wie konnten diese erfolgreich gemeistert werden. Um diese Fragen zu beantworten, braucht es ein tieferes Verständnis und eine engere Einbindung der Meinungen und Erfahrungen aus der Praxis. Expert:innen aus dem Energiesektor könnten dazu einen erheblichen Teil beitragen. Deshalb ist es notwendig, qualitative Expert:innen-Interviews mit Fachpersonal im Energiesektor durchzuführen. Dabei sollte das Ziel sein, ein umfassenderes Verständnis der aktuellen Nutzung von Smart Meter zu gewinnen und die kritischen Aspekte zu evaluieren. Im Rahmen dieser Arbeit wurden daher gezielt qualitative Interviews mit Expert:innen aus dem Energiesektor durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im Kapitel 4 dargestellt und liefern wertvolle Eindrücke in den praktischen Umgang mit Smart Metern und die damit verbundenen Chancen und Herausforderungen.

4. Analyse von Experteninterviews

Die Äußerungen von Expertinnen und Experten aus der Energiebranche stellen eine maßgebliche Informationsquelle in dieser Masterarbeit dar. Bereits im Methodenteil 2.2 wurden die Grundlagen der Datenerhebung der Interviews beschrieben. Im Zusammenhang mit den Experteninterviews wurden im Zeitraum von November 2024 bis Februar 2025 insgesamt fünf Personen aus unterschiedlichen Funktionsbereichen befragt. Hierzu zählten der Leiter digitale Services (EX1), eine Produktentwicklerin (EX2), der Leiter für Messtechnik (EX3), ein Energiedatenmanager (EX4) sowie der Leiter des Kundenservices (EX5) (vgl. Kapitel 2.3). Über eine initiale Kontaktperson innerhalb des Unternehmens wurden die Expert:innen kontaktiert und Interviewtermine vereinbart. Alle fünf Einzelinterviews (Guideline: siehe Appendix A.2) wurden online über Microsoft Teams durchgeführt und nahmen zwischen 35 und 70 Minuten in Anspruch. Sie wurden auf Audio aufgezeichnet und für die anschließende Analyse transkribiert. Für die Durchführung der Gespräche wurde ein Interviewleitfaden herangezogen (siehe Appendix A.1), doch wir bemühten uns die Teilnehmenden möglichst frei und ohne Unterbrechungen von ihren Erfahrungen sprechen zu lassen.

Ziel dieses Kapitels ist es, die gewonnenen Erkenntnisse aus der thematischen Analyse der Expert:innen-Interviews darzustellen und detailliert zu erörtern. Hierbei werden die zentralen Themenbereiche dargestellt, die während der Analyse emergiert sind, um ein umfassendes Bild der gewonnenen Daten zu vermitteln.

Diese Themenbereiche heben die praxisnahen Herausforderungen der Digitalisierung durch den Smart Meter im Energiesektor hervor und zeigen Chancen auf, die für die Energiedienstleister entstehen. Durch die Analyse wurden fünf Themen mit jeweiligen Unterthemen und Zusammenhängen identifiziert, die in Abbildung 4.1 dargestellt sind. Die fünf Hauptthemen umfassen: Die Rolle von Smart Metern in der digitalen Energieinfrastruktur, Herausforderungen bei deren Einführung und Nutzung, Verbraucherperspektiven auf digitale Energiedienstleistungen, ökonomische Potenziale durch Smart Meter & digitale Plattformen sowie Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern. Die Themen bzw. Unterthemen werden in den folgenden Seiten im Detail beschrieben.

4. Analyse von Experteninterviews

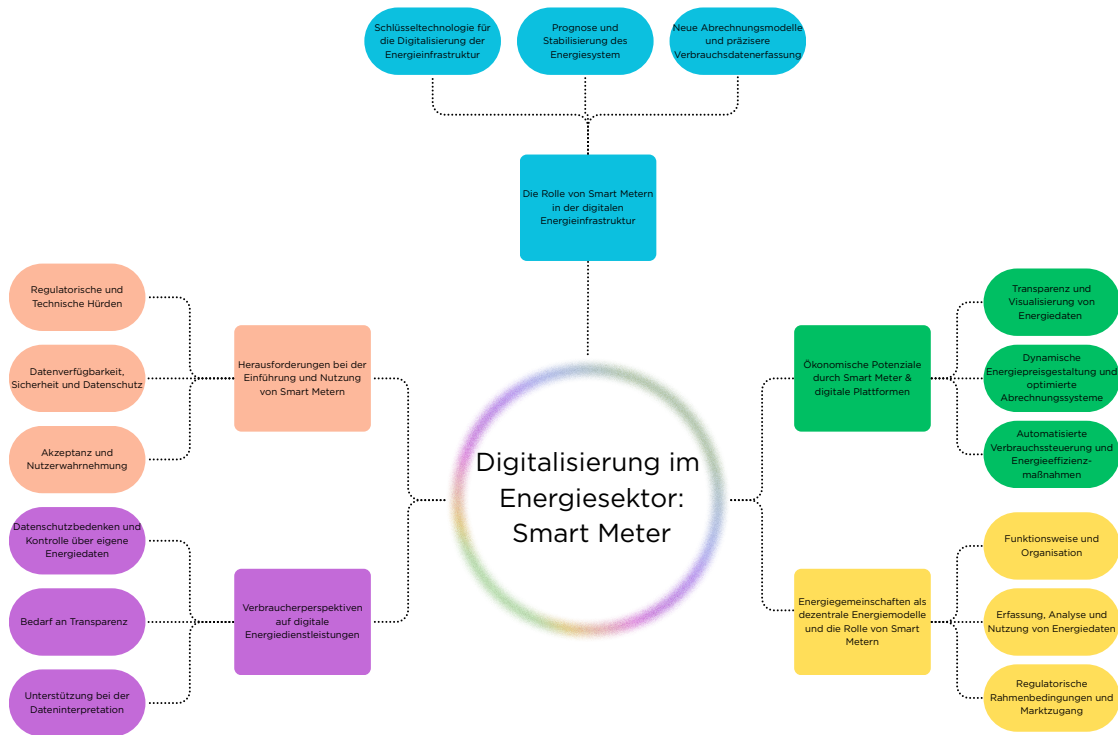


Abbildung 4.1.: Gesamtschau der wichtigsten Themen aus der thematischen Analyse. Auf den folgenden Seiten werden die Untergruppen bzw. Unter-Themen im Detail beschrieben.

4.1. Die Rolle von Smart Metern in der digitalen Energieinfrastruktur

Smart Meter spielten eine prominente Rolle in den Interviews und deren Funktionen wurden häufig erörtert. Sie wurden von den Expert:innen als *die* zentrale Technologie für die Digitalisierung im Energiesektor betrachtet. Das erste Thema, das wir präsentieren wollen, fängt genau diese Bedeutung ein. Abbildung 4.2 zeigt dazu eine schematische Detailansicht.

4.1.1. Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung der Energieinfrastruktur

Für die Digitalisierung im Energiesektor ist der Smart Meter unersetzlich. Dies ging deutlich aus unseren Gesprächen hervor. Er spielt eine entscheidende Rolle bei der Modernisierung der Energieinfrastruktur, indem er eine präzise Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs ermöglicht. Durch seine Fähigkeit ermöglicht der Smart Meter eine präzisere Steuerung von Energieflüssen. Der Smart Meter ist somit nicht nur entscheidend für eine effizientere Nutzung von Strom, sondern er bildet damit auch die Basis für neue

4.1. Die Rolle von Smart Metern in der digitalen Energieinfrastruktur

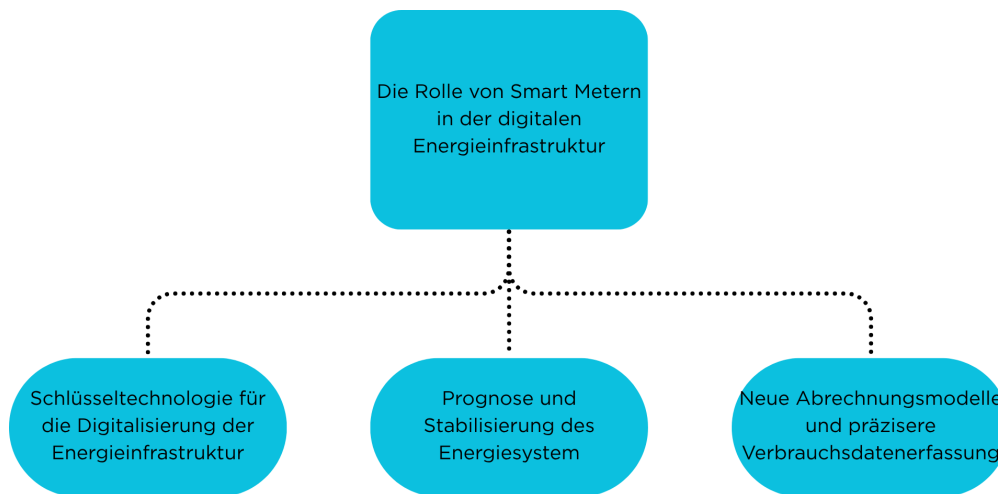


Abbildung 4.2.: Detailansicht des ersten Themenbereichs „Die Rolle von Smart Metern in der digitalen Energieinfrastruktur“

digitale Energiedienstleistungen. Die Expert:innen beschrieben den Smart Meter und seine Rolle unter anderem folgendermaßen:

„... dieser Smart Meter ist natürlich für uns eine Basisinfrastruktur [also eine notwendige Voraussetzung für digitale Energieanwendungen][...] also dass man Smartphone richtig nutzen kann, hat es erst mal die Internetinfrastruktur gebraucht [d.h. erst mit verfügbarem Internet konnten digitale Funktionen des Smartphones sinnvoll genutzt werden], damit wir dem Kunden digitale Services anbieten können. Dafür brauchen wir die Smart-Meter-Infrastruktur [als vergleichbare Grundlage im Energiesektor].“

(EX1)

„... Smart Meter werden auch in Zukunft in Richtung dynamische Tarife und so eine einfache technische Grundlage sein, dass man gewisse Stromverträge oder Energiedienstleistungen überhaupt in Anspruch nehmen kann.“

(EX2)

„Die Zukunft sieht so aus, dass man sagt: ‚OK, die Smart-Meter-Daten sind einfach die Basis für alles, was man zukünftig macht. Also für die Netzberechnungen, die Laststeuerung – ja, eigentlich für alles. Die Daten sind enorm wichtig.“

(EX3)

Diese exemplarischen Aussagen verdeutlichen die zentrale Bedeutung des Smart Meter für den gesamten Energiesektor.

4. Analyse von Experteninterviews

4.1.2. Prognose und Stabilisierung des Energiesystems

Ein zentraler Aspekt der Digitalisierung ist die Stabilisierung des Energiesystems. Eine wesentliche Funktion hat hierbei der Smart Meter, der in diesem Zusammenhang Daten zur Verfügung stellt. Ein Experte wies beispielsweise auf Folgendes hin:

„Die einzige Möglichkeit, so ein Netz zukunftsfähig zu machen, ist eigentlich, dass man Daten hat, das Netz digitalisiert und wirklich Netzzustandsdaten bekommt, wie z. B. wo aktuell wie viel Leistung gebraucht wird. Die Basis für das Ganze ist einfach der Smart Meter.“

(EX3)

Dies zeigt, wie wichtig der Smart Meter, für die zukünftige Versorgungssicherheit ist. Des Weiteren wurde erwähnt (EX2, EX4), dass durch den Smart Meter und ihre Daten die Prognosemodelle erheblich verbessert werden können, was wiederum zur Steigerung der Stabilität des Netzes beiträgt.

4.1.3. Neue Abrechnungsmodelle und präzisere Verbrauchsdatenerfassung

Abgesehen von den Vorteilen für die Netzstabilität wurde hervorgehoben, dass der Smart Meter erheblichen Einfluss auf die Abrechnungsprozesse hat. So wird durch den Smart Meter der Ableseprozess automatisiert. In der Vergangenheit wurden Zählerstände jährlich manuell abgelesen und heute erfolgt dies automatisch aus der Ferne durch den Smart Meter. Dies reduziert den Verwaltungsaufwand für die Energiedienstleister erheblich und erhöht die Transparenz für die Verbraucher:innen (EX3, EX5).

Darüber hinaus können durch den Smart Meter granulare Verbrauchsdaten gesammelt und neue Abrechnungsmethoden durchgeführt werden. Dabei kann der Verbraucher zwischen drei verschiedenen Varianten wählen. Beim Standardmodul werden die Werte täglich erfasst. Bei der „Opt-in“ Variante werden Viertelstunden-Werte erfasst. Bei der „Opt-out“ Variante schließlich wird der Zählerstand nur einmal im Jahr erfasst. Diese erhobenen Daten bilden die Basis für die Abrechnung.

Zusammenfassend lässt sich aus den Interviews herauslesen, dass der Smart Meter eine zentrale Rolle in der Digitalisierung der Energieinfrastruktur einnimmt, zur Netzstabilität beiträgt und Prozesse verändert. Gleichzeitig bringt die Einführung des Smart Meters aber auch einige Herausforderungen mit sich. Diese Punkte stehen im Mittelpunkt des zweiten Themas, welches folgend detailliert beschrieben wird.

4.2. Herausforderungen bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern

Die Einführung von Smart Metern und deren Nutzen werden laut unserer Expert:innen durch mehrere Hürden gebremst. Zu den größten Herausforderungen zählen die regulatorischen sowie technischen Rahmenbedingungen.

4.2. Herausforderungen bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern

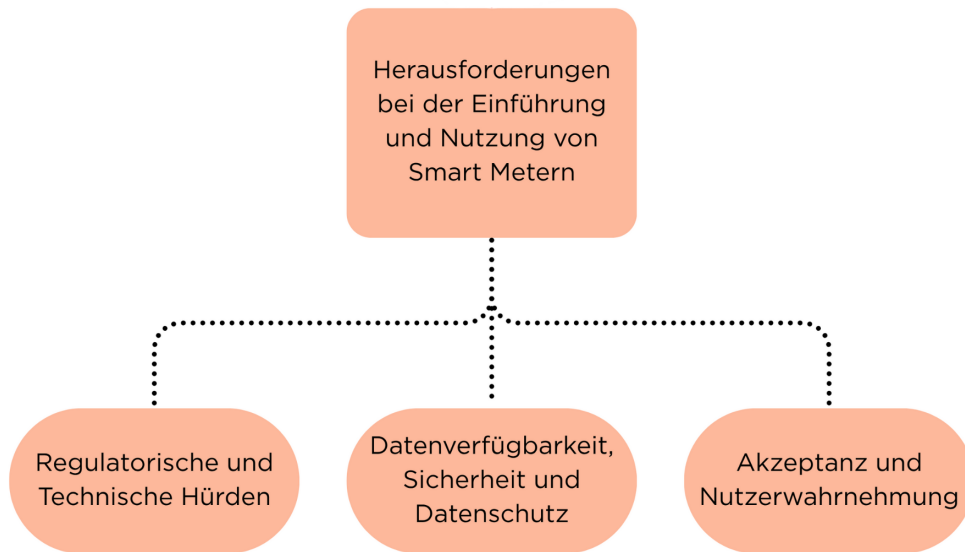


Abbildung 4.3.: Detailansicht des zweiten Themenbereichs Die „Herausforderungen bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern“

4.2.1. Regulatorische und Technische Hürden

Smart Meter sind essenziell für die Modernisierung des Energiesektors, jedoch zeigt die Analyse der Interviews, dass die Implementierung und das Ausschöpfen des vollen Potenzials durch regulatorische und technische Hürden erschwert wird. Um das volle Potenzial des Smart Meter ausschöpfen zu können, braucht es geeignete gesetzliche Rahmenbedingung, so die Teilnehmenden der Interviews. Zurzeit würde die Verwendung von Smart Meter durch das Gesetz gehemmt sein.

Die Experten äußerten sich zu diesem Thema wie folgt:

„Die Zähler können auch andere Werte liefern. Sagen wir mal so: Ein moderner Smart Meter ist ja kein herkömmlicher Zähler mehr, sondern eher ein kleiner Computer, der unter anderem zählen kann. Wir können auch Stromspannungswerte von diesem Gerät holen. Das ist vor allem für Netzberechnungen und die Netzlast sehr wichtig. Derzeit gibt es jedoch keinen gesetzlichen Rahmen, der das erlaubt.“

(EX3)

„... Die gesetzlichen Vorgaben, die heute gelten, schränken die Nutzung und Verarbeitung der Daten ziemlich stark ein.“

(EX4)

Hieraus lässt sich ableiten, um das volle Potenzial des Smart Meters auszuschöpfen zu

4. Analyse von Experteninterviews

können, muss das Unterfangen rechtlich geprüft und geeignete gesetzliche Rahmenbedingungen für die Energiedienstleister bereitgestellt werden. Zusätzlich dazu müssen sich die Energiedienstleister technischen Hürden stellen. Unter anderem müssen die umfangreichen Datenmengen verwaltet werden. So stoßen sie immer wieder an Kapazitätsgrenzen der Server. Außerdem werden Smart Meter oft mit Echtzeitdaten in Verbindung gestellt, was so nicht richtig ist. Die Daten werden für die Verbraucher:innen stets nur vom Vortag zur Verfügung gestellt. Um Daten tatsächlich *on-demand* abrufen zu können, muss über eine HAN-Schnittstelle zugegriffen werden, was wiederum den Onboarding-Prozess erschwert. Im folgenden Unterthema wollen wir etwaige Herausforderungen und Schwierigkeiten, die bezüglich Daten geäußert worden sind, im Detail vertiefen.

4.2.2. Datenverfügbarkeit, Sicherheit und Datenschutz

Dieses Unterthema befasst sich mit dem Problem der Datenverfügbarkeit und des Weiteren mit der Sicherheit und dem Datenschutz. Generell erwähnten die Expert:innen immer wieder Probleme mit Datenverfügbarkeit und der sogenannten Ersatzwertbildung. Ersatzwertbildung bezeichnet den Prozess, bei dem fehlende Messwerte durch errechnete Ersatzwerte ersetzt werden. Zum Beispiel werden bei unvollständigen Zählerdaten die berechneten Ersatzwerte für die weiteren Prozesse wie die Abrechnung verwendet. In diesem Zusammenhang erwähnten sie (EX1, EX3, EX4), dass es immer wieder unvollständige Datensätze gibt, welche wiederum beachtet werden müssen, zum Beispiel bei der visuellen Darstellung. Einer der Experten beschrieb das Problem der unvollständigen Datensätze folgendermaßen:

„... Schwierigkeiten haben wir hauptsächlich mit der Qualität der historischen Daten. Diese sind in den Systemen oft fehlerhaft oder lückenhaft. Das führt natürlich in allen nachfolgenden Prozessen zu Problemen, weil dann Ersatzwerte gebildet werden müssen. Ein Hauptproblem ist es daher, die gesamte Datenkette – vom Zähler bis ins Abrechnungssystem.“

(EX4)

Daraus lässt sich ableiten, dass unvollständige Daten für die Energiedienstleister eine große Herausforderung darstellen, da dies zu Komplikationen in den weiteren Prozessen führt.

Eine weitere Hürde ist die Datensicherheit und der Datenschutz. Aus den Interviews wurde ersichtlich, dass die hohen Anforderungen an die Sicherheit die Energiedienstleister vor einige Probleme stellte. Die Anforderungen, die sie an die Sicherheit bezüglich des Smart Meters stellten, gab es in dieser Form nicht, daher mussten sie dies selbst entwickeln. Diesbezüglich äußerte sich ein Experte folgendermaßen:

„Das Problem, das wir haben, sind die sehr hohen Anforderungen, besonders bei der Security. In der Form, wie wir das wollten, gab es das gar nicht. Das musste wirklich neu entwickelt werden – mit Verschlüsselung und allem. Wir haben gesagt: "Das ist das Um und Auf." Wenn da mal irgendetwas passieren

4.2. Herausforderungen bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern

sollte, wäre die Akzeptanz in der Bevölkerung sofort weg. Deshalb hat man da extrem viel Augenmerk daraufgelegt. Das Gerät wurde bei uns gebaut, entwickelt und getestet – auch hardwaretechnisch.“

(EX3)

Daraus folgt, dass zur Sicherheit und Datenschutz auch noch die Akzeptanz und Nutzerwahrnehmung herausfordernd dazukommt.

4.2.3. Akzeptanz und Nutzerwahrnehmung

Aus den Interviews lässt sich ableiten, dass der Großteil der Kund:innen nur begrenztes Interesse an Smart Metern und Viertelstunden-Werte aufweist und nur wenige wirklich an fein granulierten Daten interessiert sind. Die Expert:innen kommentierten diese Herausforderung wie folgt:

„Was noch dazukommt, ist die Akzeptanz insgesamt. Von den Smart Metern gibt es unterschiedliche Meinungen. [...] 90 % der Bevölkerung ist es völlig egal, was wir da einbauen. Die sagen: ‚Viertelstunden-Werte? Lasst mich damit in Ruhe. Ich will einmal im Jahr eine Rechnung.‘ Dann gibt es 5 %, die sagen: ‚Boah, das ist genial! Ich brauche das unbedingt. Ich schaue mir jeden Tag die Werte an und finde das total spannend.‘ Und dann haben wir noch ungefähr 3 %, die sagen: ‚Wehe, du kommst! Ich werfe dir alles hinterher, wenn du das bei mir einbaust. ‘

(EX3)

„Aber dass die Mehrwerte und das Potenzial für den Kunden eigentlich, ja ... ja, das ist noch nicht angekommen.“

(EX1)

„Da muss man einfach ehrlicherweise sagen – ich weiß nicht – 80 % interessieren sich einfach genau gar nicht, was der Strom kostet oder wie man Strom sparen kann oder für was man vielleicht Echtzeitdaten braucht.“

(EX2)

Diese Aussagen verdeutlichen, dass die Akzeptanz in der Bevölkerung stark variiert und ein Großteil der Verbraucher:innen keinen direkten Mehrwert in der Nutzung sieht. Deshalb ist es wichtig, dass Energiedienstleister konkrete Vorteile für die Verbraucher:innen sichtbar machen, um so eine breitere Akzeptanz zu erreichen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Einführung und Nutzung von Smart Meter durch regulatorische, technische und gesellschaftliche Herausforderungen geprägt ist. Die geringe Akzeptanz fordert ein besseres Bewusstsein über die möglichen digitalen Dienstleistungen. Wie diese durch die Verbraucher wahrgenommen werden und welche Erwartungen sie haben, wird im folgenden Thema beschrieben.

4.3. Verbraucherperspektiven auf digitale Energiedienstleistungen

Die Digitalisierung des Energiesektors eröffnet für die Dienstleister die Möglichkeit, neue Dienstleistungen für ihre Verbraucher:innen anzubieten. Eine wichtige Rolle hierbei spielt, dass diese Dienstleistungen nach den Bedürfnissen der Verbraucher:innen entwickelt werden sollen.

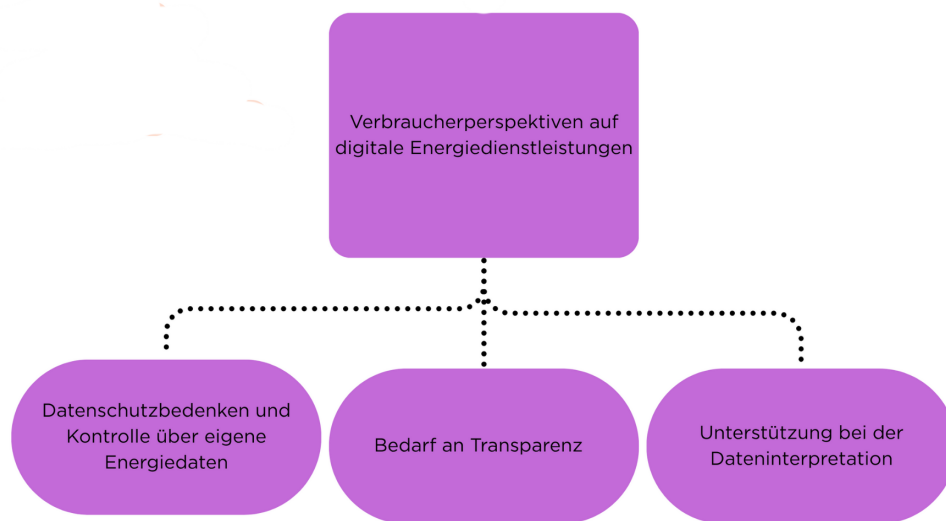


Abbildung 4.4.: Detailansicht des dritten Themenbereichs Die „Verbraucherperspektiven auf digitale Energiedienstleistungen“

4.3.1. Datenschutzbedenken und Kontrolle über eigene Energiedaten

Während nur Expert:innen interviewt wurden, so haben sich diese jedoch häufig auf die Verbraucher:innen bezogen. Daher soll die Perspektive Letzterer zumindest durch das indirekte Feedback in diesem Abschnitt Berücksichtigung finden. Ein großes Thema für die Verbraucher:innen, so unsere Expert:innen, war der Datenschutz. Diesbezüglich erwähnte ein Experte folgendes Problem:

„Eine große Angst bei den Kunden war natürlich das Thema Überwachung. Wofür braucht jetzt ein Netzbetreiber oder Stromversorger so detailliert die Daten? Es war immer ein bisschen ein Zusammenspiel aus Überwachungsängsten und medialen Themen, wie zum Beispiel dem Thema Blackout, das immer wieder aufgebracht wurde.“

(EX1)

4.3. Verbraucherperspektiven auf digitale Energiedienstleistungen

Diese Aussage zeigt exemplarisch, dass bei vielen Verbraucher:innen Sorgen hinsichtlich einer möglichen Überwachung durch Smart Meter bestehen. Besonders beziehen sich diese Bedenken auf die hohe Auflösung der Daten, die Rückschlüsse auf individuelle Verhalten zulassen könnte.

Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend, den Verbraucher:innen zu vermitteln, dass die hohe Auflösung der Daten ihnen auch zugutekommen und direkten Nutzen bringen kann. Denn je feiner die Daten erfasst werden, umso besser können die Verbraucher:innen ihren Verbrauch nachvollziehen. Zudem haben die Verbraucher:innen, wie sich aus den Interviews ableiten lässt, die Möglichkeit, selbst über den Grad der Auflösung der Daten zu entscheiden. Wie bereits in Kapitel 4.1.3 erwähnt, gibt es drei Varianten, die viertelstündliche, tägliche oder jährliche Übermittlung der Verbrauchsdaten. Durch diese Entscheidungsfreiheit können die Verbraucher:innen selbst entscheiden, wie detailliert ihre Daten erhoben werden und behalten so die Kontrolle über ihre eigenen Energiedaten.

4.3.2. Bedarf an Transparenz

Mehrfach wurde in den Interviews erwähnt, wie wichtig die Transparenz in der Kostenabrechnung für die Verbraucher:innen ist. Dies war auch einer der Ursprungsgedanken für die Implementierung des Smart Meter. Jede Kundin und jeder Kunde sollte transparent sehen, wie viel Energie sie oder er verbraucht. Dies spiegelt sich auch in folgender Interviewaussage wider:

„Der Ursprungsgedanke war ja, dass man mit der Energie besser haushalten sollte. Das war die Idee: Jeder sollte transparent sehen, wie viel Energie er verbraucht.“

(EX3)

Der Smart Meter bietet die Möglichkeit, den Energieverbrauch transparent nachzuverfolgen, wenn dies von den Verbraucher:innen gewünscht ist. Durch die Bereitstellung der Verbrauchsdaten haben die Verbraucher:innen die Möglichkeit, ihren Energieverbrauch zu analysieren. Es gibt jedoch noch Probleme bei der Interpretation dieser Verbrauchsdaten. Hier spielt wieder der Energiedienstleister eine entscheidende Rolle, indem er die Verbraucher:in bei der Interpretation der Daten unterstützt.

4.3.3. Unterstützung bei der Dateninterpretation

Die Verbraucher:innen wollen Transparenz über ihre Daten, aber auch Unterstützung bei deren Interpretation. Smart Meter liefern eine Vielzahl an Energiedaten, die es ermöglichen, den Verbrauch detailliert zu analysieren. Die Analyse der Interviews zeigte jedoch, dass die Kundin:innen oftmals Schwierigkeiten bei der Interpretation der Daten haben. Dabei wurde erwähnt, dass Verbraucher:innen eine kontextbezogene Einordnung der Daten benötigen, damit diese für sie verständlich sind. Dies wurde in einem Interview wie folgt formuliert:

4. Analyse von Experteninterviews

„[...] der Kunde möchte [diese Daten] natürlich nicht selbst interpretieren. Was bedeutet [der Verbrauch]? Wie gut ist mein Verbrauch – [und] im Verhältnis zu anderen? Das kann er gar nicht interpretieren. Da braucht er einen Service, der sagt: ‚Im Durchschnitt liegt dein Grundverbrauch – also [z.B.] um 2 Uhr nachts – bei dem, was [Geräte im Standby] verbrauchen. Ist dieser Verbrauch in Ordnung? Der Kunde will [...] eine Lösung. Deshalb ist es für uns wichtig, solche digitale Services, dem Kunden anbietet.“

(EX1)

Diese Aussage belegt, dass Verbraucher:innen digitale Lösungen benötigen, die einen Mehrwert für sie erzeugen und bei der Interpretation der Daten unterstützen. Es reicht nicht nur die bloße Anzeige der aktuellen oder historischen Verbrauchsdaten, sie benötigen Vergleichswerte, damit sie ihre Daten besser interpretieren können, so unsere Gesprächspartner.

Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass sich während der Analyse herausstellte, dass die Verbraucher:innen einige Bedenken bezüglich der Digitalisierung des Stromverbrauchswertes haben. Darüber hinaus stellen sie auch einige Ansprüche und Erwartungen an die digitalen Dienstleistungen der Energiedienstleister, eine Tatsache, welche die Energiedienstleister auch bei der Entwicklung neuer Dienstleistungen vor Herausforderungen stellt. Welche neuen digitalen Services durch die fortschreitende Digitalisierung im Energiesektor angeboten werden können, wird das Thema im nachstehenden Abschnitt aufzeigen.

4.4. Ökonomische Potenziale durch Smart Meter & digitale Plattformen

Es wurden bereits die Rolle des Smart Meters beschrieben, inklusive der Herausforderung, welche die Einführung und Nutzung des Smart Meter mit sich bringt, sowie wie die Perspektiven der Verbraucher:innen auf digitale Dienstleistungen. In diesem Thema wird beschrieben, welche neuen digitalen Services durch Smart Meter bereitgestellt werden könnten und welchen positiven Effekt die Implementation des Smart Meter laut unseren Interview-Teilnehmer:innen hat.

4.4.1. Transparenz und Visualisierung von Energiedaten

Wie bereits in Abschnitt 4.3.2 herausgearbeitet, ist Transparenz über den Energieverbrauch essenziell. Genau hier setzt der Smart Meter an. Er ermöglicht es, dieses Bedürfnis durch die Bereitstellung von granularen Daten über den Verbrauch zu erfüllen. Gleichzeitig entsteht der wirtschaftliche Vorteil für den Energiedienstleister, dass die Kund:innen diese Dienstleistung schätzen und sich fester an das Unternehmen binden. Ein Experte kommentierte diese Entwicklung folgend:

4.4. Ökonomische Potenziale durch Smart Meter & digitale Plattformen

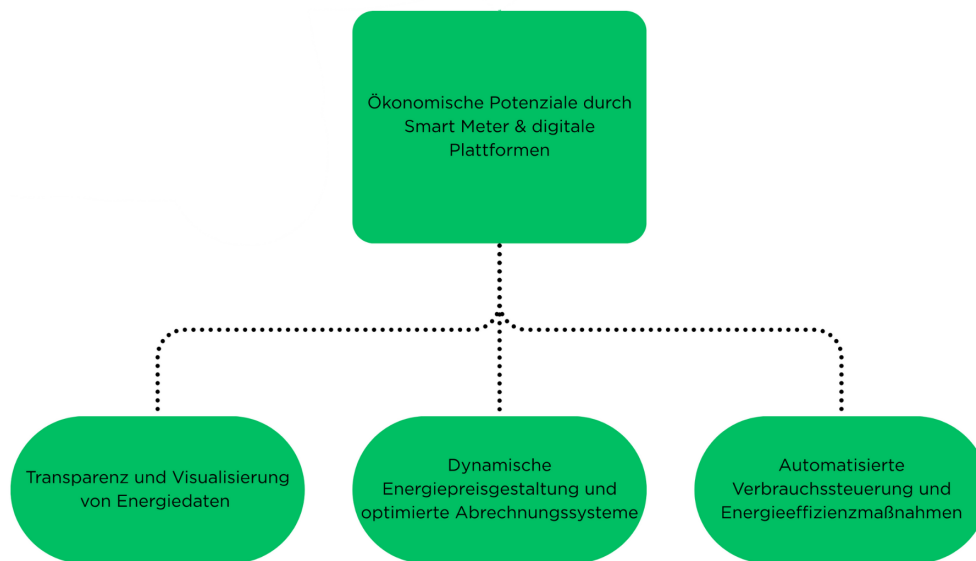


Abbildung 4.5.: Detailansicht des dritten Themenbereichs Die „Ökonomische Potenziale durch Smart Meter & digitale Plattformen“

„[...] und ich sehe nach wie vor das Thema, dass die Daten transparenter werden. Der Stromverbrauch wird transparenter und übersichtlicher.“

(EX5)

Diesen Daten, die durch den Smart Meter zur Verfügung gestellt werden, können dann vom Energiedienstleister bereitgestellt und visualisiert werden. Des Weiteren ermöglicht die Digitalisierung den Verbraucher:innen einen leichteren Zugang zu den Daten. Beispielsweise durch das Energieportal, über das viele Verbraucher:innen ihre Daten einsehen können. Wie ein Experte im Interview betont:

„Wir haben ja das Energieportal, da sind ungefähr hundertzehntausend Kunden in dem Portal und da stellen wir die Energieverbräuche da.“

(EX1)

Dies führt dann dazu, dass die Verbraucher:innen ihren eigenen Energieverbrauch (potenziell) besser nachvollziehen können. Des Weiteren kann es zu einem bewussteren Verbrauchsverhalten beitragen, was wiederum langfristig zur Optimierung des Verbrauches beiträgt. Der Smart Meter ermöglicht nicht nur eine bessere Transparenz über den Verbrauch zu erhalten, sondern er öffnet auch den Weg, um neue Dienstleistungen anzubieten und vorhandene Prozesse zu verbessern.

4. Analyse von Experteninterviews

4.4.2. Dynamische Energiepreisgestaltung und optimierte Abrechnungssysteme

Ein weiteres Potenzial liegt in der Möglichkeit, dynamische Tarifmodelle anzubieten, die den österreichischen Energiesektor mutmaßlich nachhaltig verändern werden. Durch die gesetzliche Vorgabe müssen Energiedienstleister zukünftig Produkte anbieten, deren Preis sich stündlich an den Börsenpreisen orientieren. Ein Experte erwähnt dies wie folgt:

„Der Gesetzgeber schreibt jetzt ein dynamisches Stromprodukt vor. Das muss nächstes Jahr eingeführt werden. Der aktuelle Stand ist, dass der Gesetzgeber vorschreibt, dass ein Stromlieferant ein Produkt anbietet, das sich stündlich am Preis an der Börse orientiert.“

(EX5)

Durch diese Entwicklung werden die Energiedienstleister aufgefordert, neue Abrechnungsmethoden und Tarifmodelle zu entwickeln. Für die Verbraucher:innen werden so Möglichkeiten geschaffen, ihren Stromverbrauch an die Marktpreise anzupassen. Ein Experte äußerte sich diesbezüglich folgendermaßen:

„Das heißt, wir müssen so ein Produkt anbieten, und das kann dem Kunden in Zeiten von sinkenden Strompreisen oder guten Marktsituationen etwas bringen. Aber es sind natürlich komplexere Produkte.“

(EX5)

Smart Meter ermöglichen es, Abrechnungssysteme und die Tarifmodelle im Energiesektor zu verbessern, sie eröffnen aber noch weitere Möglichkeiten, die folgend beschrieben werden.

4.4.3. Automatisierte Verbrauchssteuerung und Energieeffizienzmaßnahmen

Neben der Transparenz und Verbesserung der Tarifmodelle, sind die Smart-Meter-Daten wichtige Bausteine für mögliche zukünftige automatisierte Verbrauchssteuerungen. Diese erwähnten die Expert:innen wie folgt:

„Die Steuerung von Energiesystemen ist schon ein Punkt. Also, ich habe eine PV-Anlage, ich habe eine Wärmepumpe, ich habe einen Batteriespeicher – da können Smart-Meter-Daten ein Baustein sein, der notwendig ist, damit man das sauber steuern kann.“

(EX1)

„Die andere Möglichkeit ist, ich automatisiere gewisse Dinge und steuere Dinge und sage dann einfach über ein Lastmanagement: Wenn so und so viel Strom noch da ist, dann wird automatisiert mein E-Auto geladen, wenn ich zu Hause bin, oder dann schaltet automatisiert XY ein.“

(EX2)

4.5. Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern

Ein weiteres Thema, das angesprochen wurde, ist die Optimierung des Eigenverbrauchs. Dabei wurde auch die Energiegemeinschaften genannt. In diesem Zusammenhang wurde erwähnt, dass es vorkommen kann, dass zu bestimmten Tagzeiten ein Überangebot an erzeugten Strom besteht.

„Wenn ich wieder dieses Beispiel nehme: Die Energiegemeinschaft sieht genau: Okay, um 12:00 Uhr mittags verbrauchen wir nur 10 % von dieser Energie, die eigentlich produziert wird. Und eigentlich wäre es vielleicht gar nicht schlecht, wenn wir Verbraucher mit dabei hätten, die eben mittags mehr verbrauchen.“

(EX2)

Darauf lässt sich ableiten, dass der Smart Meter nicht nur für die granularer Visualisierung von Energieflüssen dient, sondern auch zur Steuerung von Lasten eingesetzt werden kann. Die Verbraucher:innen könnten durch gezielte Informationen über die Verfügbarkeit des Stroms ihr Verbraucherverhalten anpassen, was entscheidend zur effizienteren Nutzung der Energie beitragen kann. Langfristig könnten automatisierte Systeme auch dazu beitragen, Stromnetze zu entlasten und Energie effizienter zu nutzen. Jedoch benötigt es dafür weiterhin technologische Entwicklung und regulatorische Rahmenbedingungen. Ein zentrales Thema, das in den Interviews immer wieder angesprochen wurde, sind Energiegemeinschaften. Dieser Inhalt emergierte als eigenständiges Thema, welches im Folgenden vorgestellt wird.

4.5. Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern

Während der Interviews kamen immer wieder Energiegemeinschaften und deren Rolle bei der Entwicklung dezentraler Energieerzeugung zur Sprache. Dadurch, so unsere Teilnehmer:innen, kann künftig ein nachhaltiges Energiesystem etabliert werden. Energiegemeinschaften ermöglichen es, Verbraucher:innen gemeinsam Strom zu produzieren und zu nutzen. Für die Umsetzung und Nutzung von Energiegemeinschaften sei jedoch ein technischer Bestandteil unersetzlich, der Smart Meter. Ohne Smart Meter ist eine Energiegemeinschaft nicht möglich. Des Weiteren spielen auch bei diesen privaten Zusammenschlüssen Energiedienstleister eine große Rolle.

4.5.1. Funktionsweise und Organisation

Die Funktionsweise und Organisation einer Energiegemeinschaft baut auf die Nutzung des Smart Meter auf. Das Grundprinzip von Energiegemeinschaften ist das Energy Sharing, bei dem lokal erzeugter Strom direkt zwischen Erzeugern und Verbrauchern gehandelt wird. Das grundlegende Prinzip ist vergleichbar mit dem klassischen Energieversorgungsmodell. Ein Erzeuger:in und Verbraucher:in kommen zusammen. Der Erzeuger:in bringt sein erzeugter Strom ein und der Verbraucher:in verbraucht diesen Strom direkt. In diesem Zusammenhang will die Erzeugerin oder der Erzeuger ein gewisse Obolus sehen und die

4. Analyse von Experteninterviews

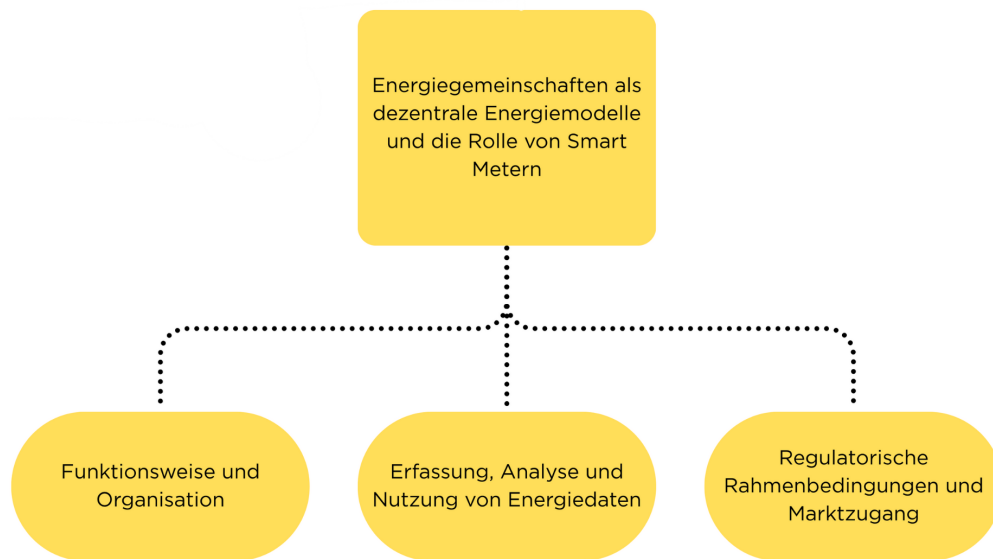


Abbildung 4.6.: Detailansicht des dritten Themenbereichs Die „Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern“

Verbraucherin oder der Verbraucher muss eine Rechnung zahlen. Während der Analyse der Interviews stellte sich heraus, dass es drei verschiedene Formen von Energiegemeinschaften gibt: Die Erneuerbare-Energiegemeinschaften, Bürgerenergiegemeinschaften und gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen.

Diese Modelle ermöglichen es Gemeinden, privaten Haushalten und KMUs, gemeinsam erzeugte Energie zu nutzen. Ein zentraler Bestandteil dieser Energiegemeinschaften sind die Energiedaten, die durch Smart Meter erfasst und verarbeitet werden. Eine Expertin betont die Wichtigkeit dieser Energiedaten wie folgt:

„Grundsätzlich sind einfach diese Energiedaten, diese Viertelstundenwerte, die der Smart Meter misst, das Nonplusultra für diese Energiegemeinschaften.“

(EX2)

Smart Meter ermöglichen es, den Stromfluss präzise zu erfassen und eine exakte Abrechnung zwischen Erzeuger und Verbraucher zu gewährleisten. Des Weiteren können die Smart Meter auch die erforderliche Viertelstundenwerte bereitstellen.

4.5.2. Erfassung, Analyse und Nutzung von Energiedaten ist ein zentraler Bestandteil der Funktionsweise von Energiegemeinschaften

Ohne die Messung in Viertelstundenintervallen der erzeugten, aber auch verbrauchten Energie wäre keine Abrechnung innerhalb der Gemeinschaft möglich. Energiedienstleister

4.5. Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern

sind für Energiegemeinschaften unerlässlich, da sie die technische Infrastruktur ermöglichen sowie zur Optimierung der Energiegemeinschaften beitragen können. Die erfassten Viertelstundenwerte liefern Details darüber, wann und von wo Energie in der Gemeinschaft erzeugt, beziehungsweise verbraucht wird. Für die Teilnehmer:innen ist es aber nur schwer möglich, diese Daten ohne klare Aufbereitung zu interpretieren. Hier können Energiedienstleister unterstützen, indem sie digitale Plattformen und Apps zur visuellen Darstellung anbieten. Dies ermöglicht, die Transparenz innerhalb der Gemeinschaft zu erhöhen. Was wiederum ein ausschlaggebender Punkt war für die Einführung von Smart Meter (EX3). Eine Expertin verdeutlicht dies nachfolgend:

„[...] eine Web-App. Diese App visualisiert die Energiedaten. Das ist für eine Energiegemeinschaft interessant, da sie Erzeuger und Verbraucher hat. Es stellt sich die Frage: Wird der erzeugte Strom auch wirklich direkt verbraucht? Wie kann die Energiegemeinschaft optimiert werden? Solche Daten helfen nicht nur bei der Abrechnung, sondern auch bei der Optimierung der Energiegemeinschaft. Im besten Fall wird immer der Strom, der gerade erzeugt wird, direkt vor Ort verbraucht, sodass die Nutzung der Energienetze minimiert wird. Dadurch trägt man zur Energiewende und zur Netzentlastung bei.“

(EX2)

Daraus lässt sich schließen, dass eine detaillierte und visuelle Darstellung der Energiedaten für Energiegemeinschaften einen hohen Stellenwert hat. Sie unterstützt die Teilnehmer:innen der Energiegemeinschaften nicht nur bei der transparenten Nachverfolgung der Energieflüssen, sondern auch bei der Optimierung des Verbrauches. Durch eine gezielte visuelle Darstellung können Energiegemeinschaften nachhaltig ihren Energieverbrauch maximieren. Deshalb ist die digitale Aufbereitung der Daten eine wesentliche Voraussetzung für ein zukunftsfähiges Energiesystem.

4.5.3. Regulatorische Rahmenbedingungen und Marktzugang

Allgemein unterliegen die Energiegemeinschaften einigen regulatorischen Vorgaben, welche sowohl den Marktzugang als auch den Datenfluss betreffen. Der Start jeder Energiegemeinschaft ist, dass der Anlagenbetreiber sich zuerst als Marktpartner registriert. Außerdem muss ein Vertrag mit dem Netzbetreiber abgeschlossen werden. Ist dies erfolgt, kann grundsätzlich mit der Aufnahme von Teilnehmer:innen gestartet werden. Dazu muss der Anlagenbetreiber einen Zählpunkt anmelden und der Anschlussnutzer diesen Zählpunkt im Portal freigeben. Der Energiedienstleister nimmt dabei eine Überwachungskontrolle ein. Ein Experte legte dies wie folgt dar:

„In diesem Prozess gibt es keine manuelle Tätigkeit – wir übernehmen hauptsächlich eine Überwachungsrolle, um zu prüfen, ob alle Prozesse sauber durchlaufen und ob Fehler auftreten. Im Energiedatenmanagement haben wir damit also wenig direkte Aufgaben, außer dass wir eventuell Fehlerfälle nachverfolgen

4. Analyse von Experteninterviews

und Berechnungen neu anstoßen. Aber für den Stammdatenaufbau sind wir nicht zuständig.“

(EX4)

Die Energiedienstleister überwachen also die Prozesse und beheben Fehler, falls solche auftreten. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen geben vor, in welchen Intervallen Daten verarbeitet und weitergegeben werden dürfen. Dazu äußerte sich ein Experte wie folgt:

„Ja, genau. Es sind immer Viertelstundenwerte, entsprechend den regulatorischen Vorgaben. Diese bestimmen genau, welche Daten verschickt werden dürfen und an wen sie gehen. Es gibt eine festgelegte Liste mit Kategorien für Energiegemeinschaften, die regelt, wer welche Daten erhält. Wir müssen beispielsweise für jeden Verbrauchszählpunkt fünf Zeitreihen an die Energiegemeinschaft übermitteln. Diese Profile werden in unserem SAP-System berechnet, gespeichert und dann im marktüblichen Datenformat an den Anlagenbetreiber gesendet.“

(EX4)

Diese Aussagen zeigen, dass der Energiedienstleister ein wichtiger Bestandteil erfolgreicher Energiegemeinschaften ist. Sie übernehmen eine entscheidende Rolle bei der technischen und administrativen Umsetzung der Vorgaben.

Die Analyse der Interviews hat gezeigt, dass die Themenbereiche in einem engen Zusammenhang stehen und sich gegenseitig beeinflussen. Zentraler Ausgangspunkt ist die Rolle des Smart Meters in der Digitalisierung des Energiesektors. Sie stellen eine Schlüsseltechnologie in der Entwicklung des Energiesektors dar. Denn durch die Einführung der Smart Meter können nicht nur präzisere Verbrauchserfassungen gewährleistet werden, sondern sie haben auch erheblichen Anteil für die Gestaltung eines effizienten Energiesystems. Für die Energiedienstleister sind Smart Meter oft eine technische Grundlage für neue innovative Lösungen. Allerdings wird die Nutzung des Smart Meters maßgeblich durch regulatorische und technische Herausforderung sowie den Verbraucherperspektiven bestimmt. Datenschutz und Sicherheit stellen weitere Herausforderungen für die Energiedienstleister dar. Gleichzeitig eröffnet die Digitalisierung neue Möglichkeiten, zum Beispiel für ökologische Ansätze aber auch für Energiegemeinschaften. Hierbei ist zu beachten, dass es für ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Energiesystem nicht nur technologische Innovationen benötigt, sondern auch verbraucherorientierte Lösungen. Die Ergebnisse verdeutlichen auch, dass die Verbraucher klare und verständliche Informationen über ihren Energieverbrauch benötigen. Dies zufolge müssen Energiedienstleister digitale Lösungen anbieten, die Daten nutzerfreundlich aufbereiten, damit die Verbraucher ihren Energieverbrauch effizient steuern können. Während der Analyse wurde festgestellt, dass Smart Meter essenziell für eine funktionsfähige Energiegemeinschaft sind. In diesen Gemeinschaften, wo private Haushalte, Unternehmen oder KMUs sich zusammenschließen können und ihren eigen produzierten Strom nutzen können, wäre eine gerechte Abrechnung ohne die erfassten Viertelstundenwerte des Smart Meters nicht möglich. Hierbei nehmen die

4.5. Energiegemeinschaften als dezentrale Energiemodelle und die Rolle von Smart Metern

Energiedienstleister eine unterstützende Rolle ein wie bei der Gründung der Energiegemeinschaft. Des Weiteren stellen sie digitale Lösungen für die Visualisierung der Energiedaten für Energiegemeinschaften zur Verfügung. Abschließen ist zu erwähnen, um das volle Potenzial des Smart Meters auszuschöpfen, ist es erforderlich, dass dementsprechende regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen werden. Außerdem müssen die Bedürfnisse der Verbraucher bei den Entwicklungen neuer Dienstleistungen beachtet werden. Deshalb ist ein wechselseitiges Zusammenspiel zwischen Energiedienstleister, Regulierungsinstanzen und Verbraucher essenziell für die Weiterentwicklung des Energiesektors zu einem nachhaltigen zukunftsfähigen Energiesystem.

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurden zentrale Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor dargelegt. Die fortschreitende Digitalisierung eröffnet den Energiedienstleistern einige neue Möglichkeiten, digitale Dienstleistungen zu entwickeln. Digitale Lösungen können dabei erheblichen Anteil haben, Energiedaten verständlich aufzubereiten und Informationen an die Verbraucher:innen weiterzuleiten. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Kapitel ein Prototyp vorgestellt, der aufzeigen soll, wie eine digitale Anwendung für Energiedienstleister gestaltet werden kann. Dieser Prototyp fokussiert sich dabei auf die Konzeption einer Web-App, unter der Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Expert:innen-Interviews. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Interviews bilden dabei die Grundlage für die Entwicklung des Prototyps. Im Folgenden wird detailliert auf die Anforderungen des Prototyps, die sich aus den Interviewergebnissen herausgestellt haben, eingegangen.

5.1. Ableitung des Anwendungsfalls aus den Interviewergebnissen

Im Rahmen der Analyse der Interviews konnten einige zentrale Punkte identifiziert werden, die entscheidend für die Energiedienstleister hinsichtlich der Digitalisierung im Energiesektor sind. Eine entscheidende Rolle spielt der Smart Meter, als zentraler Bestandteil bildet er die technologische Grundlage für die Digitalisierung im Energiesektor. Durch die präzise Verbrauchsdatenerfassung erschafft der Smart Meter neue Möglichkeiten für die Energiedienstleister in der Gestaltung von digitalen Lösungen.

Gleichzeitig wurde deutlich, dass das Interesse an dieser Technologie bei Verbraucher:innen bislang begrenzt ist. Verbraucher:innen sehen keinen direkten Mehrwert, deshalb ergibt sich hier ein klarer Handlungsbedarf, dessen sich der Prototyp auch widmet. An dieser Stelle beinhaltet der Prototyp ein benutzerfreundliches Informationsmodul, das die wichtigsten Funktionen, Vorteile und Möglichkeiten des Smart Meters verständlich erklärt.

Ein Aspekt, der immer wieder in den Interviews genannt wurde, war der Bedarf an Transparenz hinsichtlich des Verbrauches. Der Smart Meter ermöglicht genau dies, durch die Daten können die Energiedienstleister Verbrauchsdaten besser visualisieren. Darüber hinaus ermöglicht die Digitalisierung auch einen leichteren Zugang zu den Daten für die Verbraucher:innen. Während der Analyse wurde auch deutlich, dass Verbraucher:innen Unterstützung bei der Interpretation der Verbrauchsdaten benötigen. Einfache Texte,

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

Empfehlungen und visuelle Vergleichshilfen können hier eine erhebliche Wirkung haben. Basierend auf den Ergebnissen der Interviewanalyse wurde für den Prototypen ein Anwendungsfall ausgewählt, eine Web-Anwendung. Diese Web-Anwendung soll den Energieverbrauch visuell und verständlich darstellen. Die Anwendung beinhaltet visuelle Darstellungen in verschiedenen Diagrammen sowie Vergleichs- und Bewertungshilfen. Zusätzlich beinhaltet die Anwendung, wie bereits schon erwähnt, ein Informationsmodul, das die Funktionsweise und die Vorteile des Smart Meters einfach erklärt.

Konkret können die soeben ausgeführten Anforderungen im Detail in folgenden Abschnitten nachgelesen werden, in welchen die Ergebnisse der thematischen Analyse aufbereitet wurden:

- 4.2.3 Akzeptanz und Nutzerwahrnehmung
- 4.3.2 Bedarf an Transparenz
- 4.3.3 Unterstützung bei der Dateninterpretation
- 4.4.1 Transparenz und Visualisierung von Energiedaten

Diese Aspekte bilden die konzeptionelle Grundlage für den Prototypen. Im folgenden Abschnitt wird die Entwicklung des Prototyps detailliert beschrieben.

5.2. Konzeptentwicklung

Basierend auf den zuvor abgeleiteten Aspekten wurde ein Konzept für die Web-Anwendung entwickelt. Der Prozess erfolgte in diesem Zusammenhang iterativ und umfasste mehrere informelle kurze Feedback-Besprechungen mit einem Experten (T3) und einer Expertin (EX2) des Energiedienstleisters. Durch diese Gespräche konnten wichtige Erkenntnisse während der Konzeptentwicklung gesammelt werden. Die Gespräche trugen wesentlich dazu bei, den Prototyp praxisnah und anwendungsorientiert zu gestalten.

Zu Beginn der Konzeptentwicklung wurden insbesondere die *grundlegenden Inhalte* aus Nutzer:innen-Sicht der geplanten Anwendung festgehalten. Diese umfassten:

- die Verarbeitung von Verbrauchsdaten mit einer zeitlichen Auflösung von 15-Minuten-Intervallen,
- ein Informationsmodul zu Tarifen und Smart Metern sowie
- die Visualisierung und Interpretation der Verbrauchsdaten in Form von Diagrammen und textlichen Rückmeldungen.

Diese Anforderungen bilden die Grundlage für die Entwicklung des Prototyps und wurden den Expert:innen vorgelegt. Auf Basis der Rückmeldungen wurden dann Wireframes entwickelt, welche die visuelle Darstellung strukturell aufzeigten. Zentrale Aspekte waren die Navigation und die Darstellung der wichtigsten Komponenten. Abbildung 5.1 zeigt

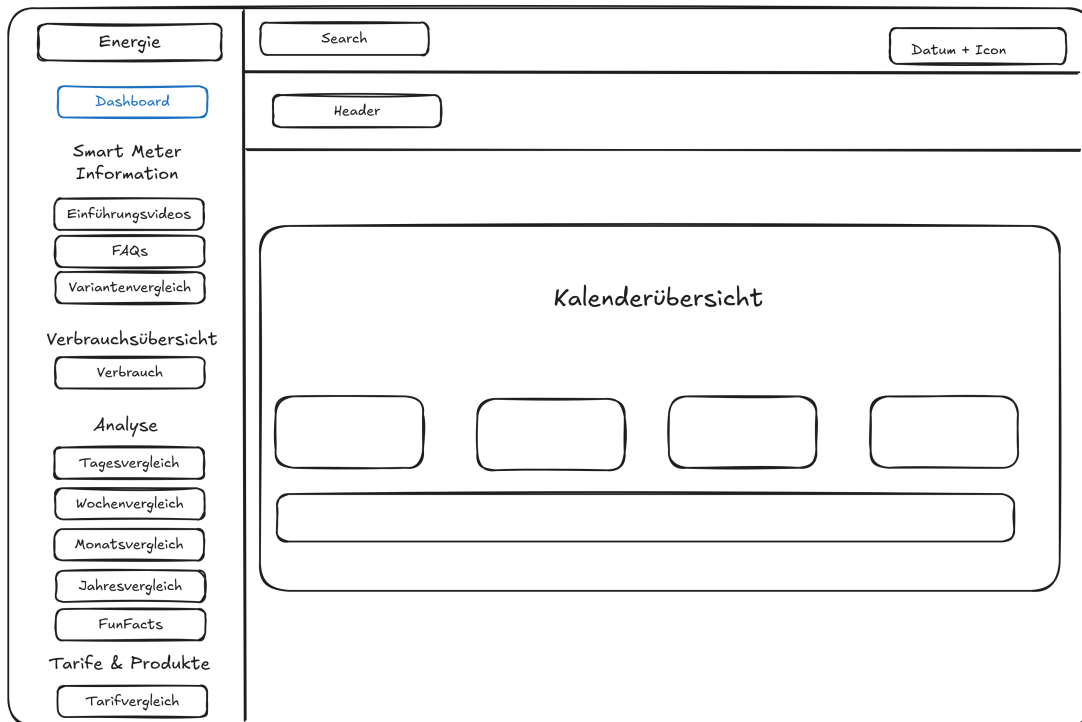


Abbildung 5.1.: Beispielhafte Wireframe-Ansicht der geplanten Anwendung

exemplarisch eines der Wireframes. Weitere unterschiedliche Ansichten befinden sich im Anhang A.7.

Finales Konzept: Am Ende umfasste der entwickelte Prototyp eine *anschauliche Visualisierung* des Energieverbrauchs (auf Basis von Smart-Meter-Daten), um diesen für die Nutzenden verständlich und greifbar zu machen. Er beinhaltete *Analyse- und Vergleichsfunktionen* zur Interpretation der Verbrauchsdaten, alltagsnahe *'FunFacts'* zur Veranschaulichung des Energieverbrauchs sowie einen integrierten *Tarifvergleich* zur Gegenüberstellung unterschiedlicher Stromtarife. Ergänzend wurde ein *Informationsmodul* erstellt, um zur Aufklärung und Akzeptanzförderung von Smart-Meter-Technologien beizutragen. Das Dashboard des finalen Prototyps wird in Abbildung 5.2 gezeigt.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Details zur Implementierung genauer beschrieben.

5.3. Implementierung

Die Umsetzung des Prototyps erfolgte als clientseitige Web-Anwendung. Dabei wurde der Technologie-Stack, der im Kapitel 2.4 beschrieben wurde, eingesetzt. Ziel war es, eine

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

intuitive Benutzeroberfläche bereitzustellen, welche Informationen zu Tarifen und Smart Meter bereitstellt sowie die Visualisierung und Analyse der Verbrauchsdaten ermöglicht. Die folgenden Abschnitte erläutern die visuelle Darstellung sowie die technische Umsetzung des Prototyps.

5.3.1. Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche wurde mit einer modernen UI-Komponentenbibliothek gestaltet. Der Prozess der Implementierung orientiert sich dabei am zuvor entworfenen Wireframe (siehe A.7). Die Umsetzung der Web-App erfolgte dabei nach einem iterativen Ansatz. Einzelne Module wurden nacheinander entwickelt, getestet und gegebenenfalls verbessert. Allgemein wurde für die Benutzeroberfläche der Anwendung ein konsistentes Designkonzept umgesetzt, um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen. Diesbezüglich wurde ein strukturiertes Layout entwickelt, das sich auf allen Seiten wiederfindet. Der obere Bereich jeder Seite enthält eine horizontale Leiste mit einer Suchfunktion, aktuellem Datum und aktueller Uhrzeit sowie einem Icon. Des Weiteren befindet sich auf allen Seiten ein fester Header, der eine kontextabhängige Seitenüberschrift beinhaltet.

5.3.2. Navigation

Am linken Rand befindet sich eine *Sidebar*. Sie enthält die Kernnavigationselemente für die einzelnen Module, *Dashboard*, *Smart Meter Information*, *Verbrauchsübersicht*, *Analysefunktion* und *Tarife & Produkte*. Die Module Smart Meter Information, Verbrauchsübersicht, Analysefunktion und Tarife & Produkte verfügen über spezifische Unterseiten, die unterschiedliche Funktionen und Ansichten beinhalten und über die Sidebar zugänglich sind. In diesem Zusammenhang wurde beachtet, dass die Sidebar interaktiv agiert, damit Nutzer bei Bedarf die Sidebar ein- oder ausklappen können. Bei eingeklapptem Zustand werden nur Icons angezeigt und beim Ausklappen erscheinen zusätzlich Textüberschriften, um so eine Übersichtlichkeit zu garantieren. Die folgenden Darstellungen zeigen auch, wie sich die Benutzeroberfläche dynamisch anpasst, wodurch eine nutzerfreundliche Navigation ermöglicht wird.

Die Abbildung 5.2 veranschaulicht die Sidebar im ausgeklappten Zustand und in der Abbildung 5.3 ist die Sidebar im eingeklappten Zustand dargestellt. Der zugehörige Code der Umsetzung der Sidebar ist im Anhang A.8.1 dokumentiert.

Für die Navigation wurde *react-router-dom* verwendet, dies ermöglicht den Nutzer:innen, zwischen den Modulen Dashboard, Smart Meter Informationen, Verbrauchsübersicht und Analyse zu navigieren, ohne dass die Seite neu geladen werden muss.

5.3.3. Komponentenbasierte Umsetzung und Datenverarbeitung

Die technische Umsetzung basiert auf einem komponentenbasierten Ansatz. Die Anwendung ist so strukturiert, dass einzelne Elemente als eigenständige Komponenten entwickelt wurden. Dadurch lassen sich die einzelnen Komponenten in den jeweiligen Seiten beliebig zusammensetzen und ermöglichen so einen flexiblen Gestaltungsspielraum. Zu den

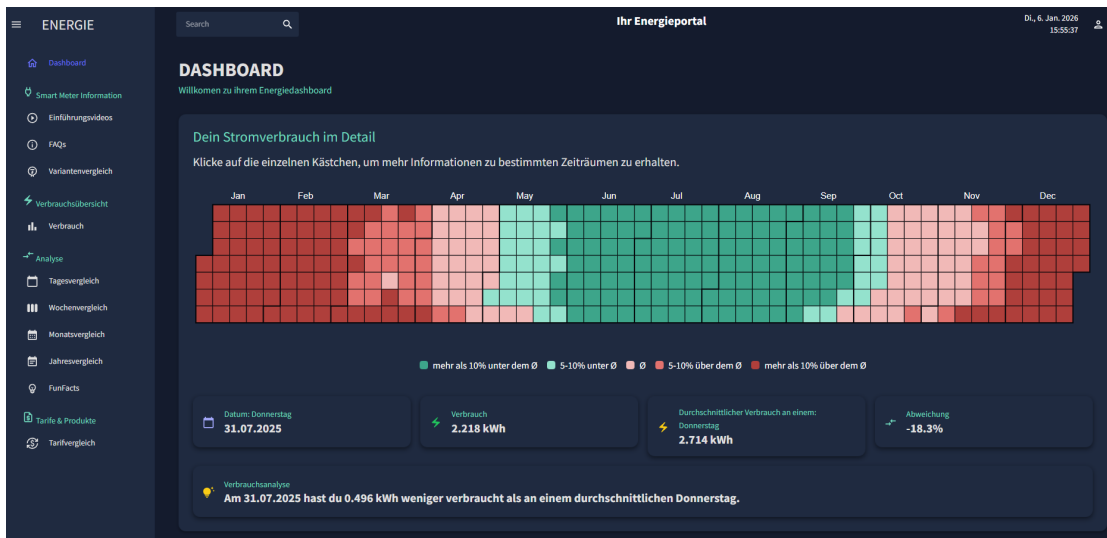


Abbildung 5.2.: Darstellung des Dashboards (Sidebar ausgeklappt)

Komponenten zählen *Informationskarte*, *Tarifikarte*, *FlipCard*, *Diagramme* (Balken- und Liniendiagramm), *Kalenderansicht*, *Akkordeon-Block*, *Header* und einem *Selector* (Filterkomponente). Diese Komponenten übernehmen verschiedene Funktionen, von der Anzeige von Kennzahlen über die Visualisierung von Verbrauchsdaten bis hin zu Filterfunktionen. Ihre konkrete Verwendung wird diesbezüglich in den jeweiligen Seitenmodulen erläutert.

Ein weiterer zentraler Punkt des Prototypen ist die Verarbeitung der Verbrauchsdaten. Sie bilden die Grundlage für die Visualisierung sowie für die Analyse. Es ist zu erwähnen, dass es sich im Rahmen dieser Arbeit um Pseudodaten handelt. Die Daten lagen im *JSON-Format* vor und wurden in diesem Zusammenhang clientseitig verarbeitet. Folgend ein beispielhafter Ausschnitt der Daten:

```

1 [
2   {
3     "Zeit": "2024-12-31T23:15:00",
4     "verbrauch": "0,02721"
5   },
6   {
7     "Zeit": "2024-12-31T23:30:00",
8     "verbrauch": "0,02522"
9   }
10 ]

```

Diese Rohdaten mussten zuerst für die weitere Verarbeitung in ein geeignetes Format transformiert werden. Mit Hilfe einer Funktion wurden die Rohdaten in das geeignete Format umgewandelt. Der folgende Code-Ausschnitt stellt diese Funktion dar.

```

1 export const parseVerbrauchData = (data) =>
2   data.map((d) => ({

```

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

```
3   zeit: new Date(d.Zeit),  
4   datum: d.Zeit.split("T")[0],  
5   uhrzeit: d.Zeit.split("T")[1].slice(0, 5),  
6   verbrauch: parseFloat(d.verbrauch.replace(",", ".")),  
7   });
```

Diesbezüglich wurde die Zeitangabe der Rohdaten in ein Datums-Objekt umgewandelt, das Datum und Uhrzeit extrahiert sowie die Verbrauchsdaten in Fließkommazahlen umgewandelt. Dieser Prozess ermöglicht eine Weiterverarbeitung der Daten, unter anderem in Diagrammen.

Die Funktion wird beispielsweise wie folgt aufgerufen:

```
1 const parsed = parseVerbrauchData(verbrauchMockHomeData);
```

Durch diese Verarbeitung können die Datenobjekte gezielt weitergegeben werden und bilden die Grundlage für die im Anschluss beschriebenen Module.

5.3.4. Einzelseiten der Anwendung

Die Anwendung besteht aus mehreren funktionalen Einzelseiten, die komponentenbasiert realisiert wurden. Im Folgenden werden die zentralen Seiten der Anwendung und ihre technische Umsetzung detailliert beschrieben.

Dashboard

Die Startseite bildet das *Dashboard* und dient dazu, den Verbraucher:innen einen ersten Überblick über ihren Verbrauch zu verschaffen. Im Hinblick darauf wurde eine *Kalender Heatmap* implementiert, dabei wird jeder Tag farblich als Quadrat dargestellt. Diese Kalenderdarstellung hebt auffällige Zeiträume farblich hervor¹, um einen besseren Überblick über den langfristigen Verbrauch zu erhalten. Die Einfärbung der einzelnen Tage richtet sich nach der Abweichung des Tagesverbrauchs vom durchschnittlichen Verbrauch des spezifischen Wochentages. Grün stellt dabei Verbräuche dar, die unter dem durchschnittlichen Verbrauch des Wochentags liegen, und Rot diejenigen, die höher sind. Dieser Ansatz dient dazu, das Verständnis der Verbraucher:innen gegenüber ihrem Verbrauch zu erhöhen und die Interpretation der Verbrauchsdaten zu vereinfachen. Zusätzlich erhalten die Verbraucher:innen durch das Auswählen eines spezifischen Tages weitere Informationen. Diese Informationen beinhalten das Datum, den Verbrauch des ausgewählten Tages, den durchschnittlichen Verbrauch des ausgewählten Wochentages, die prozentuale Abweichung sowie eine textuelle Analyse. Folgend wird eine solche textuelle Ausgabe beispielhaft angeführt:

```
1 Am 05.07.2025 hast du 0.449 kWh weniger verbraucht als an einem  
   durchschnittlichen Samstag.
```

Diese zusätzlichen Informationen sollen bei der Interpretation des Kalenders unterstützen und vereinfachen. Das gerade beschriebene Dashboard mit der Kalenderansicht ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

¹Anmerkung: Zukünftige Iterationen des Dashboards sollte dahingehend optimiert werden, dass die Heatmap auch von Menschen mit Sehstörungen optimal gelesen werden kann.



Abbildung 5.3.: Darstellung des Dashboards (Sidebar eingeklappt)

Auch die Herausforderung der geringen Akzeptanz greift der Prototyp an. In diesem Zusammenhang wurde eine detaillierte Übersicht über die wichtigsten Informationen zum Smart Meter, deren Nutzung und Verwendung erstellt. Die folgenden Details zum Smart Meter werden durch den Prototyp den Verbraucher:innen zur Verfügung gestellt.

Smart Meter Informationen

Das Modul Smart Meter Information enthält drei Informationsseiten, die folgend aufgebaut sind. *Einführungsvideos*, *FAQs* und ein *tabellarischer Variantenvergleich* der verfügbaren Smart Meter Konfigurationen.

Im Bereich Einführungsvideos wurden zwei externe Videos eingebettet, die den Smart Meter erläutern. Die Videos legen die Grundlagen und Funktionen des Smart Meters dar. Es wird erklärt, wie der Smart Meter Verbrauchsdaten erfasst, anzeigt und überträgt. Zudem werden die unterschiedlichen Konfigurationsmöglichkeiten und deren Auswirkungen auf die Datenspeicherung beschrieben. Außerdem zeigen die Videos, welche Messwerte auf dem Display des Smart Meters abrufbar sind. Abschließend wird auf die technischen Aspekte hingewiesen. In diesem Zusammenhang wurden die Videos so integriert, dass sie direkt in der Oberfläche wiedergegeben werden können. Dies erfolgte mittels eines `<iframe>`, wie der nachfolgende Codeschnipsel zeigt:

```

1 <iframe
2   src=" https://www.youtube.com/embed/removed"
3   title="Smart Meter Erklärung"
4   frameBorder="0"
5   allow="accelerometer; autoplay; encrypted-media; gyroscope; picture-
in-picture"
6   allowFullScreen

```

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

```
7     style={{
8         position: "absolute",
9         top: 0,
10        left: 0,
11        width: "100%",
12        height: "100%",
13    }}
14 />
```

Auf diese Weise erhalten die Nutzer:innen einen einfachen Zugang zu wichtigen Informationen, ohne die Anwendung verlassen zu müssen. Diese Videos sollen die Verbraucher:innen über den Smart Meter aufklären und so ihre Akzeptanz gegenüber dem Smart Meter steigern.

Der FAQ-Bereich nutzt die *Akkordeon-Block-Komponente* mit der sich Informationsblöcke gut gruppieren und strukturiert darstellen lassen. Nutzer:innen können dadurch gezielt einzelne Themenbereiche öffnen und erhalten Antworten zu ihren Fragen. Durch den Einsatz der Akkordeon-Blöcke wird die Benutzerfreundlichkeit erhöht und Nutzer:innen können sich leichter zurechtfinden. Der folgende Codeauszug zeigt beispielhaft, wie die Akkordeon-Block-Komponente in Kombination mit *Paper-Komponente* verwendet wurde, um häufige gestellte Fragen darzustellen.

```
1 <Paper
2     elevation={3}
3     sx={{ background: colors.primary[400], padding: 3, borderRadius: 3,
4         my:2 }}
5 >
6     <AccordionBlock
7         title="Was ist ein Smart Meter?"
8         content="Der Smart Meter ist der Stromzähler der Zukunft. Er ist
9             ein digitales Messgerät, das, einmal in Ihrem Verteilerkasten montiert
10             , den Stromverbrauch digital erfasst und direkt an den Netzbetreiber,
11             also vorarlberg netz, schickt. Der neue intelligente Stromzähler
12             erfasst Ihren Verbrauchswert des ganzen Tages sowie Ihre
13             Verbrauchswerte im Viertelstundentakt. Diese werden für 60 Tage direkt
14             im Gerät gespeichert. Am Ende des Tages wird der Gesamtverbrauchswert
15             digital über das Stromkabel an vorarlberg netz geschickt. Wo dies
16             technisch nicht möglich ist wird er über ein sicheres Mobilfunknetz ü
17             bermittelt."
18     />
19 </Paper>
```

Der Variantenvergleich stellt die Konfigurationsmöglichkeiten des Smart Meters dar und stellt sie tabellarisch gegenüber. Hierzu wurde eine spezifische Tabelle implementiert, die einzelne Merkmale gegenüberstellt. Um das Verständnis der Informationen zu erhöhen, wurden Symbole in Form von Häkchen und Kreuzen eingesetzt, wie Abbildung 5.4 darstellt.

Dieses Modul dient überwiegend der Informationsbereitstellung und soll den Nutzer:innen einen Überblick über den Smart Meter verschaffen. Im Gegenzug steht in den nachfolgenden Modulen die Aufbereitung der Verbrauchsdaten im Vordergrund.

Ihre drei Optionen	SMART METER STANDARD	SMART METER PLUS (OPT-IN)	STROMZÄHLER LIGHT (OPT-OUT)
Speicherdauer im Gerät	60 Tage	60 Tage	×
Übertragung an Netzbetreiber	1x täglich / nur Tagesgesamtwert	1x täglich / Viertelstundenwerte	1x jährlich / Zählerstand
Daten im Web-Portal	✓	✓	×
Online-Services nutzbar	✓	✓	×
Einsparmaßnahmen prüfen	✓	✓	×
Flexible Tarife möglich	×	✓	×
Monatliche Abrechnung exakt nach Verbrauch	✓	✓	×
Kein Ablese-Termin nötig	✓	✓	✓
Fernaus-/einschaltung möglich	✓	✓	×
Verbrauchs-Schwankungen erkennbar	✓	✓	×

Abbildung 5.4.: Darstellung des Variantenvergleichs

Verbrauchsübersicht

Die Verbrauchsübersicht dient in erster Linie dazu, den Nutzer:innen eine Übersicht über ihren aktuellen Verbrauch zu geben. Hier erhalten die Nutzer:innen eine aggregierte Darstellung über verschiedene Zeiträume: täglich, wöchentlich, monatlich und jährlich. Die Daten werden anhand eines Balkendiagramms dargestellt. Diesbezüglich wurde die Balkendiagrammkomponente verwendet. Der entsprechende Code befindet sich im Anhang A.8.2. Zentrales Steuerelement der Verbrauchsübersicht ist der *Selector* (siehe Anhang A.8.4), über den der gewünschte Zeitraum festgelegt werden kann. Gekoppelt an diese Auswahl ist das *Datumsauswahlfeld*, dieses Feld erlaubt zusätzlich innerhalb des gewählten Zeitraumes einen spezifischen Zeitraum zu wählen. Wenn beispielsweise der Zeitraum Tag im *Selector* gewählt wird, können spezifische Tage im *Datumsauswahlfeld* selektiert werden. Bei der Auswahl des Zeitraums Woche, kann eine Auswahl der Kalenderwoche getroffen werden. Auch für die Monate und Jahre erfolgte eine dynamische Anpassung. In diesen Fällen stehen jeweils die Monate beziehungsweise Jahre zur Auswahl zur Verfügung. Die Interaktion des *Selectors* und *Datumsauswahlfeld* wird im folgenden Codeausschnitt beispielhaft dargestellt.

```

1 const [zeitraum, setZeitraum] = useState("tag");
2 const [ausgewähltesDatum, setAusgewähltesDatum] = useState(new Date());
3
4 const zeitraumOptionen = [
5   { value: "tag", label: "Tag" },
6   { value: "woche", label: "Woche" },
7   { value: "monat", label: "Monat" },
8   { value: "jahr", label: "Jahr" },
9 ];

```

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

```
10
11 // Selector
12 <Selector
13   label="Zeitraum"
14   value={zeitraum}
15   onChange={(e) => {
16     const neuerZeitraum = e.target.value;
17     setZeitraum(neuerZeitraum);
18
19     const jetzt = new Date();
20     switch (neuerZeitraum) {
21       case "tag":
22         setAusgewähltesDatum(jetzt);
23         break;
24       case "woche": {
25         const montag = new Date(jetzt);
26         montag.setDate(jetzt.getDate() - ((jetzt.getDay() + 6) % 7));
27         montag.setHours(0, 0, 0, 0);
28         setAusgewähltesDatum(montag);
29         break;
30       }
31       case "monat":
32         setAusgewähltesDatum(new Date(jetzt.getFullYear(), jetzt.getMonth(), 1));
33         break;
34       case "jahr":
35         setAusgewähltesDatum(new Date(jetzt.getFullYear(), 0, 1));
36         break;
37     }
38   }}
39   options={zeitraumOptionen}
40 />
41
42 // Datumsauswahl
43 <DatePicker
44   selected={ausgewähltesDatum}
45   onChange={(date) => setAusgewähltesDatum(date)}
46   dateFormat={
47     zeitraum === "tag"
48     ? "dd.MM.yyyy"
49     : zeitraum === "woche"
50     ? "'KW' ww"
51     : zeitraum === "monat"
52     ? "MMMM yyyy"
53     : "yyyy"
54   }
55   showWeekPicker={zeitraum === "woche"}
56   showMonthYearPicker={zeitraum === "monat"}
57   showYearPicker={zeitraum === "jahr"}
58 />
```

Initial wird der aktuelle Kalendertag, die laufende Kalenderwoche, der aktuelle Monat beziehungsweise das aktuelle Jahr als Standardwert ausgewählt. Folgend wird auf

Basis dieser beiden Eingaben im *Selector* und *Datumsauswahlfeld* die Informationskarte Komponente (siehe Anhang A.8.3) sowie die Visualisierung automatisch aktualisiert. In diesem Zusammenhang gibt die Informationskarte den aggregierten Gesamtverbrauch für den ausgewählten Zeitraum zurück und das Balkendiagramm stellt den Gesamtverbrauch in zeitlicher Auflösung dar. Die folgenden Codeauszüge veranschaulichen exemplarisch, wie die Informations- sowie Balkendiagramm-Komponenten ins Seitenlayout integriert wurden:

```

1 <Paper
2   elevation={3}
3   sx={{ background: colors.primary[400], padding: 3, borderRadius: 3 }}
4 >
5   <Box
6     sx={{
7       display: "flex",
8       justifyContent: "space-between",
9       alignItems: "center",
10      mb: 2,
11      flexWrap: "wrap",
12      gap: 4,
13    }}
14  >
15    {/* Informationskarten-Komponente */}
16    <Box
17      sx={{
18        display: "flex",
19        justifyContent: "center",
20        gap: 2,
21        mb: 3,
22        flexWrap: "wrap",
23      }}
24    >
25      {zeitraum === "tag" && (
26        <Card
27          title="Tagesverbrauch"
28          value={tagesVerbrauch.toFixed(3)}
29          icon={<CalendarTodayIcon />}
30          color={colors.blueAccent[500]}
31        />
32      )}
33      {zeitraum === "woche" && (
34        <Card
35          title="Wochenverbrauch"
36          value={wochenVerbrauch.toFixed(3)}
37          icon={<ViewWeekIcon />}
38          color={colors.blueAccent[500]}
39        />
40      )}
41      {zeitraum === "monat" && (
42        <Card
43          title="Monatsverbrauch"
44          value={monatVerbrauch.toFixed(3)}

```

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

```
45         icon={<CalendarMonthIcon />}
46         color={colors.blueAccent[500]}
47     />
48   )}
49   {zeitraum === "jahr" && (
50     <Card
51       title="Jahresverbrauch"
52       value={jahresVerbrauch.toFixed(3)}
53       icon={<EventNoteIcon />}
54       color={colors.blueAccent[500]}
55     />
56   )}
57 </Box>
58
59   {/* Balkendiagramm */}
60   <BarChart daten={daten} zeitraum={zeitraum} />
61 </Box>
62 </Paper>
```

Wie aus dem Code ersichtlich wird, werden die Komponenten innerhalb eines *Paper* Container eingebettet.

Die Verbrauchsübersicht soll eine detaillierte Übersicht über den Verbrauch des ausgewählten Zeitraums darstellen und soll eine Möglichkeit veranschaulichen, wie Energiedienstleister den Nutzer:innen Energieverbräuche transparent bereitstellen können. Die Abbildung 5.5 veranschaulicht die Verbrauchsübersicht im Prototypen.

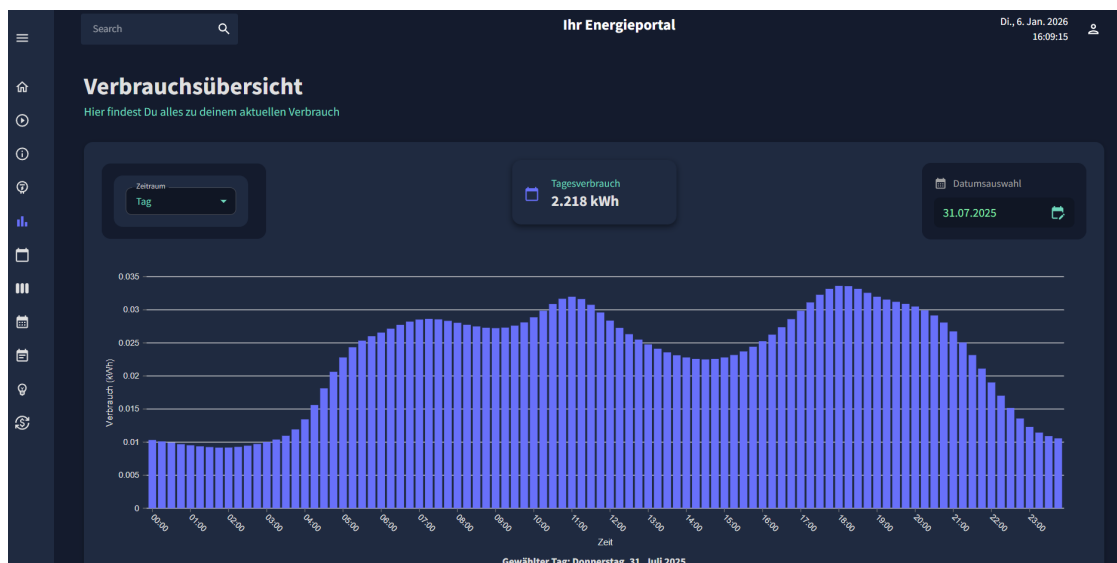


Abbildung 5.5.: Darstellung der Verbrauchsübersicht für den Zeitraum: Tag

Um die Interpretation dieses Verbrauches zu erleichtern, wurde ein Analysemodul umgesetzt. Es soll veranschaulichen, wie Energiedienstleister Nutzer:innen bei der Inter-

pretation der Verbrauchsdaten unterstützen können und stellt eine mögliche Lösung dar. Folgend wird dieses Modul detailliert beschrieben.

Analyse

Das Analysemodul des Prototyps dient der Unterstützung bei der Interpretation des Verbrauches. Diesbezüglich wurde das Analysemodul in vier einzelne Seiten gegliedert, in Tages-, Wochen-, Monats- und Jahresanalysen. Jeder dieser Analysen besitzt die gleiche Funktionalität, der Unterschied liegt nur in der zeitlichen Ebene. Im Zentrum steht dabei die Möglichkeit, zwei Zeiträume miteinander zu vergleichen, um Unterschiede sichtbar zu machen. Dies erfolgt durch numerische Werte, einem automatisch generierten Interpretationstext sowie eine grafische Darstellung.

Die Auswahl der zu vergleichenden Zeiträume erfolgt diesbezüglich wieder durch das *Datumsauswahlfeld*, das sich kontextabhängig anpasst. Im Beispiel der Tagesanalyse kann so frei gewählt werden, welche Tage miteinander verglichen werden. Der folgende Codeausschnitt zeigt exemplarisch die Implementierung des Datumsauswahlfeldes.

```

1 <DatePicker
2   selected={vergleichDatumA}
3   onChange={(date) => setVergleichDatumA(date)}
4   dateFormat="dd.MM.yyyy"
5   className="custom-datepicker-input"
6   popperPlacement="bottom-end"
7   ref={refA}
8   customInput={
9     <input
10      style={{
11        all: "unset",
12        width: "100%",
13        fontSize: "1rem",
14        color: colors.greenAccent[400],
15      }}
16    />
17  }
18 />

```

Standardmäßig werden in allen Analyseansichten der aktuelle Zeitraum sowie der jeweilige vorherige Vergleichszeitraum vorausgewählt. Das heißt, beim Tagesvergleich wird der aktuelle Kalendertag mit dem vorherigen Tag verglichen, beim Wochenvergleich die aktuelle Kalenderwoche mit der Vorwoche, beim Monatsvergleich der aktuelle Monat mit dem Vormonat und beim Jahresvergleich das laufende Jahr mit dem Vorjahr.

Sobald zwei Zeitpunkte ausgewählt sind, wird der jeweilige Gesamtverbrauch berechnet, miteinander verglichen und die Differenz sowie einen Interpretationstext dargestellt. Zusätzlich werden die Verbräuche durch die Liniendiagrammkomponente visuell gegenübergestellt. Im Anhang A.8.5 befindet sich der Code-Ausschnitt zur Liniendiagrammkomponente. Die Abbildung 5.6 zeigt exemplarisch die Umsetzung des Analysemoduls im Prototypen. Diesbezüglich wurde der Vergleich zweier Kalendertage herangezogen.

Wie in der Abbildung 5.6 ersichtlich, ergibt sich durch das Zusammenspiel von Informati-

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

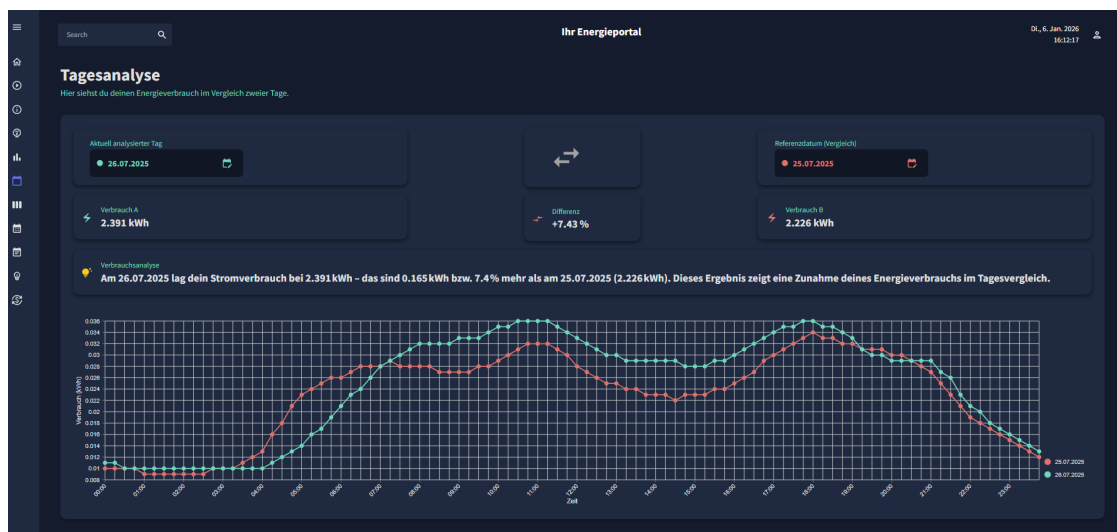


Abbildung 5.6.: Darstellung der Verbrauchsanalyse für den Zeitraum: Tag

onskarten und Liniendiagrammen eine Lösungsmöglichkeit, Verbrauchsdaten verständlich und vergleichbar aufzubereiten. Durch diese Kombination aus visuellen und textuellen Elementen bietet das Analysemodul den Nutzer:innen einen schnellen Überblick und unterstützt bei der Interpretation der Verbrauchsdaten.

Ergänzend wurde innerhalb des Analysemoduls eine *FunFact-Seite* erstellt (vgl. Abbildung 5.7). Dieses Feature wurde mit dem Ziel umgesetzt, den Stromverbrauch für die Nutzer:innen greifbarer zu machen. Diesbezüglich wurde der eigene Energieverbrauch in einen alltagsbezogenen Kontext übersetzt. Beispielsweise wurden alltagsnahe Aktivitäten wie Netflix-Streaming, Waschgänge oder auch das Backen von Tiefkühlpizzen herangezogen, um den Energieverbrauch darzustellen. In diesem Zusammenhang wurden Durchschnittsverbrauchswerte für die Aktivitäten angenommen und mit dem tatsächlichen Stromverbrauch der Nutzer:innen verglichen. Außerdem haben die Nutzer:innen wieder die Möglichkeit, durch die *Selector-Komponente* den Zeitraum des Verbrauches auszuwählen. Basierend auf dem ausgewählten Zeitraum wird dann automatisch berechnet, wie viele dieser Aktivitäten mit dem aktuellen Stromverbrauch durchgeführt werden könnten. Die Darstellung erfolgte in Form der *FlipCard-Komponente*, die auf der Vorderseite ein Icon und eine kurze Frage enthält und die sich beim Darüberfahren mit der Maus dreht. Auf der Rückseite dieser Karte befindet sich dann eine kurze Beschreibung sowie die Anzahl, wie oft eine bestimmte Aktivität mit dem bestimmten Stromverbrauch durchgeführt werden kann.

Durch diesen Vergleich mit alltagsnahen Aktivitäten soll der Prototyp exemplarisch zeigen, wie der Energieverbrauch für Nutzer:innen verständlich aufbereitet werden kann und soll die Nutzer:innen bei der Interpretation ihres Verbrauches unterstützen.

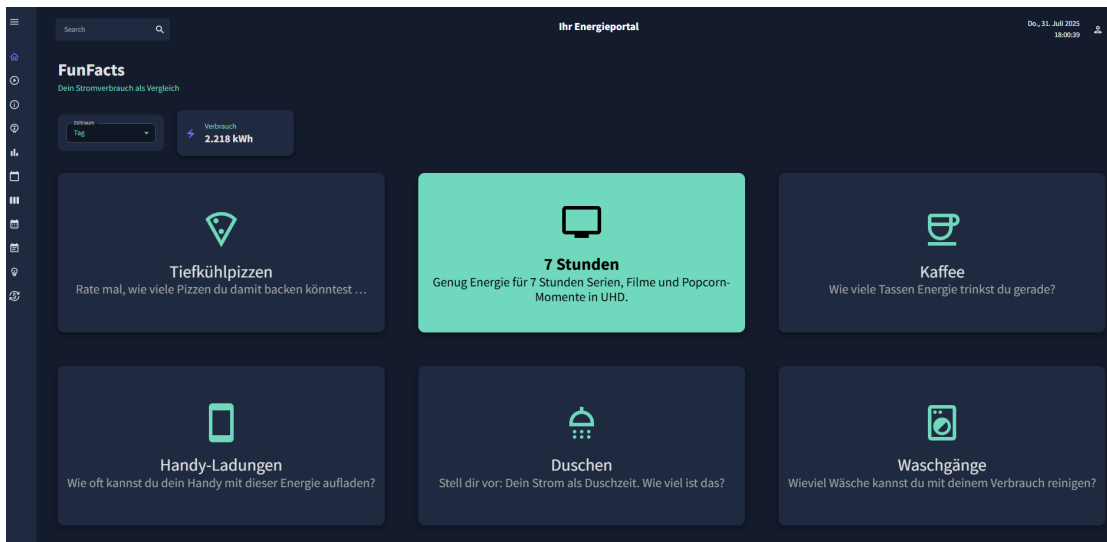


Abbildung 5.7.: Darstellung der 'FunFacts'

Tarife & Produkte

Im Bereich Tarife & Produkte bietet der Prototyp den Nutzer:innen die Möglichkeit, verschiedene Stromtarife miteinander zu vergleichen. Dies veranschaulicht exemplarisch, wie den Nutzer:innen eine transparente Übersicht über Energiekosten bereitgestellt werden kann. Die *Tarifkarten-Komponenten* kapselt dabei die Darstellung und Interaktion eines einzelnen Tarifs ab. Die Benutzeroberfläche ist in zwei nebeneinander angeordnete Tarifkarten aufgeteilt (vgl. Abbildung 5.8).

Hier können Nutzer:innen aus verschiedenen Tarifen wählen und diese miteinander vergleichen. Diesbezüglich werden Informationen wie Energiequellen, Emissionen, Verbrauchspreis und die daraus resultierenden Gesamtkosten pro Jahr dargestellt. Die Berechnung erfolgt diesbezüglich mit den aktuellen Verbrauchsdaten (Pseudodaten), diese können jedoch von Nutzer:innen überschrieben werden, um eine Simulation unterschiedlicher Verbrauchsszenarien durchzuführen. Eine farbliche Hervorhebung der Boxrahmen signalisiert, welcher Tarif günstiger ist. Durch eine Vergleichsfunktion wird diese farbliche Umrandung dynamisch bestimmt: grün der Tarif mit den geringeren Gesamtkosten und rot der Tarif mit den höheren Gesamtkosten. Die Logik wurde folgend umgesetzt.

```

1 const getBoxColor = (kostenA, kostenB) => {
2   if (kostenA == null || kostenB == null) return "default";
3   if (kostenA < kostenB) return "green";
4   if (kostenA > kostenB) return "red";
5   return "default";
6 };
7
8 const box1Color = getBoxColor(kosten1, kosten2);
9 const box2Color = getBoxColor(kosten2, kosten1);

```

5. Entwicklung eines Prototyps basierend auf den Erhebungen

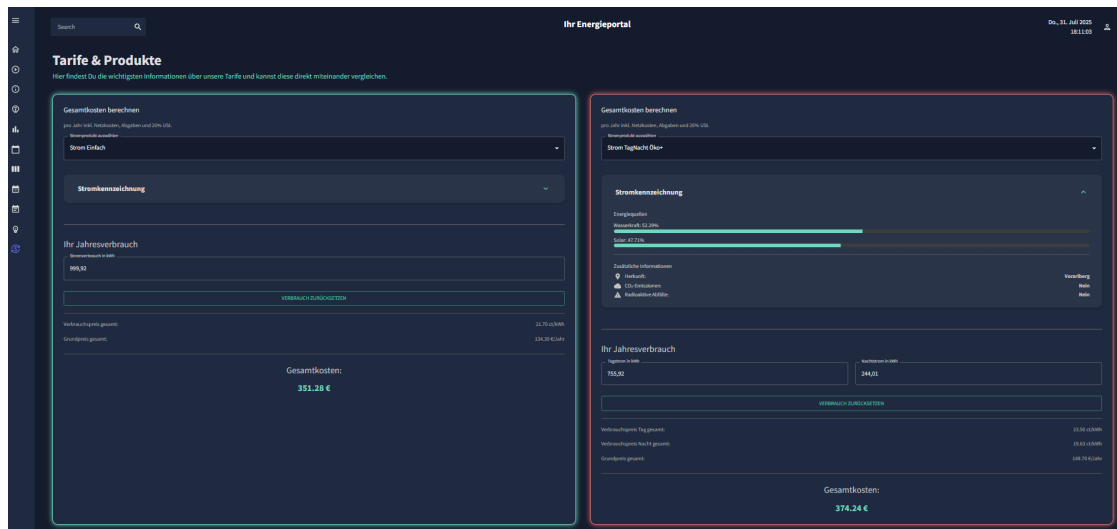


Abbildung 5.8.: Darstellung des Tarifvergleiches

Diese Visualisierung soll die Nutzer:innen bei der Interpretation unterstützen und somit den Vergleich der Stromtarife erleichtern. Ergänzend zu den Tarifkarten bietet der Prototyp eine zusammenfassende Übersicht des Vergleichs. Dies umfasst die wichtigsten Vergleichskriterien wie Kostendifferenz, Grundpreis, Strommix, Herkunft und Umweltaspekte. Diesbezüglich werden die Inhalte dynamisch nach dem ausgewählten Tarifvergleich angepasst. Die Abbildung 5.9 zeigt explizit diese visuelle Darstellung.



Abbildung 5.9.: Darstellung des Vergleichsergebnisses

Die Gestaltung der Zusammenfassung des Vergleichs orientiert sich danach, den Nutzer:innen einen schnellen Überblick zu erschaffen. Dabei wurden Icons und farbliche Hervorhebungen für eine schnelle visuelle Darstellung der zentralen Unterschiede imple-

mentiert. Ergänzend dazu wird am Ende noch ein dynamisches Fazit ausgegeben, das nochmals die wesentlichen Punkte der Tarife zusammenfasst.

Die Umsetzung des Prototyps zeigt exemplarisch, wie sich Energieverbrauchsdaten eines Smart Meters in einer webbasierten Anwendung aufbereiten lassen. Dabei stand während der Entwicklung immer die benutzerzentrierte Gestaltung im Mittelpunkt. Die Implementierung deckt zentrale Anforderungen ab, die aus der Analyse der Interviews abgeleitet wurden und demonstriert eine Lösung zur Förderung der Akzeptanz, Transparenz und Unterstützung bei der Interpretation von Verbrauchsdaten. Ziel war es, zentrale Funktionen digitaler Energiedienstleistungen umzusetzen: Anfangen von einer verständlichen Aufbereitung der wichtigsten Informationen zur Smart Meter Technologie, über die verständliche Darstellung des Energieverbrauchs, bis hin zur Analysefunktion zur Unterstützung der Interpretation des Verbrauches und der verfügbaren Tarife. Durch den komponentenbasierten Aufbau wurde ein flexibler Prototyp geschaffen, der eine einfache Erweiterbarkeit ermöglicht. Der entwickelte Prototyp zeigt demonstrativ, wie die Chancen der Digitalisierung im Energiesektor genutzt werden können. Gleichzeitig greift er auch zentrale Herausforderungen auf, die sich in den vorangegangenen Interviews herausstellten. Abschließend ist zu erwähnen, dass der Prototyp nur eine konkrete Lösungsmöglichkeit darstellt, um digitale Potenziale zu nutzen. Wie sich der Prototyp hinsichtlich Verständlichkeit, Nützlichkeit und Relevanz bewährt, wird im folgenden Kapitel anhand einer Evaluation dargestellt.

6. Evaluation des Prototyps

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ein Prototyp entwickelt, der exemplarisch veranschaulicht, wie digitale Lösungen von Energiedienstleistern gestaltet werden können. Um die Funktionalität, Nutzerfreundlichkeit, Verständlichkeit sowie Relevanz zu überprüfen, wurde eine qualitative Evaluation im Rahmen einer Usability Studie [45] durchgeführt. Das vorliegende Kapitel stellt die Rahmenbedingungen sowie die zentralen Ergebnisse dieser Evaluation dar.

6.1. Rahmenbedingungen der Evaluation

Die Grundlagen der Evaluation wurden bereits im Abschnitt 2.4.1 dargelegt. In diesem Kapitel werden nachfolgend die organisatorischen und inhaltlichen Rahmenbedingungen der Evaluation des Prototyps konkretisiert.

Vor der Durchführung der Evaluation wurden zuerst potenziellen Teilnehmer:innen kontaktiert, um zu fragen, ob ein Interesse besteht, an der Evaluation teilzunehmen. Bestand ein Interesse, wurde anschließend ein geeigneter Termin für die Evaluation vereinbart. Diesbezüglich wurde die Verfügbarkeit der Teilnehmer berücksichtigt. Je nach individuellen Umständen wurde die Evaluation entweder online über Microsoft Teams oder persönlich in einem ruhigen Testumfeld durchgeführt. Bei der Vor-Ort-Durchführung erhielt der Teilnehmer oder die Teilnehmerin einen Laptop, um einheitliche technische Bedingungen zu gewährleisten. Bei der Online-Durchführung verwendeten die Teilnehmer:innen ihre eigenen Geräte und wurden darum gebeten, für eine ruhige Umgebung zu sorgen.

Um den Evaluationsprozess zu dokumentieren, wurden zwei Aufzeichnungsmethoden eingesetzt. Jede Evaluation wurde audioaufgezeichnet und die Bildschirmaktivitäten wurden während der Durchführung der Testaufgaben aufgezeichnet. Dies ermöglicht sowohl die Erfassung von verbalen Aussagen als auch die Dokumentation der Interaktionen der Teilnehmer:innen mit dem Prototyp. Zu Beginn jeder Evaluation erhielten die Teilnehmer:innen eine Einführung, in der der Zweck der Studie sowie der allgemeine Ablauf erläutert wurde. Zusätzlich wurde von allen Teilnehmer:innen eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt. Alle Teilnehmer:innen erhielten während der Evaluation den gleichen Datensatz. Dieser diente als Grundlage für die Evaluation.

Die Evaluation wurde so gestaltet, dass die Teilnehmer:innen sich so frei wie möglich äußern konnten. Trotzdem wurde die Evaluation mit vordefinierten Aufgaben und Fragen durchgeführt, damit die wichtigsten Fragen beantwortet wurden (siehe Appendix A.3). Die erste Phase der Evaluation bestand aus vordefinierten Aufgaben, die die Teilnehmer:innen mithilfe der Think-Aloud-Methode erledigten. Dabei wurden die Teil-

6. Evaluation des Prototyps

nehmer:innen gebeten, ihre Gedanken laut auszusprechen. In der zweiten Phase wurde noch ein semi-strukturiertes Interview durchgeführt. Wobei den Teilnehmenden einige allgemeine Fragen zum Prototypen gestellt wurden, um erste Eindrücke und Verbesserungsmöglichkeiten zu sammeln. Die Dauer einer Evaluation lag zwischen 30 bis 45 Minuten. Zum Schluss wurden die Interviews noch transkribiert.

6.2. Beschreibung der Aufgaben des Usability Tests

Zu Beginn der Evaluation wurden die Teilnehmenden gebeten, *ihren aktuellen Stromverbrauch nachzuvollziehen*. Diesbezüglich erhielten die Teilnehmenden die Aufgabe, das Dashboard zu öffnen und den dargestellten Verbrauch zu betrachten. Zusätzlich wurde den Teilnehmenden die Aufgabe gestellt, ihren aktuellen Tagesverbrauch zu betrachten. Diese Aufgabenstellungen sollten prüfen, ob die Teilnehmenden die dargestellten Informationen verstehen und interpretieren können.

Um ein *Feedback zum Analysemodul* zu erhalten, wurden den Teilnehmer:innen insgesamt vier Aufgaben gestellt, wobei unterschiedliche Zeiträume miteinander verglichen und interpretiert werden mussten. Einerseits sollte diese Aufgabenstellung zeigen, ob die visuelle sowie textuelle Darstellung des Vergleichs sich als nützlich für die Interpretation erweist. Andererseits, ob die Teilnehmenden in der Lage waren, die Funktionen zu erkennen und zu bedienen.

Der Prototyp beinhaltet *FunFacts*, die den Energieverbrauch in alltägliche Vergleichswerte übersetzen. Den Teilnehmenden wurde die Aufgabe gestellt, diese FunFacts zu betrachten und zu reflektieren. Der Fokus lag dabei, herauszufinden, welche Darstellungen für die Teilnehmenden besonders relevant und interessant sind. Außerdem sollte diese Aufgabenstellung Aufschluss darüber geben, ob die Darstellung des Verbrauchswertes in alltägliche Vergleichswerte den Teilnehmenden hilft, ihr Verständnis gegenüber dem Verbrauch zu erhöhen.

Eine weitere Aufgabe, die den Teilnehmenden gestellt wurde, beinhaltete den *Vergleich von Stromtarifen*. Diesbezüglich sollten die Teilnehmenden zwei verschiedene Tarife vergleichen und beurteilen, welcher aus ihrer Sicht sinnvoller erscheint. Das Ziel dieser Aufgabe war es, zu überprüfen, ob die bereitgestellten Informationen verständlich und für eine Entscheidung nutzbar sind.

Abschließend wurde noch eine Aufgabe zum *Informationsmodul* gestellt. Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, sich einen Überblick über die wichtigsten Informationen zu verschaffen. Zu den bereitgestellten Inhalten zählten Videos zu den Grundlagen und Funktionen des Smart Meters, Konfigurationsmöglichkeiten des Smart Meters sowie ein FAQ-Bereich mit häufig gestellten Fragen. Ziel dieser Aufgabe war es, herauszufinden, ob die bereitgestellten Informationen verständlich aufbereitet wurden und ob die Nutzer:innen daraus einen Mehrwert erkennen.

6.3. Beobachtung der Teilnehmenden während der Nutzung

Durch die Beobachtung der Nutzung des Prototyps während der Evaluation wurden kleinere Auffälligkeiten hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit identifiziert. Es stellte sich heraus, dass die Teilnehmenden an verschiedenen Stellen leichte Schwierigkeiten beim Absolvieren der Aufgaben (Usability Tasks) hatten. Im Folgenden werden die wichtigsten Beobachtungen dargestellt. Im Anschluss (Abschnitt 6.4) wird die thematische Analyse der verbalen Kommentare und Äußerungen zu den begleitenden Interviewfragen präsentiert.

Darstellung des Verbrauchswertes: Ein wiederkehrendes Problem, das während der Evaluation auftrat, war die Darstellung der Zahlenwerte des Verbrauches. Der Prototyp verwendet als Dezimaltrennzeichen einen Punkt und nicht ein Komma. Dies führte dazu, dass die Verbrauchszahlen teilweise von den Teilnehmenden falsch interpretiert wurden. Einige Teilnehmende erwähnten dies auch direkt während der Durchführung der Aufgabe. Sie seien sich nicht sicher, ob der Punkt ein Dezimaltrennzeichen oder Tausendertrennzeichen sei und hätten daher Probleme bei der Interpretation.

Dashboard Navigation und Interaktivität: Mit dem Dashboard hatten die Teilnehmenden kleinere Schwierigkeiten. Zuweilen fiel es Ihnen schwer, einen bestimmten Tag zu finden. Die meisten Teilnehmer:innen hatten nicht erkannt, dass die einzelnen Kästchen anklickbar waren und sich die im unteren Bereich dargestellten Details basierend auf der Auswahl anpassten. Die farbliche Darstellung wurde von ihnen wahrgenommen, nur war die Orientierung innerhalb der einzelnen Kästchen nicht immer leicht.

Monatsvergleich: Während der Evaluation und der Analyse fiel auf, dass Teilnehmer:innen Schwierigkeiten im Monatsvergleich hatten. Diesbezüglich konnte der Unterschied beziehungsweise die Abweichung zwischen den beiden Monaten nicht immer eindeutig interpretiert werden. Die Teilnehmenden waren unsicher, ob die Abweichungen im Verbrauch auf die unterschiedliche Lage der Kalendertage zurückzuführen waren oder ob der Grund dafür in anderen Ursachen bestand. Für dieses Problem ausschlaggebend war, dass diese Information in der Visualisierung nicht klar ersichtlich war und auf der x-Achse nur die einzelnen Datumsangaben angezeigt wurden, ohne den Wochentag. Dies führte zu Unsicherheiten bei der Vergleichsinterpretation bei einigen Teilnehmer:innen.

Tarifvergleich: Im Bereich des Tarifvergleichs fiel während der Analyse auf, dass einigen Teilnehmer:innen nicht sofort klar war, dass es sich bei dem angegebenen Jahresverbrauch um ihren tatsächlichen Jahresverbrauch handelt. Dies führte dazu, dass während der Interpretation des Tarifvergleichs kleinere Unsicherheiten bei den Teilnehmer:innen auftraten. Dabei kam einige Male die Rückmeldung, dass sie sich nicht sicher seien, ob dies ihr tatsächlicher Jahresverbrauch sei und sie dies zuerst in der Verbrauchsübersicht nachsehen müssten. Dies deutet darauf hin, dass sich einige Teilnehmer:innen schwer taten, den automatisch ausgefüllten Jahresverbrauch richtig einzuordnen. Zusätzlich fiel während der Analyse auf, dass die Stromkennzeichnung von einigen Teilnehmer:innen nicht geöffnet wurde, wodurch zusätzliche Informationen zum Stromtarif unbeachtet blieben.

6.4. Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden

In diesem Abschnitt werden die drei Themen dargestellt, die sich aus der thematischen Analyse der durchgeführten Evaluationen ergeben haben. Diese Themen und die dazugehörigen Unterthemen spiegeln die Wahrnehmungen der Teilnehmenden wider und sind in der Tabelle 6.1 angeführt. Prinzipiell zeigen sie die Gründe für die Nutzung des Prototyps auf, wie der Prototyp in Bezug auf Benutzerfreundlichkeit und Design wahrgenommen wurde und wo es noch Verbesserungsmöglichkeiten gibt. Die drei Hauptthemen umfassen: Nutzungsmotive und wahrgenommener Mehrwert, Usability und Nutzererfahrung sowie Herausforderungen und Verbesserungspotenziale. Im Folgenden werden die identifizierten Themen und Unterthemen dargestellt und die zentralen Erkenntnisse aus der Evaluation zusammengefasst.

Thema	Unterthemen	Definition
Nutzungsmotive und wahrgenommener Mehrwert	- Bewusstseinsbildung für Energiedaten - Funktionaler Mehrwert und Relevanz - Nutzungsanlässe	Gründe und Anlässe, warum Nutzer:innen das Angebot (den Prototyp) verwenden würden, sowie der wahrgenommene Nutzen.
Usability und Nutzererfahrung	- Visuelles Design und allgemeiner Eindruck - Orientierung und Navigationslogik - Bedienbarkeit und Nutzerfreundlichkeit - Verständnisunterstützung und Informationsaufbereitung	Wahrnehmung der Nutzerfreundlichkeit, Verständlichkeit und Gestaltung der Interaktion mit dem Angebot.
Herausforderungen und Verbesserungspotenzial	- Strukturelle Optimierungspotenziale - Herausforderungen bei der Verständlichkeit - Anpassungs- und Erweiterungsoptionen	Wahrgenommene Unklarheiten, Optimierungsmöglichkeiten und Erweiterungsideen, die Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung des Angebots bieten.

Tabelle 6.1.: Übersicht über die zentralen Themen der Evaluation des Prototyps

6.4.1. Nutzungsmotive und wahrgenommener Mehrwert

Das erste Thema umfasst den wahrgenommenen Nutzen des Prototyps. Aus den Rückmeldungen der Teilnehmenden wurde ersichtlich, dass das System als wertvolles Instrument hinsichtlich des Verständnisses gegenüber dem Energieverbrauch wahrgenommen wurde und das Interesse am eigenen Energieverbrauch weckte. Insgesamt lassen sich aus den Aussagen drei Schwerpunkte ableiten: das geweckte Interesse und Bewusstsein, die wahrgenommene Relevanz der Funktionen sowie die Nutzungsanlässe.

Bewusstseinsbildung für Energiedaten

Laut eigenen Aussagen veranlasste die Nutzung des Prototyps die Teilnehmenden dazu, sich mehr mit ihrem Energieverbrauch auseinanderzusetzen. Diesbezüglich berichteten Teilnehmende (T4, T5, T6) von einem gesteigerten Interesse für den Energieverbrauch. Hierzu äußerte sich beispielsweise T5 wie folgt:

„Ja, ich werde mir sicher mehr Gedanken darüber machen, wie viel Strom wir tatsächlich verbrauchen.“

(T5)

Besonders die Visualisierung des Energieverbrauchs sowie die Darstellung des Energieverbrauchs in alltagsbezogenen Kontexten wurden für die Bewusstseinsbildung als hilfreich angesehen:

„Aus meiner Sicht hilft so eine Visualisierung des Verbrauchs oder von gewissen Ausgabepunkten sehr. Es ist viel anschaulicher, wenn man es vor sich in einem Diagramm sieht, anstatt nur eine Zahl in Kilowattstunden für den Jahres-oder Monatsverbrauch zu lesen.“

(T6)

„[Hilfreich sind die] Fun Facts. Weil man da sieht, wie viel Strom man tatsächlich verbraucht, auch für Dinge, die man sonst nicht so bewusst wahrnimmt“

(T5)

„Also interessant waren zum Beispiel mal die Fun Fact, da wird einem mal bildlich dargestellt, wie hoch eigentlich der Stromverbrauch ist und was man damit machen kann.“

(T4)

Auch von einer Expertin (T2) wurde betont, dass der Prototyp ein geeignetes Instrument sein könne, um das Bewusstsein für den Energieverbrauch zu fördern. Diesbezüglich wurde auch hervorgehoben, dass der Prototyp gezielt von Energiedienstleistern eingesetzt werden könnte, um energieintensiven Haushalten durch Aufbereitung der Daten und Informationen ein klareres Verständnis für ihren Stromverbrauch zu vermitteln und so das Bewusstsein zu schärfen:

6. Evaluation des Prototyps

„Grundsätzlich eben, um dieses Bewusstsein zu bilden. [...] Dass man ihnen einmal diese App zur Verfügung stellt und sie sich das anschauen können, damit sie überhaupt verstehen: Wie viel ist eine Kilowattstunde Strom wert?“

(T2)

Neben der Bewusstseinsbildung erfüllte das System noch weitere gewinnbringende Funktionen, welche als nächstes Unterthema beschrieben werden.

Funktionaler Mehrwert und Relevanz

Bezüglich eines funktionalen Mehrwerts wurde aus den Rückmeldungen klar, dass bestimmte Funktionen als besonders hilfreich wahrgenommen wurden. Zu den am häufigsten erwähnten Funktionen gehörten der Tarifvergleich sowie die Möglichkeit, die Verbrauchsdaten über verschiedene Zeiträume zu vergleichen und zu analysieren, wie die folgenden Aussagen der Teilnehmenden (T1, T2, T3, T4, T6) zeigen:

„Nützlich habe ich aber zum Beispiel den Tarifvergleich gefunden. Normalerweise muss man das immer im Internet suchen, aber dadurch, dass es hier alles kompakt ist, sehe ich gleich auf der Seite, wo ist mein Stromverbrauch, kann das direkt übernehmen und den Tarifvergleich machen.“

(T4)

„Was auf jeden Fall sehr hilfreich ist: Wenn man mit einem Smart Meter schon die Möglichkeit hat, Zeiträume miteinander zu vergleichen. [...] Am meisten bringt es aus meiner Sicht aber, wenn ich einen Jahresvergleich auf Monatsbasis mache [...]. Das fand ich für Ursachenforschung sehr gut.“

(T6)

„Ich denke, der Vergleich mit einer Vorperiode scheint mir der wichtigste zu sein. [...] Dann kann ich sofort meine Verbrauchsveränderungen erkennen. Ich glaube, das wäre eine der Hauptnutzungen von diesem Portal.“

(T1)

„Die App soll ja in erster Linie den Status quo abbilden und gleichzeitig sensibilisieren – also aufzeigen, wo Einsparungen möglich sind oder wo zusätzliche Verbräuche entstehen. [...] Gerade Wochen- und Monatsvergleiche sind sehr hilfreich.“

(T2)

„Die Vergleiche sind aus meiner Sicht die wichtigsten. Wenn ich mir eine Funktion aussuchen sollte, dann wären wahrscheinlich der Wochenvergleich und die Tagesvergleiche am spannendsten.“

(T3)

6.4. Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden

Neben dem Tarifvergleich und Analysemodul wurden auch die 'FunFacts' hervorgehoben. Eine Expertin (T2) erwähnte, dass der Mehrwert darin liege, dass sie den Verbrauch greifbarer machen und potenzielle Einsparmöglichkeiten aufzeigen könnten. Wie die folgende Aussage verdeutlicht:

„Da würden eben auch wieder die FunFacts sehr gut reinspielen. Wenn ich sehe: „Meine Waschmaschine braucht schon ein Fünftel meines Strombedarfes“, dann könnten die Menschen da eben was ändern, etwas anderes tun oder nicht so heiß waschen, oder solche Dinge.“

(T2)

Es wurde aber auch gefragt, welche Funktionen von weniger Bedeutung sind und gegebenenfalls auch entfernt werden können. Diesbezüglich wurde das Informationsmodul genannt. Zwar wird es am Anfang als relevant angesehen, jedoch wird dies nach einer Zeit nicht mehr so dringend benötigt. Dies wurde von T6 wie folgt formuliert:

„Wenn ich auf Smart Meter Information klicke – Einführungsvideos, Facts und Variantenvergleich – ist klar: Diese Seite nutzt man vor allem, wenn man das Produkt neu bekommt oder sich überlegt, es anzuschaffen. [...] In weiterer Zukunft, wenn man es einmal weiß und kennt, wird man es wahrscheinlich nicht mehr brauchen. Ich finde es aber trotzdem wichtig, dass solche Grundlageninformationen vorhanden sind.“

(T6)

Wie die Aussagen zeigen, lag der wahrgenommene Mehrwert insbesondere in den Vergleichs- und Analysefunktionen. Diese Funktionen wurden als besonders praxisnah und hilfreich bewertet, während das Informationsmodul nur eine nebensächliche Rolle für die Teilnehmenden spielte.

Nutzungsanlässe

Hinsichtlich der Anlässe beziehungsweise Intensität der Nutzung des Prototyps gab es unterschiedliche Rückmeldungen von den Teilnehmenden. Einige Teilnehmende (T3, T4, T5) äußerten die Absicht, den Prototyp regelmäßig zu nutzen (insofern erhältlich), um einen Überblick über ihren Stromverbrauch zu behalten, im Gegenzug sahen andere Teilnehmende (T1, T6) nur eine Nutzung bei bestimmten Situationen vor.

Zwei Teilnehmende (T4, T5) äußerten sich dazu, dass der Prototyp hilfreich sei, den Verbrauch fortlaufend zu beobachten und so Auffälligkeiten zu identifizieren und zu reagieren:

„Ja, ich würde sie auf jeden Fall regelmäßig nutzen, weil ich persönlich weiß jetzt von mir daheim nicht, wie hoch mein Stromverbrauch ist. [...] Das ist echt interessant, da kann man seinen Stromverbrauch echt super optimal anpassen“

(T4)

6. Evaluation des Prototyps

„Ich würde sie wahrscheinlich regelmäßig nutzen, um meinen Stromverbrauch ein wenig im Auge zu behalten. Gerade wenn ich ältere Geräte habe und sehen will, wie viel die wirklich verbrauchen oder auch im Tagesvergleich.“

(T5)

T6 betonte hingegen, dass er eine Nutzung des Prototyps nur in Erwägung ziehen würde, wenn bestimmte Situationen auftreten, wie etwa Auffälligkeiten bei der Stromrechnung. In diesem Zusammenhang würde er den Prototypen heranziehen, um diese Auffälligkeiten nachvollziehen zu können.

„Ich würde die App tatsächlich nur nutzen, wenn mir beim Kontoeinzug gewisse Auffälligkeiten auffallen. Sprich: Eigentlich nur, wenn mir auffällt, dass im Quartal oder im Monat, je nachdem, wann der Abzug erfolgt, erheblich mehr abgebucht wird als in einem vorherigen Zeitraum.“

(T6)

Auch die Aussagen der Expert:innen zeigten diese Unterschiede. Einzelne (T3) gaben an, dass sie persönlich die Anwendung zumindest monatlich verwenden würden, schätzten aber eine regelmäßige Nutzung jedoch nur bei kleinen, interessierten Nutzergruppen als realistisch ein.

„Ich glaube, aus meiner Perspektive hätte ich so ein Dashboard zur Verfügung. Ich würde es mindestens monatlich nutzen [...]. Ich glaube, es gibt eine kleine Gruppe von Personen, die interessiert sind an diesen Dashboards. [...] Und die anderen 3/4 bis 80% würden es oder 90% würden es wahrscheinlich ehrlich gesagt nie nutzen.“

(T3)

Des Weiteren schilderten die Experten (T1, T2) ihre eigene Erfahrung hinsichtlich Nutzungsintensität und Anlässe. In diesem Zusammenhang erwähnten sie, dass die Nutzung in der Praxis oft von Anfangseuphorie geprägt sei, jedoch die Nutzung nach einigen Wochen oder Monaten nachließe, wie folgend die Aussagen der Experten zeigen:

„Weil wir auch schon mal so eine App getestet haben, die erste Woche, die ersten 10 Tage haben wir täglich reingeguckt, angeschaut und danach haben wir nicht mehr reingeschaut. Weil irgendwann haben wir gesehen: OK, es ist eh immer das Gleiche.“

(T2)

„Aus meiner Erfahrung ist es so: Wenn etwas neu ist und man sich das erste Mal damit auseinandersetzt, dann hält das Interesse mehrere Wochen oder auch Monate an und ich schaue regelmäßig hinein. Aber am Ende sehe ich immer dasselbe. Es ist ja nicht so, dass ich meine Energieverbräuche jeden Tag oder jede Woche massiv verändere. Und dann lege ich es wieder beiseite.“

(T1)

6.4. Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden

Zudem deuteten die Aussagen von Teilnehmer:innen daraufhin, dass die Nutzung stark von den einzelnen Motiven und Hintergründen abhängen könnte. Während manche Teilnehmenden (T3, T4, T5) eine regelmäßige Nutzung in Betracht zogen, sahen andere Teilnehmenden (T1, T6) nur eine Nutzung bei bestimmten Situationen vor. Zudem schätzten Expert:innen (T1, T2, T3), dass langfristig nur ein kleiner Teil der Nutzer:innen regelmäßig das Angebot nutzen würde.

6.4.2. Usability und Nutzererfahrung

Ein Thema, das sich aus der Analyse herauskristallisierte, berücksichtigt Rückmeldungen zur Usability und Nutzererfahrung. Insgesamt lassen sich hierbei vier Schwerpunkte unterscheiden: Visuelles Design und allgemeiner Eindruck, Orientierung und Navigationslogik, die Bedienbarkeit sowie die Wahrnehmung der aufbereiteten Informationen. Nachfolgend werden die einzelnen Unterthemen dargestellt.

Visuelles Design und allgemeiner Eindruck

Allgemein wurde das Design von den Teilnehmenden überwiegend positiv bewertet. Hervorgehoben wurde die Übersichtlichkeit des Prototyps sowie die Gestaltung. Teilnehmende (T1, T3) beschrieben die Umsetzung des Prototyps als durchdacht und intuitiv, wodurch ein positiver Ersteindruck entstand, wie die folgenden Aussagen zeigen:

„Mir gefällt die Seite sehr gut. Ich finde, sie ist schön gemacht und wirkt durchdacht.“

(T1)

„Die Visualisierung ist intuitiv. Beim ersten Durchklicken ist mir jetzt nichts Negatives aufgefallen.“

(T3)

Es gab jedoch auch eine kritische Äußerung zur Farbauswahl. Diesbezüglich empfand T2 die gewählte Farbkombination ein wenig anstrengend, insbesondere die Akzentfarben. Dagegen wurde wieder die dunkle Grundfarbe als modern und angenehm wahrgenommen. Folgend die Aussage der Teilnehmerin:

„Beim Hellgrün bin ich mir nicht so sicher, es wirkt etwas blass und geht fast unter. Die dunkle Hauptfarbe wirkt modern.“

(T2)

Im Großen und Ganzen lässt sich festhalten, dass der Prototyp visuell einen positiven allgemeinen Eindruck bei den Teilnehmenden hinterließ.

6. Evaluation des Prototyps

Orientierung und Navigationslogik

Die Teilnehmenden haben die Orientierung als grundsätzlich einfach und unkompliziert beschrieben. Die vertraute Struktur des Prototypen mit einer Sidebar zur Navigation half den Teilnehmenden beim Einstieg. T2 äußerte sich wie folgt dazu:

„Man sieht etwas, das man schon kennt, links diese Bedienungsleiste, diese Sidebar. Das ist eine Struktur, die sehr verbreitet ist.“

(T2)

Des Weiteren hat auch T4 erwähnt, dass durch die strukturierte Oberfläche die Orientierung unkompliziert war:

„Also dadurch, dass in der linken Seitenliste alles schön angefüllt ist. Wie alles genau heißt und man auch durch die farbigen Hervorhebungen gut erkennen kann, was man genau sieht, ist es eigentlich recht unkompliziert, sich zurechtzufinden.“

(T4)

T1 und T6 erwähnten, dass sie zu Beginn etwas Zeit brauchten, um sich zurechtzufinden, aber nach kurzer Zeit und einem weiteren Blick auf den Prototypen löste sich dieses Problem und die Orientierung sowie Navigation fielen leicht. Folgend beispielhafte Aussagen der Teilnehmenden (T1, T6):

„Beim zweiten Anlauf merkt man jedoch, dass diese gut sortiert und logisch angeordnet sind.“

(T1)

„Wenn man beim zweiten Hinsehen zum Beispiel erkennt, dass unter Verbrauchsübersicht der Punkt Verbrauch dazugehört, sieht oder versteht man sehr schnell, wo man hinmöchte. Beispielsweise: Klick auf Verbrauchsübersicht dann sehe ich gleich den Verbrauch.“

(T6)

Neben den positiven Rückmeldungen erwähnten auch einige Teilnehmer:innen (T2, T3, T6) kleine Vorschläge für die Optimierung der Sidebar. Dies betraf unter anderem die Hierarchie und Reihenfolge sowie die visuelle Darstellung der Haupt- und Unterkategorien.

T6 nannte folgenden Vorschlag:

„Links, wo die Reiter angeführt sind, also Dashboard, Smart Meter Information, Verbrauchsübersicht, Analyse, Tarife & Produkte, würde ich vorschlagen, dass man die Überschriften etwas größer gestaltet oder mehr hervorhebt.“

(T6)

6.4. Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden

Das gleiche erwähnte auch T2:

„[...] wenn man die Unterpunkte etwas weiter einrücken oder optisch absetzen würde, wäre klarer zu erkennen: 'Ah, darunter gehört dieser Bereich.' Momentan ist das nicht auf den ersten Blick eindeutig.“

(T2)

T3 erwähnte, dass man die Reihenfolge optimieren und die Informationsseite als letzten Punkt darstellen könnte:

„Informationsseite wäre wahrscheinlich sinnvollerweise weiter unten angebracht, weil sich die meisten in erster Linie, würde ich vermuten, für die Analyse und ihren Verbrauch interessieren“

(T3)

Zusammenfassend wurde die Navigation als vertraut und intuitiv bewertet und könnte mit kleinen Anpassungen noch nutzerfreundlicher gestaltet werden.

Bedienbarkeit und Nutzerfreundlichkeit

In einem engen Zusammenhang mit Orientierung und Navigation stehen Bedienbarkeit und Nutzerfreundlichkeit. Auch hierzu wurde dies von den Teilnehmenden insgesamt positiv bewertet. Von den Experten (T1, T3) wurde erwähnt, dass die Gestaltung klar auf Endnutzerfreundlichkeit ausgerichtet sei und intuitiv wirke:

„Man merkt, dass bei der Entwicklung darauf geachtet wurde, dass ein Endnutzer am System sitzt und die Anwendung möglichst einfach gestaltet wurde.“

(T1)

„Die Usability wirkt beim ersten Durchklicken sehr angenehm.“

(T3)

Zudem wurde auch von einem Experten (T1) erwähnt, dass schnelle Reaktionszeiten sowie verlässliche Mouseover-Funktionalitäten zu den Stärken des Prototypen zählen:

„Das sehe ich als sehr positiv. [...] Wenn ich durchklicke, reagiert alles extrem schnell, ohne Wartezeiten. Das gefällt mir sehr gut. Auch die Mouseover-Funktionen funktionieren reibungslos.“

(T1)

Darüber hinaus wurde auch erwähnt, dass zentrale Funktionen leicht auffindbar seien und verständlich dargestellt werden. Wie die Aussagen der Teilnehmenden (T5, T6) zeigen:

6. Evaluation des Prototyps

„Als Erstes fällt einem wahrscheinlich auch der Zeitraum auf, der eingekastelt und gut sichtbar ist. Dort kann ich zum Beispiel Monat einstellen und das Diagramm ändert sich sofort.“

(T6)

„Es war eigentlich leicht, die Funktionen gleich zu finden.“

(T5)

Insgesamt lässt sich aus den Rückmeldungen ableiten, dass der Prototyp die Teilnehmer:innen in seiner Bedienbarkeit und Nutzerfreundlichkeit überzeugen konnte und, wie bereits erwähnt, die Orientierung und Navigation leicht fiel.

Verständnisunterstützung und Informationsaufbereitung

Eines der Kernelemente des Prototyps ist die Darstellung von Verbrauchsdaten sowie die Informationsaufbereitung. Deshalb war ein zentraler Punkt der Evaluation, Rückmeldungen von Teilnehmenden zur Wahrnehmung der aufbereiteten Informationen zu erhalten. Die Rückmeldungen zeigen, dass der Prototyp insgesamt eine hohe Verständlichkeit bietet und durch die Kombination von verschiedenen Elementen, Texten, Symbolen, Farben und Diagrammen die Interpretation der Daten vereinfacht. In diesem Zusammenhang wurden oft die ergänzenden Textbeschreibungen erwähnt. Expert:innen (T1, T2) sowohl als auch Nutzer:innen (T4) sahen diese zusätzlichen Textbeschreibungen als sehr hilfreich, um die Daten zu interpretieren. Auch wurde erwähnt, dass die gewählten Worte leicht verständlich seien. Die Teilnehmenden äußerten sich zu diesem Thema wie folgt:

Aussagen der Experten:

„Gut finde ich, dass viel erklärender Text vorhanden ist. Man bekommt nicht nur, wie in anderen Dashboards, Kacheln mit nackten Zahlen, sondern auch Hinweise, was diese bedeuten und wie man sie verstehen kann.“

(T2)

„Besonders gefällt mir, dass immer auch eine textuelle Erklärung in einfachen Worten dabei ist, die beschreibt, was genau dargestellt wird.“

(T1)

Aussage der Nutzerin:

„Und auch wenn man jetzt die Diagramme nicht auf den ersten Blick verstehen würde, wäre das kein Problem, weil es gibt immer noch die Verbrauchsanalyse wo in Worten. Genau beschrieben ist, was man hier erkennen kann.“

(T4)

6.4. Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden

Auch die 'FunFacts' wurden als hilfreich für das Verständnis wahrgenommen. Einige Teilnehmende (T2, T4, T5) betonten, dass die Aufbereitung der Verbrauchsdaten in alltagsbezogene Beispiele hilft, den eigenen Verbrauch besser einzuordnen.

Des Weiteren wurde die Darstellung der Diagramme überwiegend verstanden und positiv bewertet. Teilnehmende (T1, T6) erwähnten, dass grafische Darstellungen Informationen leichter verständlich machen, als nur die Darstellung von reinen Zahlen. Wie die folgenden Aussagen zeigen:

„Es ist viel anschaulicher, wenn man es vor sich in einem Diagramm sieht, anstatt nur eine Zahl in Kilowattstunden für den Jahres- oder Monatsverbrauch zu lesen.“

(T6)

„Wenn es nur um die reinen Verbräuche ohne Vergleich geht, ist es gut dargestellt, einfach und übersichtlich. Unwichtige Daten werden gar nicht erst angezeigt, das finde ich sehr gelungen.“

(T1)

Abschließend wurde auch die Aufbereitung der Smart Meter Informationen von einigen Teilnehmenden (T1, T3, T4, T6) als positiv wahrgenommen. Besonders, dass die Inhalte klar und leicht verständlich dargestellt sind. Betont wurde von mehreren Teilnehmenden (T1, T3, T4, T6), dass die FAQ-Texte einen schnellen Überblick verschaffen und die wichtigsten Informationen bereitstellen (Was ein Smart Meter ist, wie er funktioniert, etc.). Ergänzend dazu wurde von T1, T3 und T4 betont, dass der Variantenvergleich in Tabellenform einen guten Überblick über die verschiedenen Varianten verschafft.

Teilnehmende (T1, T6) äußerten aber auch, dass Optimierungspotenzial vorhanden ist. Diesbezüglich wurde oft das Dashboard erwähnt, wo die Teilnehmenden doch noch Potenzial sehen, die Daten besser zu visualisieren. Einerseits kam die Rückmeldung, dass zu viele Informationen auf einmal gezeigt werden und andererseits wurde erwähnt, dass bei der Kalenderansicht eine Beschriftung der Achsen gewünscht wird, um so die Darstellung schneller interpretieren zu können. T6 empfahl diesbezüglich Folgendes:

„Ich könnte mir vielleicht vorstellen, dass man links, also entlang der Spalten, anführt, dass es sich um Tage handelt, denn aktuell muss man mit der Maus drüberfahren, um das Datum zu sehen. Und in der Zeilenrichtung könnte man die Monate anführen.“

(T6)

Ein Experte (T1) wies noch darauf hin, Tooltips zu ergänzen, um Fachbegriffe besser zu erklären:

„Vielleicht wäre hier ein kleines Infofenster oder ein Tooltip hilfreich, der den Begriff Kilowattstunden kurz erklärt.“

(T1)

6. Evaluation des Prototyps

Zusammenfassend lässt sich aus den Rückmeldungen sagen, dass der Prototyp in Bezug auf die Informationsaufbereitung positiv wahrgenommen wurde und die Teilnehmenden sich leicht taten, diese Daten zu analysieren. Die Evaluation zeigt, dass die Kombination aus verschiedenen Elementen wie Text, Symbolen, Farben und Darstellungen einen maßgeblichen Anteil daran haben kann, das Verständnis gegenüber Verbrauchsdaten zu erhöhen. Die genannten Verbesserungsvorschläge führen uns zum dritten und letzten identifiziertem Thema, welches im Folgenden besprochen wird.

6.4.3. Herausforderungen und Verbesserungspotenzial

Das letzte Themenfeld fasst die Rückmeldungen zu Unklarheiten, Schwachstellen und möglichen Weiterentwicklungen und Optimierungsbereichen des Prototyps zusammen. Dabei identifizierten die Teilnehmenden konkrete Punkte, die den Nutzwert des Prototyps erhöhen könnten.

Strukturelle Optimierungspotenziale

Wie bereits in den vorherigen Abschnitten ausgeführt, zeigten die Rückmeldungen, dass die grundlegende Struktur des Prototyps als positiv wahrgenommen wurde. Es gab aber auch an einzelnen Stellen kleinere Kritikpunkte, beziehungsweise konkrete Hinweise von den Teilnehmenden, die zur Optimierung einzelner Elemente des Prototyps beitragen können.

In diesem Zusammenhang wurde von den Teilnehmenden (T1, T2, T4) das Öfteren das Dashboard genannt. Die fehlende Direktwahlmöglichkeit einzelner Tage erschwerte den Einstieg ins Dashboard, denn die Teilnehmenden mussten einzelne Tage über kleine Kästchen in der Kalenderansicht auswählen. Eine Teilnehmerin erwähnte diesbezüglich Folgendes:

„Was ich allerdings weniger übersichtlich finde, sind die einzelnen Tage im Dashboard. Es gibt dort keine direkte Möglichkeit, das Datum manuell auszuwählen, man muss wirklich auf die einzelnen Kästchen in der Grafik klicken. Und das Datum selbst ist ziemlich klein dargestellt. Wenn man nicht so gut sieht, ist es schwierig, das schnell zu erfassen, man muss wirklich jedes Kästchen anklicken, um den Tag zu finden.“

(T4)

Darüber hinaus wurde das Dashboard von einigen Teilnehmenden (T1, T2) als überladen wahrgenommen. Diesbezüglich wurde erwähnt, dass die Kalenderansicht weniger prominent platziert werden und die zentralen Elemente der Tagesdaten priorisiert werden sollte. T1 und T2 äußerten sich dazu wie folgt:

„Ich würde beim Dashboard tatsächlich die vielen kleinen Quadrate mit den verschiedenen Farben nicht direkt auf die erste Seite setzen, sondern eher irgendwo im Menü verstecken“

(T1)

6.4. Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden

„Darum würde ich diese Kacheln [Tagesdaten] weiter nach oben setzen und das große, bunte Dashboard-Element, das stark ablenkt, etwas verkleinern so, dass man vielleicht etwas scrollen muss, um es zu sehen.“

(T2)

Zusammenfassend zeigen die Rückmeldungen der Teilnehmenden, dass die grundlegende Struktur als positiv wahrgenommen wurde, es jedoch kleinere Optimierungspotenziale für einzelne Elemente gibt. Dabei handelt es sich meistens um kleine Verbesserungen, um die Orientierung und Bedienung weiter zu erleichtern.

Herausforderungen bei der Verständlichkeit

Während sich die Visualisierungen und Erklärtexpte als hilfreiches Instrument bewährt haben und als gut nachvollziehbar beschrieben wurden, zeigten sich in wenigen Bereichen leichte Verständnisschwierigkeiten. Dabei ging es um Fachbegriffe, Analyseergebnisse und die Komplexität mancher Tarifinformationen.

Hinsichtlich des Tarifvergleichs erwähnte T4, dass ihr nicht klar war, welche Informationen sie angeben müsse:

„Das war bei Strom Tag/Nacht Öko Plus der Fall, weil man da zwischen Tages- und Nachtstrom unterscheiden muss. Aber ich denke, da muss man sich einfach ein bisschen reinlesen, das macht ja grundsätzlich Sinn, weil ja auch unten im Tarifvergleich steht, dass der Nachtpreis günstiger ist. Da muss man dann eben schauen, wie man das im Alltag nutzt – zum Beispiel, wann man die Waschmaschine einschaltet, also bei welchem Tarif das sinnvoller ist.“

(T4)

Ein Experte (T3) erwähnte noch bei der Vergleichsansicht „Monatsvergleich“, dass die Darstellung zunächst als komplex wahrgenommen wurde und dass es ein aktives Nachdenken seitens der Nutzer:innen benötige, um diesen Vergleich richtig zu interpretieren.

„Wenn man den Monatsvergleich macht, muss man zuerst einmal nachdenken, was genau dargestellt wird und was die Zahlen bedeuten. Im zweiten Moment kommt man natürlich relativ schnell drauf.“

(T3)

T6 erwähnte auch, dass er kurz Schwierigkeiten mit dem Analysebereich hatte. Diesbezüglich war ihm nicht auf Anhieb klar, wie er die Zahlen zu interpretieren hat und erwähnte, dass mit einem einfachen ergänzenden Symbol oder Pfeil diese Unsicherheit gelöst werden könne. Wie die folgende Aussage zeigt:

„Ich klicke unter Analyse auf Tagesvergleich. Es ist zwar in Textform in der Verbrauchsanalyse angeführt, wie der Stromverbrauch eines Tages im Vergleich zu einem Referenzdatum ist. [...] Wenn dort steht „+0,11 %“ – einen Pfeil

6. Evaluation des Prototyps

einfügen, der von links nach rechts zeigt, um darzustellen, dass der Verbrauch von links nach rechts um 0,11 % gestiegen ist. Oder bei einem Minuswert, dass er gefallen ist. Wenn man nur auf die Differenz schaut, ist auf den ersten Blick nicht klar erkennbar, ob rechts oder links höher bzw. niedriger ist.“

(T6)

Zusammenfassend zeigt sich aus den Rückmeldungen, dass die Herausforderungen weniger im Bereich der grundsätzlichen Verständlichkeit liegen, sondern mehr in der Detaildarstellung und in der Begriffsdefinition. Diesen Herausforderungen können jedoch gezielt mit nur kleineren Anpassungen entgegengewirkt werden.

Anpassungs- und Erweiterungsoptionen

Die Teilnehmenden wurden auch gefragt, welche funktionale, inhaltliche Ergänzungen sowie Erweiterungsoptionen sie sich wünschen. Diesbezüglich gab es ein paar Anregungen, die von kleinen Anpassungen, bis hin zu weitergehenden Entwicklungsperspektiven reichen. Dieses Unterthema fasst die Anregungen hinsichtlich Erweiterungsoptionen zusammen.

Ein Experte (T1) betonte, dass die Attraktivität des Prototyps für potenzielle Nutzer gesteigert werden könne, indem ergänzend zu den Verbrauchsdaten auch Euro-Beträge angezeigt würden, um die Verbrauchsdaten greifbarer und aussagekräftiger zu machen. Der Experte äußerte sich wie folgt dazu:

„Außerdem wäre es hilfreich, wenn neben den Kilowattstunden auch der Euro-Betrag angezeigt würde. Natürlich mit dem Hinweis, dass es sich um einen Durchschnittswert handelt, der hochgerechnet wurde und daher leicht vom tatsächlichen Rechnungsbetrag abweichen kann. Kilowattstunden sind für viele ein eher abstrakter Begriff. Der Euro-Betrag hingegen ist viel greifbarer und aussagekräftiger. Er muss ja nicht auf den Cent genau stimmen, aber für Vergleichsanalysen wäre das völlig ausreichend.“

(T1)

Auch wurde der Wunsch von T1 geäußert, den Prototypen dahin zu entwickeln, dass die Nutzer:innen einen direkten Zugriff auf Rechnungen haben sowie die Einbindung von mehreren Tarifen von unterschiedlichen Anbietern. Auch konkrete Handlungsempfehlungen und Energiespartipps wurden als Ergänzung hervorgehoben, um noch einen weiteren Mehrwert zu bieten. Hierzu äußerte sich T2 wie folgt dazu:

„Und da wären dann zusätzlich zu diesen Fun Facts wirklich auch solche Hinweise cool: Wie könnte ich in diesem Kontext denn noch Strom sparen? [...] Empfehlungen mit einbauen, wie man sparen kann, ganz konkret“

(T2)

Auf funktionaler Ebene wurde erwähnt, die Vergleichsmöglichkeiten zu erweitern. Diesbezüglich wurde von T3 angesprochen, dass eine Erweiterung beinhalten könnte,

6.4. Einschätzungen und Rückmeldungen der Teilnehmenden

nicht nur zwei Zeiträume zu vergleichen, sondern dass es die Möglichkeit gibt, mehrere Tage, beziehungsweise Woche, Monate oder Jahre miteinander zu vergleichen. Zudem wurde noch als Erweiterungsoption genannt, die Drilldown-Funktion zu implementieren, die es ermöglicht, stufenweise von einer Jahres-, bis hin zur Tagesebene zu navigieren. T1 beschrieb diese Erweiterungsoption folgendermaßen:

„Und dann womöglich, wenn ich im Jahresvergleich beginnen würde, dass ich mit Klick auf die Grafik einen Drilldown auf die Monatssicht machen kann, dann von der Monatssicht auf die Wochensicht und von der Wochensicht auf die Tagessicht. So kann ich mich im Drilldown weiter reinarbeiten und immer den Vergleich der letzten Periode – der letzten X Tage oder X Monate – sehen. Dann kann ich sofort meine Verbrauchsveränderungen erkennen. Ich glaube, das wäre eine der Hauptnutzungen von diesem Portal. Und das wäre dann eigentlich die Idee, dass die einzelnen Vergleiche, die jetzt im Menü sind, über den Drilldown erreichbar sind.“

(T1)

Als Zukunftsperspektive blickte eine Expertin (T2) in Richtung Anbindung an ein Energiemanagementsystem sowie die Integration von Echtzeitdaten:

„Vielleicht dann auch irgendwann einmal eine Weiterentwicklung in Richtung Echtzeitdaten, in Richtung Anbindung an ein Energiemanagementsystem. Das sind so diese Entwicklungsmöglichkeiten.“

(T2)

Zusammenfassend stellen, die Vorschläge der Teilnehmenden vor allem praxisnahe Erweiterungen dar, von der Anzeige von Euro-Beträgen, über Energiespartipps, bis hin zu flexibleren Vergleichsmöglichkeiten. Aber auch langfristige Perspektiven wurden erwähnt, wie die Anbindung an Energiemanagementsysteme oder die Integration von Echtzeitdaten. Die Rückmeldungen und Vorschläge zeigten auch, dass der Prototyp von den Teilnehmenden nicht nur als Visualisierungstool von Verbrauchsdaten wahrgenommen wurde, sondern als eine Energiemanagement Plattform.

7. Diskussion

In den vorangegangenen Kapiteln dieser Arbeit wurden die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor erörtert. Besonders berücksichtigt wurde dabei die Rolle der Smart Meter. Die Grundlage dieser Arbeit bildete die Auseinandersetzung mit der vorhandenen Literatur zur Digitalisierung im Energiesektor. Um tiefere Einblicke in die Thematik zu erhalten, wurden qualitative Interviews mit Expert:innen aus dem Energiesektor durchgeführt und analysiert. Aufbauend darauf wurde dann ein Prototyp entwickelt, der aufzeigen sollte, wie eine digitale Anwendung gestaltet werden kann, um die beschriebenen Herausforderungen beziehungsweise Möglichkeiten (in Teilen) zu adressieren. Dabei wurde die Entwicklung des Prototyps, von der Ableitung des Anwendungsfalls über die technische Umsetzung bis hin zur Evaluierung, beschrieben. In diesem Kapitel werden die gewonnenen Erkenntnisse aus verschiedenen Perspektiven diskutiert. Diesbezüglich werden nochmals die Forschungsfragen herangezogen, die im Kapitel 1.1 formuliert wurden. Abgerundet wird das Kapitel mit der Beschreibung der Limitationen dieser Arbeit.

7.1. Rückbezug auf die Forschungsfragen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei zentrale Forschungsfragen formuliert, die zusammen mit mehreren Unterfragen den inhaltlichen Rahmen bildeten. Die nachfolgende Diskussion orientiert sich an diesen Forschungsfragen. Im Zuge dessen fasst die Diskussion die wichtigsten Ergebnisse zusammen und stellt sie in einen Zusammenhang mit den Forschungsfragen.

(F1) Welche Chancen und Herausforderungen entstehen für Energiedienstleister durch die Digitalisierung und die Nutzung von Smart-Meter-Daten?

Diese Arbeit zeigt deutlich, dass durch die voranschreitende Digitalisierung im Energiesektor, die Technologie „Smart Meter“ für Energiedienstleister sowohl neue Möglichkeiten eröffnet, aber auch gleichzeitig neue Herausforderungen bewältigt werden müssen. Ein wesentliches Potenzial des Smart Meter liegt in der verbesserten Verfügbarkeit von Energiedaten, was den Energiedienstleistern einen neuen Gestaltungsraum eröffnet. Dazu zählen etwa die schnellere Erkennung und Behebung von Netzstörungen und die verbesserte Verwaltung von Stromflüssen [11]. Außerdem können neue Tarifmodelle realisiert werden [39].

Die in dieser Arbeit durchgeführten Expert:innen-Interviews bestätigen diese Aussagen. Die Experten betonten, dass durch Smart Meter neue Geschäftsmodelle entstehen können, etwa in Form digitaler Plattformen oder dynamischer Energiepreisgestaltung (vgl. Kapitel

7. Diskussion

4.4, 4.4.2). Darüber hinaus wurde auch des Öfteren erwähnt, dass die Verfügbarkeit detaillierter Verbrauchsdaten zu einer besseren Prognose des Energiebedarfs beiträgt. Dies könnte dann wiederum für eine bessere Stabilisierung des Energiesystems sorgen (vgl. Kapitel 4.1.2).

Trotz der Vorteile müssen auch einige Herausforderungen überwunden werden, unter anderem wurden in der Literatur immer wieder Sicherheits- und Datenschutzbedenken erwähnt. Diesbezüglich wurde der Schutz gegenüber Manipulation, Missbrauch oder Diebstahl der Daten als Herausforderung identifiziert [64] [38] [10]. Diese Aussagen spiegelten sich in den Interviewergebnissen wider. Auch die Experten erwähnten Bedenken gegenüber Sicherheit und Datenschutz (vgl. Kapitel 4.2.2). Daher lässt sich feststellen, dass Sicherheits- und Datenschutzbedenken eine zentrale Herausforderung für die Energiedienstleister darstellen. Zudem wurde in der Literatur erwähnt, dass Verbraucher:innen einige Sorge gegenüber dem Smart Meter tragen. Was zur Folge hat, dass die allgemeine Akzeptanz erschwert wird. Eine wichtige Herausforderung besteht also darin, das Engagement und das Bewusstsein der Verbraucher:innen zu verbessern [16]. Auch die Analyse der Experten-Interviews bestätigten diese Herausforderung der mangelnden Akzeptanz der Verbraucher:innen (vgl. Kapitel 4.2.3). Dies deutet darauf hin, dass sich die Energiedienstleister, durch die Nutzung von Smart-Meter-Daten, in einer Art „Dilemma“ befinden. Trotz der neuen Möglichkeiten, die sich für die Energiedienstleister eröffnen, stehen sie gleichzeitig bei der Umsetzung von Lösungen einigen erheblichen Herausforderungen gegenüber.

Um die übergeordnete Frage (F1) näher zu beleuchten, wurde die Frage (F1.1) untersucht, wie Smart-Meter-Daten genutzt werden.

(F1.1) Wie werden Smart-Meter-Daten aktuell genutzt, und welche Anwendungsfälle sind besonders erfolgreich?

In der Literatur wird beschrieben, dass der Smart Meter derzeit zur Messung und Fernübertragung elektronischer Informationen für die Kund:innen-Abrechnung sowie die Verwaltung des Stromnetzes eingesetzt wird [20] [39] [7]. Zudem stellte sich durch die Experten-Interviews heraus, dass der Smart Meter Grundvoraussetzung für den Betrieb von Energiegemeinschaften ist. Diesbezüglich wird der Smart Meter für die präzise Erfassung des Stromflusses verwendet. Dadurch kann eine exakte Abrechnung zwischen Erzeuger und Verbraucher gewährleistet werden (vgl. Kapitel 4.5.1). Dies zeigt, dass der Smart Meter bereits für einige Anwendungsbereiche eingesetzt wird und für bestimmte Anwendungen sogar eine Grundvoraussetzung darstellt. Während sich die Forschungsfrage (F1.1) mit den Anwendungsfällen beschäftigt, fokussiert sich die Forschungsfrage (F1.2) auf die damit verbundenen Herausforderungen.

(F1.2) Welche technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Herausforderungen ergeben sich bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern?

Die Einführung des Smart Meter bringt aus der technischen Sicht einige Herausforderungen mit sich. Zu diesen gehören die Verwaltung der erfassten Daten [70], Interoperabilität [38] und die Integration in die vorhandenen Systeme [22].

Außerdem ist die Einführung des Smart Meters mit hohen Investitionskosten verbunden, was den Fortschritt der Einführung des Smart Meters hemmt. Ausschlaggebend für eine Einführung der Smart Meter in den EU-Mitgliedstaaten ist eine positive Kosten-Nutzen-Analyse [27].

Auch die regulatorischen Rahmenbedingungen stellen eine Herausforderung für die Energiedienstleister dar. Die Expert:innen erwähnten diesbezüglich, dass gesetzliche Vorgaben die Nutzung und Verarbeitung der Daten sehr stark einschränken und es geeignete gesetzliche Rahmenbedingungen benötigt, um das volle Potenzial, das durch die Einführung von Smart Meter entsteht, auszuschöpfen (vgl. Kapitel 4.2.1). Um die Digitalisierung des Energiesystems zu unterstützen, hat die Europäische Union in den letzten Jahren die Regulierungen stark vorangetrieben. Begleitet von Initiativen wie dem REPowerEU-Plan oder dem europäischen Grünen Deal [29]. Wie sich die Digitalisierung auf die Energiedienstleister auswirkt, wird durch die Forschungsfrage (F1.3) untersucht.

(F1.3) Welche spürbaren Auswirkungen hat die Digitalisierung – vor allem durch Smart Meter – auf Energiedienstleister?

Die Digitalisierung im Energiesektor, insbesondere die Einführung der Smart Meter, hat weitreichende Auswirkungen auf die Energiedienstleister. Beginnend mit dem Abrechnungsprozess: Durch die Einführung ist jetzt eine automatisierte Fernablesung möglich, dadurch können zum Beispiel Mitarbeiter freigesetzt werden für andere Tätigkeiten [11]. Auch die Experten erwähnten diese Auswirkungen und betonten, dass die automatische Fernablesung den Verwaltungsaufwand reduziert und die Transparenz für die Verbraucher:innen erhöht (Kapitel 4.1.3).

Zudem stellte sich bei der Analyse der Interviews heraus, dass der Smart Meter Auswirkungen auf Tarifmodelle hat. So muss jetzt der österreichische Energiesektor aufgrund gesetzlicher Vorgaben zukünftig Produkte anbieten, deren Preis sich stündlich an den Börsenpreisen orientiert (Kapitel 4.4.2). Die Smart Meter bilden die technologische Grundlage für neue innovative Produkte und Dienstleistungen, was direkt zur nächsten Forschungsfrage führt. Diese beschäftigt sich nämlich mit diesen neuen Anwendungen, die durch den Smart Meter ermöglicht werden.

(F1.4) Welche neuen Anwendungen und Dienstleistungen werden durch Smart Meter ermöglicht, die zuvor nicht realisierbar waren?

Der Smart Meter bildet für viele neue Anwendungen die Basis. Anknüpfend an das bereits in der Frage (F1.3) aufgegriffene Thema Tarifmodelle äußerte sich eine Expertin wie folgt dazu (vgl. Kapitel 4.1.1):

„... Smart Meter werden auch in Zukunft in Richtung dynamische Tarife und so eine einfache technische Grundlage sein, dass man gewisse Stromverträge oder Energiedienstleistungen überhaupt in Anspruch nehmen kann.“

(EX2)

7. Diskussion

Diese Aussage ist exemplarisch für die Analyseergebnisse und zeigt, dass dynamische Tarifmodelle nur durch den Smart Meter realisierbar sind. Auch in der Literatur wird dieser Aspekt als zentrale Chance im Zusammenhang mit Smart Meter beschrieben [39]. Die durchgeführten Interviews und Aussagen der Expert:innen zeigten, dass sich dies auch in der Praxis bestätigt (vgl. Kapitel 4.4.2). Ein weiterer Anwendungsbereich, der durch die Smart Meter realisierbar geworden ist, sind Energiegemeinschaften. Hier sind Viertelstundenwerte, die der Smart Meter misst, eine Voraussetzung für Energiegemeinschaften (vgl. Kapitel 4.5). Auch für die digitalen Services ist die Smart-Meter-Infrastruktur eine zentrale Voraussetzung. Smart Meter schaffen die notwendige Datenbasis und ermöglichen so erst innovative Anwendungen (vgl. Kapitel 4.4.1). Auf dieser Grundlage wurde die Forschungsfrage (F2) formuliert, die sich mit der Entwicklung eines Prototyps befasst.

(F2) Welcher Prototyp kann im Rahmen der Masterarbeit entwickelt werden, um eine innovative Antwort auf die identifizierten Herausforderungen aufzuzeigen?

Der entwickelte Prototyp liefert eine Art „Zusammenfassung“ der Erkenntnisse (in Form eines Artefakts), welche im Zuge der Masterarbeit erforscht werden konnten. Gleichzeitig stellt er eine Projektion in die Zukunft dar, denn er geht über das Gelernte hinaus und stellt zur Diskussion, ob die in ihm implementierten Features eine sinnvolle Anwendung der neu gewonnenen Möglichkeiten der digitalisierten Energiewirtschaft sind.

Konkret wurde die Basis für die Entwicklung des Prototyps durch die durchgeführte Analyse der Interviews (vgl. Kapitel 4) gelegt. Dabei wurden einige Herausforderungen identifiziert. So stellen der Bedarf an Transparenz, die generelle geringe Akzeptanz und die Unterstützung bei der Dateninterpretation Aspekte dar, die für den Energiedienstleister in Zukunft große Relevanz haben werden. Um diese Aspekten explorativ zu beleuchten, wurde der Prototyp in einer interaktiven, modularen Form entwickelt.

Der Prototyp beinhaltet mehrere Elemente, um das Nutzerverständnis und die Akzeptanz zu erhöhen. Hierzu zählen interaktive Diagramme, die den Stromverbrauch in unterschiedlichen Zeitintervallen darstellten. Ergänzend dazu beinhaltet der Prototyp Vergleichswerte und Text-Kommentare. Zudem wurde der Energieverbrauch in alltagsnahe Vergleichseinheiten übersetzt, um den Nutzer:innen ihren Verbrauch greifbarer zu machen. Der Prototyp bietet den Nutzer:innen auch die Möglichkeit, ihren Tarif mit alternativen Tarifen zu vergleichen und unterstützt sie somit bei der Entscheidung hinsichtlich der Auswahl des Tarifs. Ein weiteres zentrales Element stellte das Informationsmodul zum Thema Smart Meter dar. Durch Erklärvideos, Textübersichten und Tabellen wurden den Verbraucher:innen wichtige Informationen zum Smart Meter kommuniziert. Dieses Modul diente der Aufklärung und sollte Vorurteile und Unsicherheiten entgegenwirken. Durch diesen Prototyp erhalten die Verbraucher:innen nicht nur einen leichten Zugang zu Daten und Informationen, sondern auch Unterstützung bei der Interpretation ihres Stromverbrauchs. Der Prototyp stellte dabei eine innovative Lösung dar, die verschiedene Aspekte vereint. Die Anwendung ist zwar nur ein prototypischer Entwurf mit Pseudodaten, sollte jedoch zeigen, wie im Energiesektor digitale Plattformen benutzerorientiert gestaltet

werden können. Die detaillierte Beschreibung zur Entwicklung des Prototyps befindet sich im Kapitel 5.

(F2.1) Wie reagieren die Dienstleister oder potenzielle Nutzer:innen auf diesen Prototypen?

Die durchgeführte Evaluation zeigte, dass der entwickelte Prototyp sowohl von Expert:innen eines Energiedienstleisters als auch von potenziellen Nutzer:innen als positiv wahrgenommen wurde. Insbesondere wurde die *Visualisierung der Verbrauchsdaten* sowie die *Vergleichsmöglichkeiten* beziehungsweise die *Analysemöglichkeiten* hervorgehoben. Zusätzlich wurde der *Tarifvergleich*, indem Tarife miteinander verglichen werden können, als nützliche Funktion gesehen (vgl. Kapitel 6.4.1).

Dem *Informationsmodul* wurde hingegen weniger Aufmerksamkeit geschenkt. Zwar wurde die Darstellung der grundlegenden Informationen zum Smart Meter als positiv bewertet, jedoch spielte das Informationsmodul für die Teilnehmer:innen im Vergleich zu anderen Funktionen nur eine Nebenrolle. Die Aussagen der Teilnehmer:innen deuten darauf hin, dass das Informationsmodul in erster Linie für Verbraucher:innen ohne Vorwissen relevant ist. Für Verbraucher:innen, die sich bereits mit dem Thema Smart Meter auseinandergesetzt haben, verliert es an Relevanz. Es könnte jedoch dann wieder von Bedeutung sein, wenn die Verbraucher:innen gezielt etwas nachlesen wollen (vgl. Kapitel 6.4.1).

Einer der Stärken des Prototyps war der Einsatz von verschiedenen Elementen. Dies stellte sich während der Analyse im Rahmen der Evaluation heraus. So wurde die *Kombination* aus visuellen Darstellungen, Texten, Farbgestaltung und Symbolen von den Teilnehmenden als praktisch angesehen. Diesbezüglich wurde erwähnt, dass die Kombination dieser Elemente das Verständnis für Verbrauchsinformationen unterstützt (vgl. Kapitel 6.4.2).

Es traten aber auch kleinere *Herausforderungen* auf, unter anderem kleine Verständnishürden, Unsicherheiten beim Tarifvergleich und leichte Überforderung beim Dashboard, da dies als überladen wahrgenommen wurde. Diese Punkte wurden jedoch nicht als Schwächen bezeichnet, sondern mehr als Optimierungspunkte, die durch gezielte Verbesserungen behoben werden könnten (vgl. Kapitel 6.4.3).

Trotz der kleineren Herausforderungen haben einige Nutzer:innen angegeben, dass sie den Prototypen künftig entweder regelmäßig nutzen würden oder zur Kontrolle bei Auffälligkeiten in den Rechnungen. Eine Expertin betonte, dass der Prototyp zur Sensibilisierung herangezogen werden kann, um zum Beispiel Haushalte mit überdurchschnittlichem Verbrauch gezielt anzusprechen. Die Expert:innen von der Evaluation verwiesen aber auch daraufhin, dass eine langfristige regelmäßige Nutzung nur bei einer kleinen interessierten Zielgruppe besteht. Was sich bereits auch in den Experten-Interviews zeigte. Zudem betonten die Expert:innen, dass zwar eine Anfangseuphorie bei potenziellen Nutzer:innen besteht, diese aber mit der Zeit abnimmt. Dies haben sie aus ihren eigenen Erfahrungen gelernt (vgl. Kapitel 6.4.1). In der HCI Literatur wird dies als bekanntes Phänomen unter der Bezeichnung *Novelty Effect* [60] diskutiert. Vor diesem Hintergrund, der sich bereits

7. Diskussion

aus den Experten-Interviews ergab, wurde während der Evaluation die Frage gestellt, wie der Prototyp weiterentwickelt werden kann, um langfristig Nutzungsanreize zu schaffen. In diesem Zusammenhang wurde von einigen Teilnehmenden gewünscht, eine Anzeige des Energieverbrauchs in Euro-Beträgen sowie personalisierte Handlungsempfehlungen zu implementieren. In ähnlicher Weise werden solche Funktionen auch bei Matuschik-Weise [47] genannt. Von den Expert:innen kam die Rückmeldung, dass die Integration von Echtzeitdaten sowie die Anbindung an ein Energiemanagementsystem potenzielle Weiterentwicklungsmöglichkeiten sind. Die detaillierte Beschreibung zur empfohlenen Weiterentwicklungen befindet sich im Kapitel 6.4.3.

Zusammenfassend lässt sich aus der Evaluation ableiten, dass der Prototyp ein konkretes Beispiel für digitale Energiedienstleistungen darstellt. Er verdeutlicht exemplarisch, wie Verbrauchsdaten nutzerfreundlich und verständlich dargestellt werden können und dient zugleich als praktische Unterstützung zur Förderung des Verständnisses für den eigenen Energieverbrauch. Die Evaluation zeigte aber auch, dass weiteres Potenzial für Optimierungen sowie Weiterentwicklungen besteht. Durch Smart Meter lassen sich einige neue Anwendungen umsetzen, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile für die Energiedienstleister bringen können. Ausschlaggebend ist diesbezüglich, dass sie zuverlässig umgesetzt sowie regulatorisch unterstützt werden. Zudem müssen die Energiedienstleister, Verbraucher:innen klar und verständlich über neue Anwendungen informieren.

7.2. Limitierungen dieser Arbeit

Trotz der gewonnenen Erkenntnisse ist es wichtig, die Grenzen dieser Arbeit zu reflektieren. Im Folgenden werden die Limitationen dieser Arbeit dargestellt.

Im Rahmen dieser Arbeit lag die Fokussierung auf dem Smart Meter, eine zentrale Komponente in der Digitalisierung des Energiesektors. Andere digitale Technologien wie zum Beispiel Blockchain-Anwendungen oder durch Künstliche Intelligenz unterstützende Anwendungen wurden bewusst nicht miteinbezogen. Das Ziel dieser Arbeit lag in der Betrachtung einer konkreten digitalen Technologie, deshalb sind die Ergebnisse in erster Linie mit Smart Meter und deren Daten in Verbindung zu setzen.

Es ist auch zu erwähnen, dass in dieser Arbeit die Fokussierung auf dem österreichischen und europäischen Energiemarkt lag. Die Analyse und damit verbundenen rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen beziehen sich auf die Republik Österreich und die Vorgaben der Europäischen Union. Deshalb ist die Übertragbarkeit auf andere Länder beziehungsweise Energiemärkte nur bedingt gegeben.

Die empirische Datenerhebung erfolgte durch Experten:innen-Interviews mit ausgewählten Personen aus dem Energiesektor. Diese Interviews ermöglichten einen tieferen Einblick in die Thematik. Die Auswahl der Interview-Partner:innen erfolgte bewusst nach dem Kriterium ihrer Expertise. Dies ermöglichte zwar den Zugang zu Fachpersonen mit fundierten Kenntnissen über die Digitalisierung im Energiesektor, gleichzeitig ist damit aber auch eine eingeschränkte Generalisierbarkeit verbunden. Auch die begrenzte Teilnehmeranzahl ($n=5$) schränkt die Übertragbarkeit der Erkenntnisse ein.

Eine weitere Limitierung betrifft die Entwicklung des Prototyps. Dessen Evaluation

wurde mit Pseudodaten durchgeführt. Dabei handelt es sich um synthetische Lastprofile. Außerdem wurde die Annahme getroffen, dass die zugrunde liegenden Daten vollständig und fehlerfrei vorliegen. Entsprechend beschränkt sich der Prototyp auf eine vollständige Datengrundlage, wodurch fehlende Messwerte und Ersatzwertbildungen unberücksichtigt bleiben. Der Einsatz realer Messdaten aus einem Smart Meter war im Rahmen dieser Arbeit aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht möglich. Die Verwendung von Pseudodaten stellt ein notwendiger Kompromiss dar, um die Funktionalität des Prototyps zu testen und Rückmeldungen zur Benutzerfreundlichkeit zu erhalten.

Zudem basierte die Evaluation des Prototyps auf einer kleinen Stichprobe, die sowohl Expert:innen als auch potenzielle Nutzer:innen berücksichtigte. Zwar konnten dadurch unterschiedliche Meinungen eingeholt werden, jedoch bleibt die Aussagekraft der Ergebnisse begrenzt. Die geringe Anzahl an Teilnehmer:innen schränkt die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse ein. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Teilnehmenden aus dem persönlichen Umfeld des Autors stammten und die Evaluation des Prototyps in einem Labor-Setting stattgefunden hat. Durch diese Verlegung aus dem persönlichen Umfeld rein ins Labor konnten potenzielle Störvariablen reduziert werden, dennoch mag dies die ökologische Validität der Erkenntnisse einschränken.

Ein weiterer limitierender Aspekt betrifft letztlich die Beteiligung von Expert:innen während der Entwicklung des Prototyps. Zwar konnten zwei Expert:innen direkt in den Prozess miteinbezogen werden, beteiligten sich jedoch in unterschiedlichen Phasen. Die Meinung eines Experten wurde für die Ableitung des Anwendungsfalls berücksichtigt und die Expertise der zweiten Person floss in die Entwicklung der Wireframes und der Implementierung. Diese Expertise war wertvoll für die Gestaltung des Prototyps, jedoch kann die Sichtweise zweier Experten möglicherweise nicht ausreichend sein, um die Geschäftsziele und technischen Herausforderungen anderer Energieversorger in Gänze zu widerspiegeln.

8. Fazit

Diese Masterarbeit befasste sich mit den Chancen und Risiken, die sich aus der Digitalisierung des Energiesektors für die Energiedienstleister ergeben. Ziel dieser Arbeit war es, sowohl die Chancen als auch die Herausforderungen für Energiedienstleister aufzuzeigen und einen Prototypen vorzustellen, der diese neuen Möglichkeiten nutzt und gleichzeitig die Herausforderungen berücksichtigt. Um ein tieferes Verständnis zu erhalten, wurden Expert:innen aus dem Energiesektor miteinbezogen. Dies erfolgte mithilfe von Interviews, wobei die Expert:innen ihre Sichtweise zur Digitalisierung preisgaben. Besonders berücksichtigt wurde dabei die Technologie Smart Meter und deren Auswirkungen auf die Energiedienstleister.

Die Analyse hat gezeigt, dass die Digitalisierung im Energiesektor bereits im vollen Gange ist. Eine zentrale Rolle kommt dabei dem Smart Meter zu. Der Smart Meter macht nicht nur eine präzise Erfassung von Verbrauchsdaten möglich, sondern kann auch einen wesentlichen Beitrag zur Stabilisierung des Energiesystems leisten [11]. Mit Hilfe von Smart Metern und deren Erfassung von granularen Verbrauchsdaten können Prognosemodelle erheblich verbessert werden. Auch kann durch den Einsatz der Smart Meter Nachfrage und Angebot besser ausbalanciert und gesteuert werden. Damit können die Energiedienstleister besser auch in Zukunft die Versorgungssicherheit gewährleisten [73].

Auch die Expert:innen-Interviews haben gezeigt, dass durch die Einführung der Smart Meter und den verbundenen Daten sich neue Geschäftsmodelle entwickeln lassen. Beispielfhaft wurden unter anderem dynamische Tarifmodelle oder digitale Plattformdienste erwähnt. Smart Meter schaffen dabei die Grundlage für transparente und granulare Verbrauchsdaten. Diese Daten können dann von Energiedienstleistern aufbereitet werden. Anschließend können die aufbereiteten Daten den Verbraucher:innen über digitale Plattformdienste, wie zum Beispiel der entwickelte Prototyp, bereitgestellt werden. Dadurch haben Verbraucher:innen die Möglichkeit, ihren Energieverbrauch besser zu verstehen und können so gezielt ihren Verbrauch anpassen.

Die Analyse hat auch aufgezeigt, dass trotz der Chancen immer noch einige Herausforderungen bestehen. Dazu zählen die Datenverwaltung [70], Interoperabilität [38] und die Integration in bestehende Systeme [22]. Aber auch die regulatorischen Rahmenbedingungen werden oft als Hindernis von den Energiedienstleistern wahrgenommen. Jedoch ist zu betonen, dass diese regulatorischen Rahmenbedingungen essenziell sind. Sie sind ausschlaggebend, den rechtskonformen Umgang mit sensiblen Energiedaten zu gewährleisten und um das Vertrauen der Verbraucher:innen zu stärken. Im Rahmen dieser Arbeit, mit den durchgeführten Expert:innen-Interviews, kristallisierte sich auch heraus, dass die geringe Akzeptanz auf Seiten der Verbraucher:innen eine zentrale Herausforderung darstellt. Datenschutzbedenken, mangelndes Verständnis für die Funktionsweise und die fehlende Wahrnehmung gegenüber der Nützlichkeit von Smart Meter, führen dazu, dass

8. Fazit

viele Chancen in der Praxis nicht voll ausgeschöpft werden können. Diese Erkenntnisse zeigen, dass viele Probleme in der Praxis mit der Nutzung des Smart Meters weiter bestehen. Auf dieser Grundlage war das Ziel dieser Arbeit, einen digitalen Prototyp zu konzeptualisieren, der die identifizierten Herausforderungen adressiert.

Die Evaluation des Prototyps hat gezeigt, dass so eine Anwendung als potenziell nützlich wahrgenommen wird. Des Weiteren hat die Evaluation gezeigt, dass durch eine verständliche Aufbereitung der Daten sowie die Kombination aus verschiedenen Elementen wie Text, Symbolen und Farben das Verständnis gegenüber Verbrauchsdaten gefördert werden kann. Diese kleinen Hilfestellungen für die Interpretation der Verbrauchsdaten können dabei einen konkreten Mehrwert verschaffen. Letztens zeigen die Rückmeldungen der Teilnehmenden, dass der Prototyp zur Sensibilisierung und aktiven Auseinandersetzung mit dem eigenen Energieverbrauch eingesetzt werden kann. Es wurde aber auch ersichtlich, dass für eine langfristige Nutzung und breite Akzeptanz kontinuierlich Weiterentwicklungen und nutzenorientierte Anpassungen erforderlich sind. Zusammenfassend ist die Evaluation als erstes Indiz zu verstehen, die wichtige Hinweise auf den Mehrwert sowie Weiterentwicklungsmöglichkeiten liefert.

Die Arbeit zeigt insgesamt, dass die Digitalisierung des Energiesektors ausschlaggebend für ein zukunftsfähiges Energiesystem ist. Von der Datenerfassung bis hin zu digitalen Services sind die Smart Meter ein zentrales Element für den Energiesektor und haben erheblichen Anteil an der Sicherung der Systemstabilität. Gleichzeitig bedarf es an politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen, um bestehende Hindernisse zu reduzieren und digitale Lösungen zu fördern.

8.1. Mögliche nächste Schritte

Die in dieser Arbeit durchgeführte Evaluierung der Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor aus Sicht eines Energiedienstleisters bilden eine fundierte Grundlage für weiterführende Projekte. Ein möglicher nächster Schritt besteht darin, die Ergebnisse auf einen größeren Maßstab zu übertragen, insbesondere durch die Einbindung weiterer Energiedienstleister, um die Generalisierbarkeit zu prüfen.

Zudem sollte der Prototyp weiterentwickelt werden. Als Erstes sollten die Rückmeldungen der Teilnehmenden für weitere Design-Iterationen aufgegriffen werden. Diesbezüglich sollte man die Probleme und die vorgeschlagenen Erweiterungen analysieren. Ein wichtiger weiterer Schritt wäre, den Prototypen mit realen Energiedaten zu verknüpfen, da zurzeit mit Pseudodaten gearbeitet wird. Durch die Nutzung von realen Energiedaten kann der Prototyp eine realistischere Interaktion der Nutzer:innen mit dem tatsächlichen Energieverbrauch ermöglichen. Außerdem sollte man in den nächsten Schritten unvollständige Datensätze wie fehlende Messwerte oder generierte Ersatzwerte berücksichtigen. Diese sollten nicht nur technisch verarbeitet werden, sondern auch in der Visualisierung transparent gemacht werden. Dies kann unter anderem durch visuelle Heraushebungen und Markierungen sowie auffälligen Hinweisen erfolgen. Auf diese Weise könnte die Aussagekraft der Darstellung und die Transparenz gegenüber den Nutzer:innen erhöht werden.

Des Weiteren könnte eine breitere empirische Evaluierung in realen Nutzungskontexten

einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, valide Aussagen bezüglich Nutzbarkeit, Akzeptanz und tatsächliche Wirkung zu treffen. Beispielsweise könnte der Prototyp von potenziellen Nutzer:innen über einen längeren Zeitraum im alltäglichen Gebrauch getestet werden. Zuerst mit einer kleinen Anzahl an Teilnehmer:innen und diese dann schrittweise erhöhen, um mehrere Rückmeldungen zu erhalten. Basierend auf diesen Rückmeldungen könnte dann der Prototyp weiterentwickelt werden, um den Bedürfnissen und Anforderungen der Verbraucher:innen gerecht zu werden.

Abschließend könnten noch gezielte Maßnahmen gesetzt werden, um die Nutzerakzeptanz zu steigern. Die Ergebnisse zeigen, dass es immer noch erhebliche Bedenken gegenüber neuer Technologien auf der Seite von Verbraucher:innen gibt. Die Maßnahmen könnten wie folgt aussehen: Eine transparente Information, die sich nicht nur auf technische Details beschränkt, sondern auch konkrete Anwendungsbeispiele und mögliche Erleichterungen im Alltag aufzeigt, könnte helfen, bestehende Informationslücken zu verringern. Dabei geht es nicht darum, Skepsis grundsätzlich abzubauen, sondern Verbraucher:innen eine fundierte und nachvollziehbare Grundlage für ihre eigene Meinungsbildung zu bieten. Langfristig könnte dies dazu beitragen, datenbasierte Dienstleistungen differenzierter zu bewerten und die Einführung neuer Technologien verständlicher zu gestalten.

Literaturverzeichnis

- [1] Ahmed A. Abdullah and Tarek M. Hassan. Smart grid (SG) properties and challenges: an overview. *Discover Energy*, 2(1):8, November 2022.
- [2] Fredrik Ege Abrahamsen, Yun Ai, and Michael Cheffena. Communication Technologies for Smart Grid: A Comprehensive Survey. *Sensors*, 21(23):8087, December 2021.
- [3] Victoria Akberdina and Ainur Osmonova. Digital transformation of energy sector companies. *E3S Web of Conferences*, 250:06001, 2021.
- [4] Fadi Al-Turjman and Mohammad Abujubbeh. IoT-enabled smart grid via SM: An overview. *Future Generation Computer Systems*, 96:579–590, July 2019.
- [5] Zainab Al-Waisi and Michael Opoku Agyeman. On the Challenges and Opportunities of Smart Meters in Smart Homes and Smart Grids. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control*, pages 1–6, Stockholm Sweden, September 2018. ACM.
- [6] Ibrahim Alotaibi, Mohammed A. Abido, Muhammad Khalid, and Andrey V. Savkin. A Comprehensive Review of Recent Advances in Smart Grids: A Sustainable Future with Renewable Energy Resources. *Energies*, 13(23):6269, November 2020.
- [7] Sultan Hamad Alsaiani, Saad Alsulami, Yaser Asiri, and Nithiyananthan Kannan. Smart Meters Based Household Electricity Consumption. In *2022 International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT)*, pages 1–8, Belgaum, India, November 2022. IEEE.
- [8] Muhammad Rizwan Asghar, Gyorgy Dan, Daniele Miorandi, and Imrich Chlamtac. Smart Meter Data Privacy: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4):2820–2835, 2017.
- [9] Danielly B. Avancini, Joel J.P.C. Rodrigues, Simion G.B. Martins, Ricardo A.L. Rabêlo, Jalal Al-Muhtadi, and Petar Solic. Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*, 217:702–715, April 2019.
- [10] Alireza Bahmanyar, Sadegh Jamali, Abouzar Estebarsari, Enrico Pons, Ettore Bompard, Edoardo Patti, and Andrea Acquaviva. Emerging smart meters in electrical distribution systems: Opportunities and challenges. In *2016 24th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, pages 1082–1087, Shiraz, May 2016. IEEE.

- [11] Gouri R. Barai, Sridhar Krishnan, and Bala Venkatesh. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review. In *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, pages 138–145, London, ON, Canada, October 2015. IEEE.
- [12] M. Bauer, A. Hoeltl, and R. Brandtweiner. Greener households? the effectiveness of smart meters in reducing energy consumption levels in the Dach region. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(02):258–267, February 2018.
- [13] Otilia Bularca, Monica Florea, and Ana-Maria Dumitrescu. Smart metering deployment status across EU-28. In *2018 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, pages 1–6, Bucharest, Romania, November 2018. IEEE.
- [14] Richard J Campbell. The Smart Grid: Status and Outlook. April 2018.
- [15] Dogan Celik, Mehmet Emin Meral, and Muhammad Waseem. A New Area Towards to Digitalization of Energy Systems: Enables, Challenges and Solutions. In *2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, pages 1–6, Ploiesti, Romania, June 2022. IEEE.
- [16] Zhiyi Chen, Ali Moradi Amani, Xinghuo Yu, and Mahdi Jalili. Control and Optimisation of Power Grids Using Smart Meter Data: A Review. *Sensors*, 23(4):2118, February 2023.
- [17] Stanislav Chren, Bruno Rossi, and Tomas Pitner. Smart grids deployments within EU projects: The role of smart meters. In *2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, pages 1–5, Prague, Czech Republic, May 2016. IEEE.
- [18] Victoria Clarke and Virginia Braun. Thematic analysis. *The Journal of Positive Psychology*, 12(3):297–298, 2017.
- [19] Ilhami Colak, Ramazan Bayindir, and Seref Sagiroglu. The Effects of the Smart Grid System on the National Grids. In *2020 8th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)*, pages 122–126, Paris, France, June 2020. IEEE.
- [20] Soma Shekara Sreenadh Reddy Depuru, Lingfeng Wang, Vijay Devabhaktuni, and Nikhil Gudi. Smart meters for power grid — challenges, issues, advantages and status. In *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, pages 1–7, 2011.
- [21] Maria Luisa Di Silvestre, Salvatore Favuzza, Eleonora Riva Sanseverino, and Gaetano Zizzo. How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93:483–498, October 2018.

- [22] Illia Diahovchenko, Michal Kolcun, Zsolt Čonka, Volodymyr Savkiv, and Roman Mykhailyshyn. Progress and Challenges in Smart Grids: Distributed Generation, Smart Metering, Energy Storage and Smart Loads. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, 44(4):1319–1333, December 2020.
- [23] G. Dileep. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146:2589–2625, February 2020.
- [24] Costas Efthymiou and Georgios Kalogridis. Smart Grid Privacy via Anonymization of Smart Metering Data. In *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, pages 238–243, Gaithersburg, MD, USA, October 2010. IEEE.
- [25] Musadag El Zein and Girma Gebresenbet. Digitalization in the Renewable Energy Sector. *Energies*, 17(9):1985, April 2024.
- [26] European Commission and Directorate-General for Energy. *Clean energy for all Europeans*. Publications Office, 2019.
- [27] European Commission (Joint Research Centre). *Clean Energy Technology Observatory, Smart grids in the European union – Status report on technology development, trends, value chains and markets – 2023*. Publications Office, LU, 2023.
- [28] European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators. Demand response and other distributed energy resources: what barriers are holding them back? Technical report, European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators, December 2023.
- [29] Europäische Kommission. Digitalisierung des energiesystems – eu-aktionsplan, 2022. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2022) 552 final.
- [30] Europäische Union. Richtlinie 2009/72/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 2003/54/EG, 2009.
- [31] M. Faheem, S.B.H. Shah, R.A. Butt, B. Raza, M. Anwar, M.W. Ashraf, Md.A. Ngadi, and V.C. Gungor. Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: Opportunities and challenges. *Computer Science Review*, 30:1–30, November 2018.
- [32] Karan Gandhi and Hari Om Bansal. Smart Metering in electric power distribution system. In *2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)*, pages 1–6, Jabalpur, India, December 2013. IEEE.
- [33] Stergios I. Gerasopoulos, Nikolaos M. Manousakis, and Constantinos S. Psomopoulos. Smart metering in EU and the energy theft problem. *Energy Efficiency*, 15(1):12, January 2022.

- [34] Nils Hellmuth and Eva-Maria Jakobs. Informiertheit und Datenschutz beim Smart Metering. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 44(1):15–29, March 2020.
- [35] Kaisa Huhta. The scope of state sovereignty under article 194(2) TFEU and the evolution of EU competences in the energy sector. *International and Comparative Law Quarterly*, 70(4):991–1010, October 2021.
- [36] Hilary Hutchinson, Wendy Mackay, Bo Westerlund, Benjamin B. Bederson, Allison Druin, Catherine Plaisant, Michel Beaudouin-Lafon, Stéphane Conversy, Helen Evans, Heiko Hansen, Nicolas Roussel, and Björn Eiderbäck. Technology probes: inspiring design for and with families. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, page 17–24, New York, NY, USA, 2003. Association for Computing Machinery.
- [37] Nur IqtiyaniIham, M. Hasanuzzaman, and M. Hosenuzzaman. European smart grid prospects, policies, and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67:776–790, January 2017.
- [38] Valentina Janev, Maria Esther Vidal, Kemele Endris, and Dea Pujic. Managing Knowledge in Energy Data Spaces. In *Companion Proceedings of the Web Conference 2021*, pages 7–15, Ljubljana Slovenia, April 2021. ACM.
- [39] Jixuan Zheng, David Wenzhong Gao, and Li Lin. Smart Meters in Smart Grid: An Overview. In *2013 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, pages 57–64, Denver, CO, April 2013. IEEE.
- [40] Moses Jeremiah Barasa Kabeyi and Oludolapo Akanni Olanrewaju. The Use of Smart Grids in the Energy Transition. In *2022 30th Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC)*, pages 1–8, Durban, South Africa, January 2022. IEEE.
- [41] Mrunal M. Kapse, Nilofar R. Patel, Shruti K. Narayankar, Prof. Sachin A. Malvekar, and Dr. Kazi Kutubuddin Sayyad Liyakat. Smart Grid Technology. *International Journal of Information technology and Computer Engineering*, (26):10–17, October 2022.
- [42] Tarun Kataray, B. Nitesh, Bharath Yarram, Sanyukta Sinha, Erdem Cuce, Saboor Shaik, Pethurajan Vigneshwaran, and Abin Roy. Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges – A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 58:103363, August 2023.
- [43] Frank Keuper, Kiumars Hamidian, Eric Verwaayen, Torsten Kalinowski, and Christian Kraijo, editors. *Digitalisierung und Innovation: Planung - Entstehung - Entwicklungsperspektiven*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013.
- [44] Tobias Knayer and Natalia Kryvinska. An analysis of smart meter technologies for efficient energy management in households and organizations. *Energy Reports*, 8:4022–4040, November 2022.

- [45] Jonathan Lazar, Jinjuan Heidi Feng, and Harry Hochheiser. *Research Methods in Human-Computer Interaction*. Morgan Kaufmann, Cambridge, MA, 2nd edition, 2017.
- [46] Ruofei Ma, Hsiao-Hwa Chen, Yu-Ren Huang, and Weixiao Meng. Smart Grid Communication: Its Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(1):36–46, March 2013.
- [47] Tobias Matuschik-Weiss. Requirements, Design Principles & Design Features zur Entwicklung von nutzerzentrierten Energy Information Systems im Privatkundenbereich. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 60(4):872–891, August 2023.
- [48] Christopher Meinecke. *Potentiale und Grenzen von Smart Metering*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017.
- [49] Jesús Jaime Moreno Escobar, Oswaldo Morales Matamoros, Ricardo Tejeida Padilla, Ixchel Lina Reyes, and Hugo Quintana Espinosa. A Comprehensive Review on Smart Grids: Challenges and Opportunities. *Sensors*, 21(21):6978, October 2021.
- [50] Zahra Nazari and Petr Musilek. Impact of Digital Transformation on the Energy Sector: A Review. *Algorithms*, 16(4):211, April 2023.
- [51] A.G. Olabi, Mohammad Ali Abdelkareem, and Hussam Jouhara. Energy digitalization: Main categories, applications, merits, and barriers. *Energy*, 271:126899, May 2023.
- [52] M.A. Ponce-Jara, E. Ruiz, R. Gil, E. Sancristóbal, C. Pérez-Molina, and M. Castro. Smart Grid: Assessment of the past and present in developed and developing countries. *Energy Strategy Reviews*, 18:38–52, December 2017.
- [53] Shashini Rajaguru, Björn Johansson, and Malin Granath. Exploring Smart Meters: What We Know and What We Need to Know. In Knut Hinkelmann, Francisco J. López-Pellicer, and Andrea Polini, editors, *Perspectives in Business Informatics Research*, volume 493, pages 105–120. Springer Nature Switzerland, Cham, 2023. Series Title: Lecture Notes in Business Information Processing.
- [54] Yousaf Murtaza Rind, Muhammad Haseeb Raza, Muhammad Zubair, Muhammad Qasim Mehmood, and Yehia Massoud. Smart Energy Meters for Smart Grids, an Internet of Things Perspective. *Energies*, 16(4):1974, February 2023.
- [55] M. Usman Saleem, M. Rehan Usman, and Mustafa Shakir. Design, Implementation, and Deployment of an IoT Based Smart Energy Management System. *IEEE Access*, 9:59649–59664, 2021.
- [56] Surender Reddy Salkuti. Challenges, issues and opportunities for the development of smart grid. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(2):1179, April 2020.

- [57] Daniel R. A. Schallmo and Christopher A. Williams. *Digital Transformation Now!* SpringerBriefs in Business. Springer International Publishing, Cham, 2018.
- [58] Leonhard Schitter. Klimaziele nur mit Digitalisierung zu erreichen: Umbau des Energiesystems als größtes Infrastrukturprojekt des Jahrhunderts. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 137(7):375–378, November 2020.
- [59] Hossein Shahinzadeh and Ayla Hasanalizadeh-Khosroshahi. Implementation of Smart Metering Systems: Challenges and Solutions. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(7):5104–5109, July 2014.
- [60] Grace Shin, Yuanyuan Feng, Mohammad Hossein Jarrahi, and Nicci Gafinowitz. Beyond novelty effect: a mixed-methods exploration into the motivation for long-term activity tracker use. *JAMIA Open*, 2(1):62–72, 12 2018.
- [61] Katharina Sigl, editor. *Nachhaltigkeit und Digitalisierung – (k)ein unternehmerisches Dilemma: Zukunftsbilder und Impulsberichte*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2023.
- [62] Barbara Siuta-Tokarska, Sylwia Kruk, Paweł Krzemiński, Agnieszka Thier, and Katarzyna Żmija. Digitalisation of Enterprises in the Energy Sector: Drivers—Business Models—Prospective Directions of Changes. *Energies*, 15(23):8962, November 2022.
- [63] Valentina Timčenko, Slavica Boštjančič Rakas, Milenko Kabović, and Anka Kabović. Digitalization in Power Energy Sector: Principles of Cybersecurity. In *2023 30th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, pages 1–5, Ohrid, North Macedonia, June 2023. IEEE.
- [64] Martin Trinker. *Smart Metering: das Datenmanagement der digitalen Verbrauchserfassung*. Diplomica Verlag, Hamburg, 2013.
- [65] Rafał Trzaska, Adam Sulich, Michał Organa, Jerzy Niemczyk, and Bartosz Jasiński. Digitalization Business Strategies in Energy Sector: Solving Problems with Uncertainty under Industry 4.0 Conditions. *Energies*, 14(23):7997, November 2021.
- [66] Pol Van Aubel and Erik Poll. Smart metering in the Netherlands: What, how, and why. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 109:719–725, July 2019.
- [67] Piyush Verma, Romanas Savickas, Jens Strüker, Stefan Buettner, Ole Kjeldsen, and Xiao Wang. Digitalization: enabling the new phase of energy efficiency. 2020.
- [68] Tamilmaran Vijayapriya and Dwarkadas Pralhadas Kothari. Smart Grid: An Overview. *Smart Grid and Renewable Energy*, 02(04):305–311, 2011.
- [69] Silvia Vitiello, Nikoleta Andreadou, Mircea Ardelean, and Gianluca Fulli. Smart Metering Roll-Out in Europe: Where Do We Stand? Cost Benefit Analyses in the Clean Energy Package and Research Trends in the Green Deal. *Energies*, 15(7):2340, March 2022.

- [70] Yi Wang, Qixin Chen, Tao Hong, and Chongqing Kang. Review of Smart Meter Data Analytics: Applications, Methodologies, and Challenges. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3):3125–3148, May 2019.
- [71] Merrill Warkentin, Sanjay Goel, and Philip Menard. Shared Benefits and Information Privacy: What Determines Smart Meter Technology Adoption? *Journal of the Association for Information Systems*, 18(11):758–786, December 2017.
- [72] Paul Weigel and Manfred Fishedick. Review and Categorization of Digital Applications in the Energy Sector. *Applied Sciences*, 9(24):5350, December 2019.
- [73] B. Yildiz, J.I. Bilbao, J. Dore, and A.B. Sproul. Recent advances in the analysis of residential electricity consumption and applications of smart meter data. *Applied Energy*, 208:402–427, December 2017.
- [74] Rui Yuan, S. Ali Pourmousavi, Wen L. Soong, Andrew J. Black, Jon A.R. Liisberg, and Julian Lemos-Vinasco. Unleashing the benefits of smart grids by overcoming the challenges associated with low-resolution data. *Cell Reports Physical Science*, 5(2):101830, February 2024.
- [75] Kenneth K. Zame, Christopher A. Brehm, Alex T. Nitica, Christopher L. Richard, and Gordon D. Schweitzer Iii. Smart grid and energy storage: Policy recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:1646–1654, February 2018.
- [76] Shan Zhou and Marilyn A. Brown. Smart meter deployment in Europe: A comparative case study on the impacts of national policy schemes. *Journal of Cleaner Production*, 144:22–32, February 2017.
- [77] Justyna Światowiec Szczepańska and Beata Stępień. Drivers of Digitalization in the Energy Sector—The Managerial Perspective from the Catching Up Economy. *Energies*, 15(4):1437, February 2022.

A. Appendix

A.1. Experteninterviews: Interview-Leitfaden

1. Einleitung: Aufgabenbereich

- Können Sie kurz Ihren Aufgabenbereich umreißen?
- Welche Rolle spielt die Digitalisierung der Stromdaten für Sie und für das Unternehmen?
- Wie ist Ihr Unternehmen organisatorisch darauf vorbereitet, die Möglichkeiten der Digitalisierung der Stromdaten auszuschöpfen?

2. Allgemeine Erfahrungen mit Smart Metern

- Wie haben Sie die Einführung der Smart Meter miterlebt?
- Wann kommen Sie mit Smart Meter oder deren Messdaten in Berührung?

3. Nutzung von Smart Meter Daten

- In welcher Situation oder aus welchem Grund sind Smart Meter nützlich für Sie?
- Welche spezifischen Daten aus den Smart Metern sind für Ihre Arbeit am wertvollsten?
- Gibt es konkrete Projekte, bei denen Smart Meter Daten zu einer verbesserten Energieversorgung oder Kundenbindung beigetragen haben?
- Gibt es noch weitere Anwendungen für Smart Meter und ihre Daten in Ihrer Firma?

4. Herausforderungen von Smart Meter Daten

- In welchen Situationen oder aus welchen Gründen bereiten Ihnen Smart Meter Probleme?
- Welche Schwierigkeiten gab es beim Rollout der Smart Meter, und wie wurden diese bewältigt?
- Gab es wirtschaftliche Hindernisse, die bei der Einführung und Nutzung von Smart Metern überwunden werden mussten?
- Gibt es Anwendungsfälle oder Datenanalysen, die Sie bisher nicht umsetzen konnten, weil technische oder regulatorische Rahmenbedingungen fehlen?

A. Appendix

- Haben Sie Bedenken hinsichtlich der Akzeptanz von Smart Metern bei Ihren Kunden? Wie gehen Sie damit um?

5. Kundenperspektive und Kommunikation

- Inwiefern verändern Smart Meter die Art und Weise, wie Sie mit Ihren Kunden interagieren?
- Wie reagieren Ihre Kunden auf die Einführung und Nutzung von Smart Metern? Gibt es häufig positives oder negatives Feedback?
- Welche Maßnahmen ergreifen Sie, um Ihre Kunden über die Vorteile und Einsatzmöglichkeiten der Smart Meter zu informieren?
- Welche Rolle spielen die Kunden bei der Gestaltung und Weiterentwicklung der Smart Meter Lösungen?

6. Chancen und Potenziale

- Welche neuen Technologien sehen Sie als besonders vielversprechend im Zusammenhang mit der Nutzung von Smart Meter Daten?
- Welche zukünftigen Anwendungsfälle könnten durch die weitere Digitalisierung der Stromdaten ermöglicht werden?
- Gibt es konkrete Ziele oder Projekte in Ihrem Unternehmen, die die Nutzung von Smart Meter Daten weiter ausbauen sollen?

7. Zukunftsperspektiven

- Was würden Sie an der aktuellen Smart Meter Infrastruktur ändern oder verbessern?
- Welche Faktoren würden Ihnen helfen, die Digitalisierung der Stromdaten weiter zu beschleunigen?

A.2. Experteninterviews: Einverständniserklärung

Sehr geehrte/r Teilnehmer/in,

im Rahmen meiner Masterarbeit an der Universität Wien führe ich Interviews durch, um Einblicke in das Thema Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung der Stromdaten aus Sicht des Energiedienstleisters zu gewinnen. Ich bitte Sie, diese Einverständniserklärung sorgfältig zu lesen und zu unterzeichnen, wenn Sie mit der Teilnahme einverstanden sind.

Informationen zur Studie

1. Zweck der Studie:

Die Daten werden ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet. Ihre Teilnahme unterstützt meine Forschung zum Thema Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung der Stromdaten aus Sicht des Energiedienstleisters.

2. Aufzeichnung des Interviews:

Das Interview wird in voller Länge aufgezeichnet, um eine präzise Auswertung der Ergebnisse zu ermöglichen. Die Aufzeichnungen dienen ausschließlich der Transkription und Analyse und werden nach Abschluss der Masterarbeit bzw. nach Ablauf der gesetzlichen Aufbewahrungsfristen gelöscht.

3. Freiwilligkeit:

Ihre Teilnahme an diesem Interview ist freiwillig. Sie können die Teilnahme jederzeit und ohne Angabe von Gründen abbrechen, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen.

4. Anonymisierung:

Ihre Daten und Aussagen werden anonymisiert und vertraulich behandelt. Persönliche Angaben werden so verarbeitet, dass eine Rückverfolgung Ihrer Identität ausgeschlossen ist.

5. Dauer des Interviews:

Das Interview wird ca. 60–90 Minuten in Anspruch nehmen.

Ihre Rechte

- Sie haben das Recht, jederzeit Fragen zu stellen.
- Sie können auch nach dem Interview verlangen, dass Ihre Daten aus der Studie entfernt werden.

Kontaktinformation

Bei Fragen zur Studie, zur Verarbeitung Ihrer Daten oder wenn Sie Ihre Teilnahme widerrufen möchten, können Sie sich jederzeit an mich wenden:

Name: anonymisiert

E-Mail: anonymisiert

Einverständniserklärung

Ich, _____, habe die obenstehenden Informationen gelesen und verstanden.

Ich erkläre mich bereit, an dem Interview teilzunehmen und stimme der Aufzeichnung sowie der Verarbeitung meiner Daten unter den genannten Bedingungen zu.

Ort, Datum: _____

Unterschrift des Teilnehmers/der Teilnehmerin: _____

A.3. Evaluation: Interview-Leitfaden

Teilnehmer:in ID: _____

Datum: _____

Organisatorische Schritte vor Beginn der Prototypen-Evaluation (nicht sichtbar für Teilnehmende)

- Begrüßung der Testperson und kurze Einführung in das Thema der Studie.
 - Die Testperson wird gebeten, die Einwilligungserklärung zur Teilnahme sorgfältig zu lesen und zu unterschreiben.
 - Hinweis, dass die Teilnahme freiwillig ist und das Interview jederzeit ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden kann.
 - Beginn des Interviews, sobald alle organisatorischen und technischen Voraussetzungen erfüllt sind.
-

1. Soziodemografische Angaben

- 1.1 Was ist Ihre derzeitige berufliche Tätigkeit bzw. Ihr Tätigkeitsfeld?
 - 1.2 Welcher Altersgruppe gehören Sie an?
 - unter 18 Jahre
 - 18–24 Jahre
 - 25–34 Jahre
 - 35–44 Jahre
 - 45–54 Jahre
 - 55–64 Jahre
 - 65 Jahre oder älter
 - Keine Angabe
 - 1.3 Was ist Ihr Geschlecht?
 - Weiblich
 - Männlich
 - Nicht-binär
 - Keine Angabe
 - Sonstiges: _____
-

A. Appendix

2. Aufgaben zur Interaktion mit dem Prototyp

Hinweis für die Testperson: Während der folgenden Aufgaben bitten wir Sie, laut zu denken. Sagen Sie, was Sie gerade tun, was Sie erwarten, und wenn etwas unklar oder überraschend ist. Es gibt kein „richtig“ oder „falsch“. Wir interessieren uns für Ihre Gedanken während der Nutzung.

A. Stromverbrauch

2.1 Heutigen Stromverbrauch erkunden (Dashboard): Öffnen Sie das Dashboard. Was fällt Ihnen an Ihrem heutigen Stromverbrauch auf?

2.2 Tagesverlauf betrachten (Tagesansicht): Schauen Sie sich den Verbrauchsverlauf des heutigen Tages an. Gibt es bestimmte Muster oder Zeiträume mit erhöhtem Verbrauch?

B. Verbrauchsvergleiche über Zeiträume hinweg

2.3 Zwei Tage vergleichen: Vergleichen Sie den Stromverbrauch an zwei verschiedenen Tagen, z. B. am 14.07. und 01.08.2025. Welche Unterschiede stellen Sie fest?

2.4 Wochenübersicht analysieren: Vergleichen Sie die Kalenderwochen 31 und 29. Welche Trends oder Auffälligkeiten erkennen Sie?

2.5 Monatliche Entwicklung nachvollziehen: Werfen Sie einen Blick auf Mai und Juli 2025. Gibt es Veränderungen oder Muster, die Ihnen auffallen?

2.6 Langfristige Entwicklung beobachten (Jahresvergleich): Vergleichen Sie die Jahre 2024 und 2025. Wie hat sich Ihr Stromverbrauch über die Zeit verändert?

C. Alltagsbezug

2.7 FunFacts überprüfen: Schauen Sie sich die FunFacts an. Welche Umrechnung in Alltagsbeispiele fällt Ihnen besonders auf oder überrascht Sie?

D. Tarifvergleich

2.8 Stromtarife vergleichen: Vergleichen Sie zwei angebotene Tarife. Welcher erscheint Ihnen sinnvoller für Ihren Verbrauch – und warum?

E. Informationsmodul (Smart Meter)

2.9 Informationen zum Smart Meter erkunden: Nutzen Sie das Informationsangebot der App, um sich über Smart Meter zu informieren. Was lernen Sie dabei?

3. Interviewfragen

Hinweis: Die folgenden Fragen sind je nach Zielgruppe differenziert formuliert und in zwei Versionen dargestellt: eine für Nutzer:innen (A) und eine für Expert:innen (B).

A. Allgemeiner Ersteindruck

Für Nutzer:innen:

- 3.1a Was war Ihr erster Eindruck von der Anwendung?
- 3.2a Wie leicht oder schwer fiel es Ihnen, sich zu Beginn in der Anwendung zurechtzufinden?

Für Expert:innen:

- 3.1b Welchen ersten Eindruck könnte der Prototyp aus Ihrer Sicht bei typischen Endnutzer:innen hinterlassen?
 - 3.2b Inwiefern erscheint Ihnen die Anwendung auf den ersten Blick verständlich und selbsterklärend? Warum (nicht)?
-

B. Nutzerfreundlichkeit & Orientierung

Für Nutzer:innen:

- 3.3a Wie gut konnten Sie sich innerhalb der App zurechtfinden?
- 3.4a Gab es Stellen, an denen Sie sich unsicher oder orientierungslos fühlten?

Für Expert:innen:

- 3.3b Wie beurteilen Sie die Benutzerführung? Wirkt die Navigation auf Sie klar, logisch und benutzerfreundlich?
 - 3.4b Wo sehen Sie konkretes Verbesserungspotenzial bei der Struktur oder Führung durch die Anwendung?
-

A. Appendix

C. Verständlichkeit & Visualisierung

Für Nutzer:innen:

- 3.5a Waren die dargestellten Informationen und Grafiken für Sie verständlich?
- 3.6a Gab es Begriffe, Symbole oder Inhalte, die unklar waren?

Für Expert:innen:

- 3.5b Wie beurteilen Sie die Visualisierung der Energiedaten?
 - 3.6b Sind die Grafiken und Begriffe Ihrer Meinung nach für Nutzer:innen einfach und verständlich dargestellt?
-

D. Nutzen & Relevanz

Für Nutzer:innen:

- 3.7a Welche Funktionen empfanden Sie als besonders hilfreich oder interessant?
- 3.8a Gab es Inhalte oder Bereiche, die Sie als überflüssig empfanden?

Für Expert:innen:

- 3.7b Welche Funktionen halten Sie aus fachlicher Sicht für besonders nützlich?
 - 3.8b Welche Elemente würden Sie ggf. reduzieren oder weglassen?
-

E. Motivation & Nutzungspotenzial

Für Nutzer:innen:

- 3.9a Würden Sie die App regelmäßig nutzen? Warum (nicht)?
- 3.10a Hat die Nutzung der App Ihr Interesse am Stromverbrauch oder Einsparpotenzial verändert?

Für Expert:innen:

- 3.9b Halten Sie eine regelmäßige Nutzung der App durch typische Endnutzer:innen für realistisch?
 - 3.10b In welchen Anwendungsfeldern sehen Sie konkretes Potenzial für den Einsatz dieser App?
-

F. Offenes Feedback

Für Nutzer:innen:

- 3.11a Welche Verbesserungen oder Erweiterungen würden Sie sich wünschen?
- 3.12a Gibt es sonst noch etwas, das Sie zur App oder zum Test anmerken möchten?

Für Expert:innen:

- 3.11b Welche Weiterentwicklungen wären aus Ihrer Sicht sinnvoll?
 - 3.12b Haben Sie weiteres Feedback zur Funktionalität oder Nutzbarkeit des Prototyps?
-

F. Offenes Feedback

- 3.13 Möchten Sie noch etwas ergänzen?
-

A.4. Evaluation: Einverständniserklärung

Sehr geehrte/r Teilnehmer/in,

im Rahmen meiner Masterarbeit an der Universität Wien führe ich eine Evaluation der Benutzerfreundlichkeit eines digitalen Prototyps sowie begleitende Interviews durch, um Einblicke in die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung im Energiesektor zu gewinnen. Ich bitte Sie, die folgenden Informationen aufmerksam zu lesen und zu unterzeichnen, wenn Sie mit der Teilnahme einverstanden sind.

Informationen zur Studie

1. Zweck der Studie:

Die erhobenen Daten dienen ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken im Rahmen der Masterarbeit. Ziel ist es, Rückschlüsse auf Verständlichkeit, Nutzerfreundlichkeit und Anwendungspotenziale eines digitalen Energiedashboards zu ziehen.

2. Aufzeichnung des Interviews:

Ihre Nutzung des Prototyps sowie das anschließende Interview werden Audio- und ggf. bildschirmseitig aufgezeichnet, um eine fundierte Analyse zu ermöglichen. Die Aufzeichnungen dienen ausschließlich der Transkription und Analyse und werden nach Abschluss der Masterarbeit bzw. nach Ablauf der gesetzlichen Aufbewahrungsfristen gelöscht.

3. Freiwilligkeit:

Ihre Teilnahme an diesem Interview ist freiwillig. Sie können die Teilnahme jederzeit und ohne Angabe von Gründen abbrechen, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen.

4. Anonymisierung:

Ihre Daten und Aussagen werden anonymisiert und vertraulich behandelt. Persönliche Angaben werden so verarbeitet, dass eine Rückverfolgung Ihrer Identität ausgeschlossen ist.

5. Dauer des Interviews:

Das Interview wird ca. 30–60 Minuten in Anspruch nehmen.

Ihre Rechte

- Sie haben das Recht, jederzeit Fragen zu stellen.
- Sie können auch nach dem Interview verlangen, dass Ihre Daten aus der Studie entfernt werden.

Kontaktinformation

Bei Fragen zur Studie, zur Verarbeitung Ihrer Daten oder wenn Sie Ihre Teilnahme widerrufen möchten, können Sie sich jederzeit an mich wenden:

Name: anonymisiert

E-Mail: anonymisiert

Einverständniserklärung

Ich, _____, habe die obenstehenden Informationen gelesen und verstanden.

Ich erkläre mich bereit, an dem Interview teilzunehmen und stimme der Aufzeichnung sowie der Verarbeitung meiner Daten unter den genannten Bedingungen zu.

Ort, Datum: _____

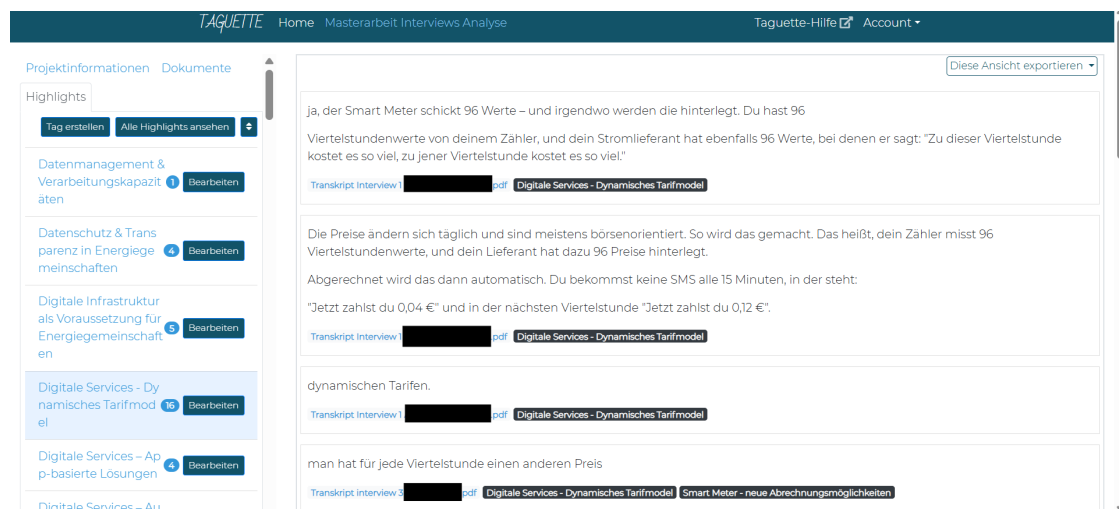
Unterschrift des Teilnehmers/der Teilnehmerin: _____

A. Appendix

A.5. Cluster



A.6. Taguette Beispielhafter Screenshot



A.7. Wireframe

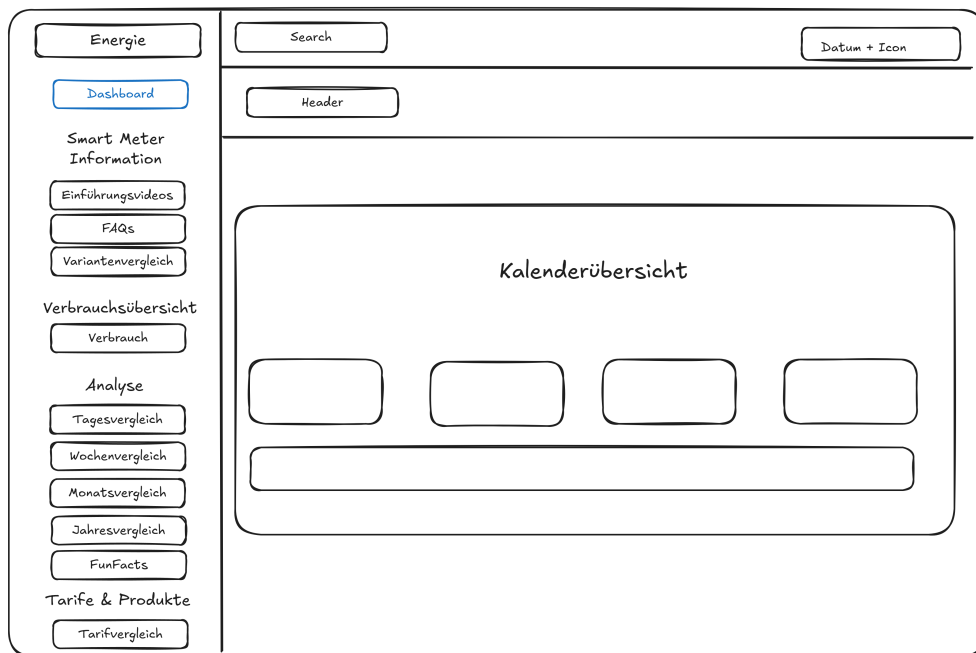


Abbildung A.1.: Wireframe: Dashboard

A. Appendix

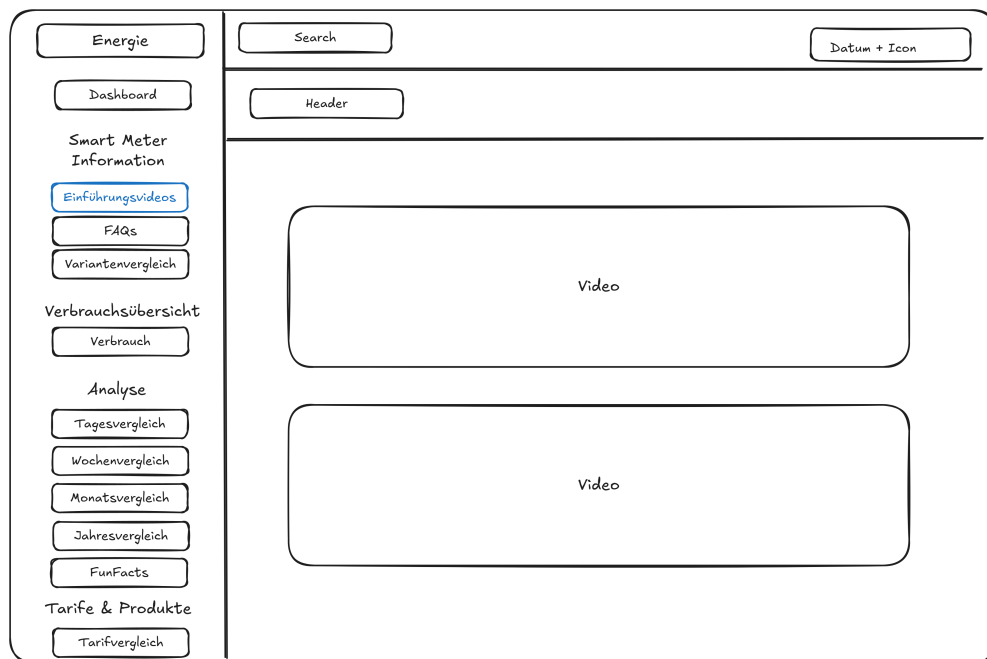


Abbildung A.2.: Wireframe: Smart Meter Info - Video



Abbildung A.3.: Wireframe: Smart Meter Info – FAQ

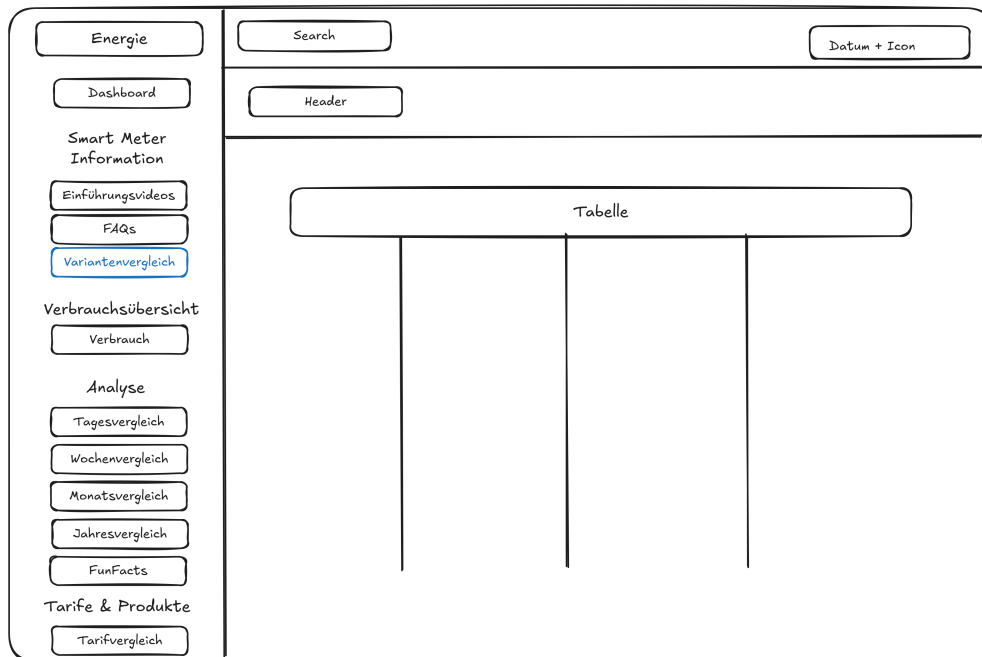


Abbildung A.4.: Wireframe: Smart Meter Info – Varianten

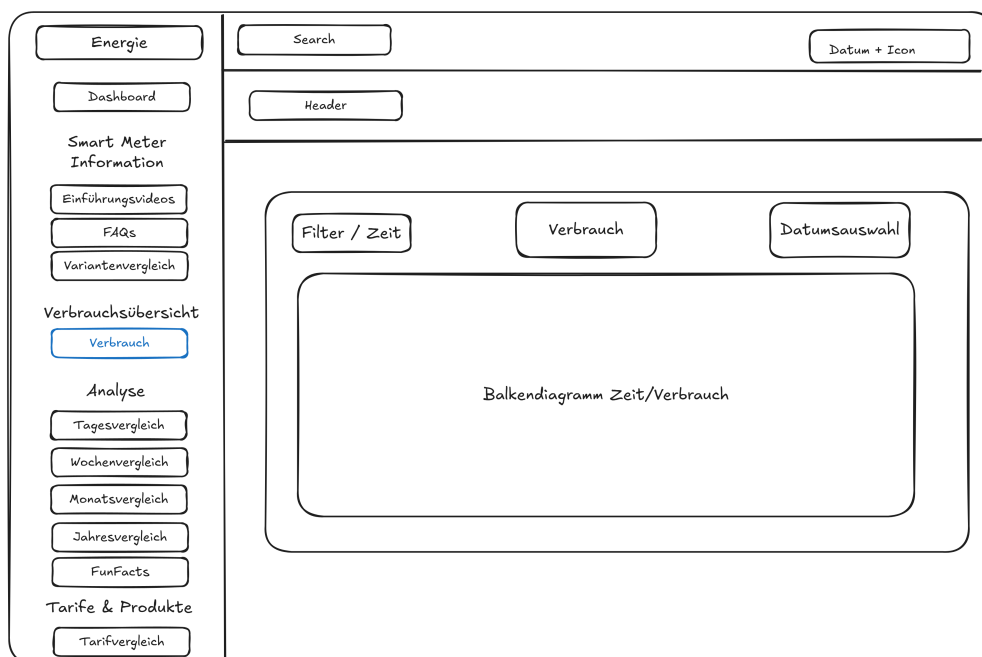


Abbildung A.5.: Wireframe: Verbrauchsvisualisierung

A. Appendix

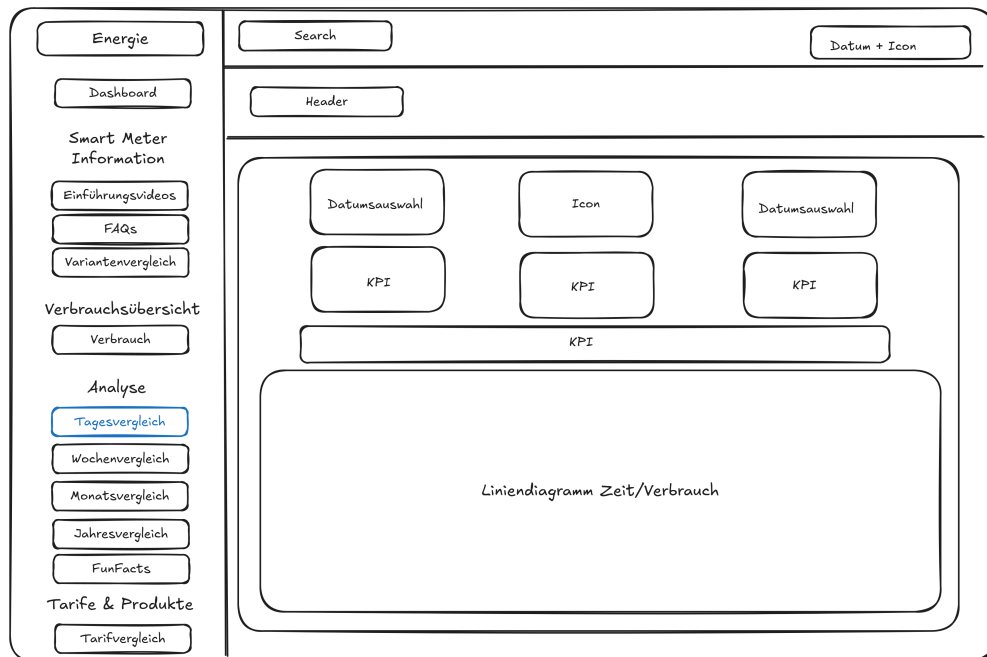


Abbildung A.6.: Wireframe: Analyse – Tagesvergleich

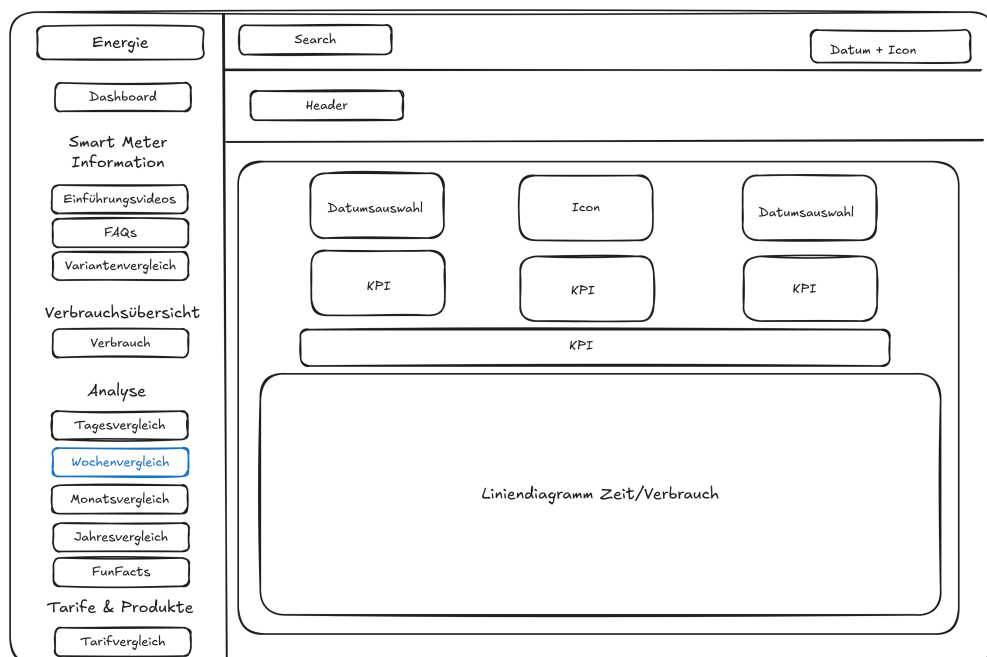


Abbildung A.7.: Wireframe: Analyse – Wochenvergleich

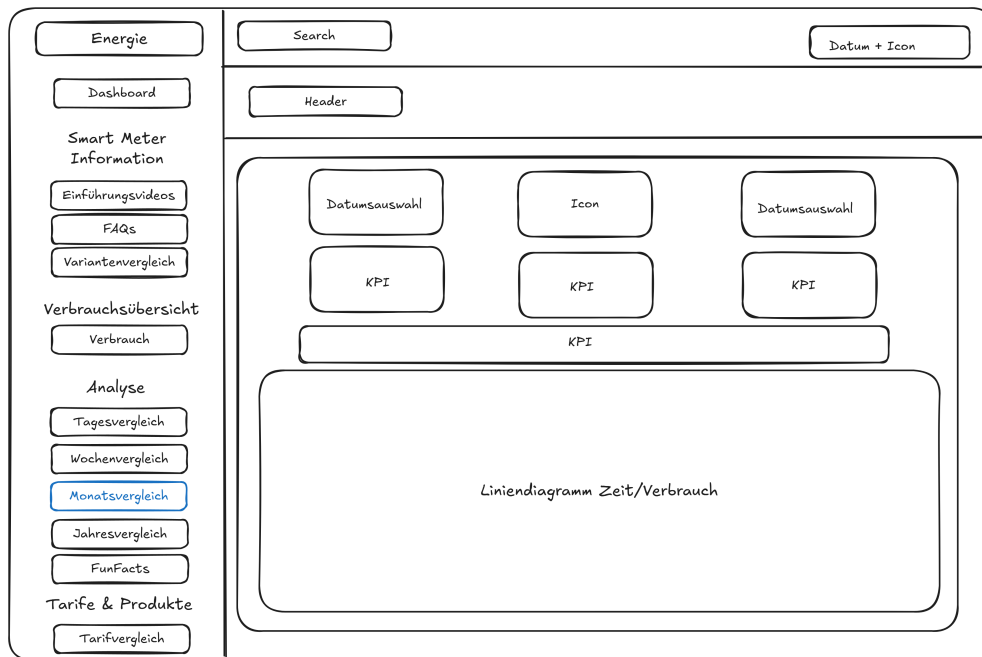


Abbildung A.8.: Wireframe: Analyse – Monatsvergleich

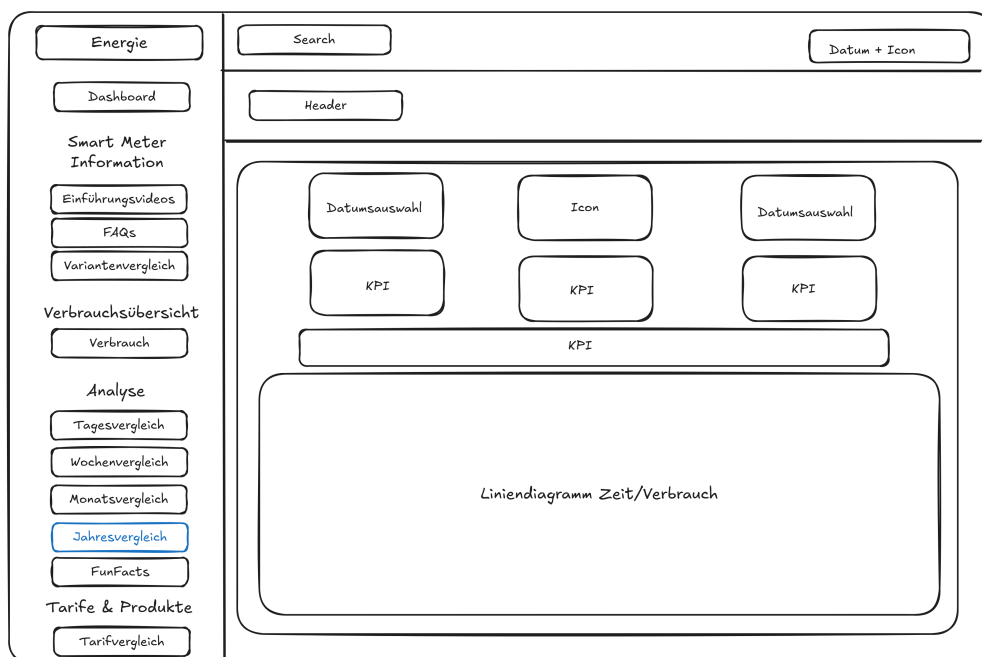


Abbildung A.9.: Wireframe: Analyse – Jahresvergleich

A. Appendix

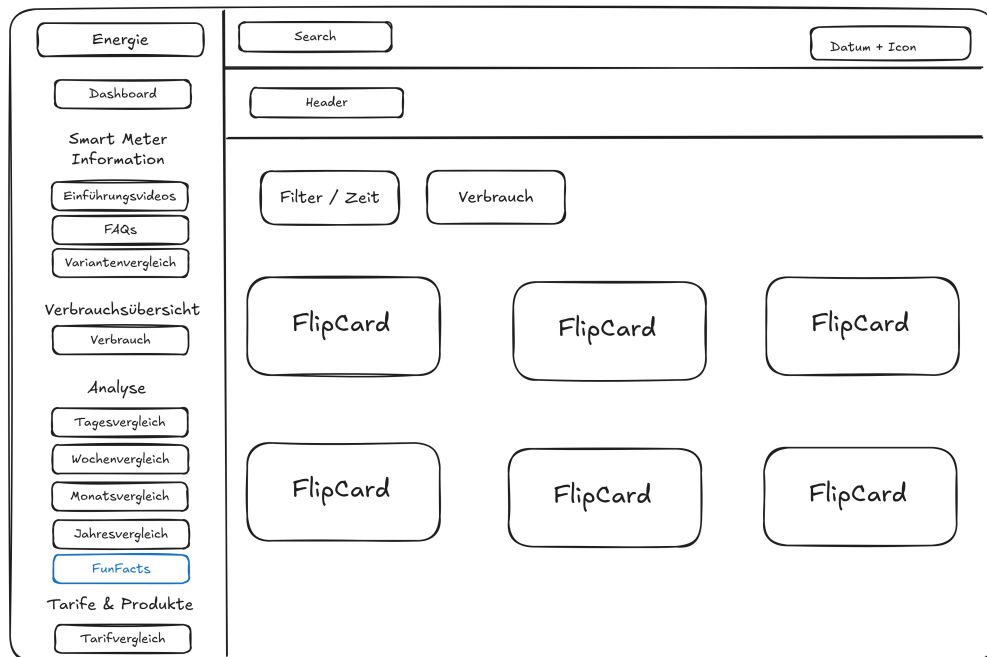


Abbildung A.10.: Wireframe: Analyse – FunFacts

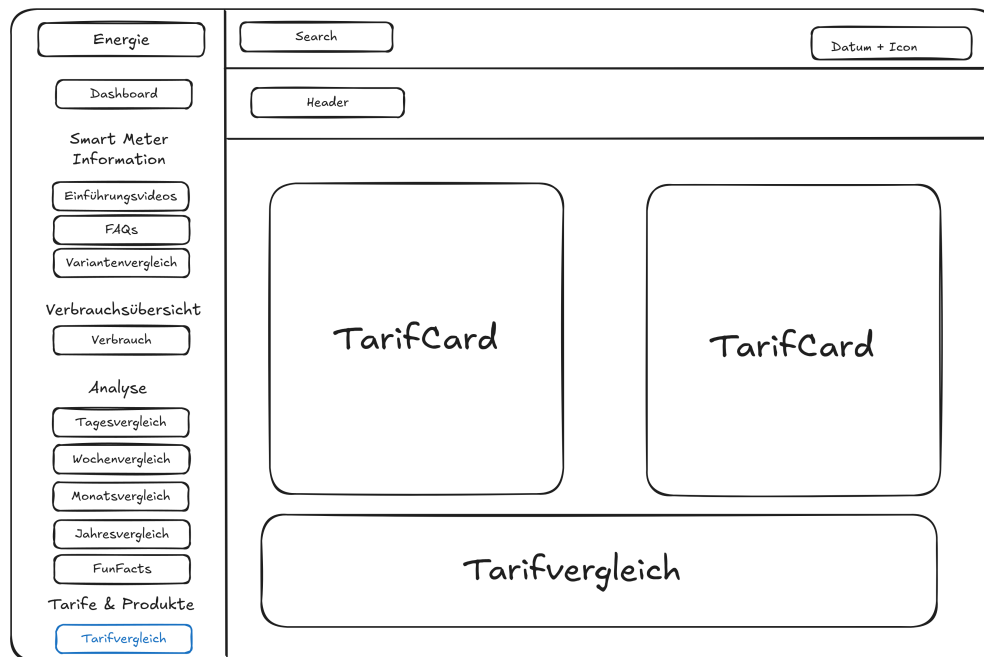


Abbildung A.11.: Wireframe: Tarifvergleich

A.8. Codebeispiel

A.8.1. Navigation: Sidebar

```
1 const Item = ({ title, to, icon, selected, setSelected }) => {
2   const colors = tokens();
3   return (
4     <MenuItem
5       active={selected === title}
6       style={{ color: colors.grey[100] }}
7       onClick={() => setSelected(title)}
8       icon={icon}
9     >
10      <Typography>{title}</Typography>
11      <Link to={to} />
12    </MenuItem>
13  );
14 };
15
16 const Sidebar = () => {
17   const colors = tokens();
18   const [isCollapsed, setIsCollapsed] = useState(false);
19   const [selected, setSelected] = useState("Dashboard");
20
21   return (
22     <Box
23       sx={{
24         "& .pro-sidebar-inner": {
25           background: `${colors.primary[400]} !important`,
26         },
27         "& .pro-icon-wrapper": {
28           backgroundColor: "transparent !important",
29         },
30         "& .pro-inner-item": {
31           padding: "5px 35px 5px 20px !important",
32         },
33         "& .pro-inner-item:hover": {
34           color: "#868dfb !important",
35         },
36         "& .pro-menu-item.active": {
37           color: "#6870fa !important",
38         },
39       }}
40     >
41     <ProSidebar collapsed={isCollapsed}>
42       <Menu iconShape="square">
43         {/* Logo & Toggle */}
44         <MenuItem
45           onClick={() => setIsCollapsed(!isCollapsed)}
46           icon={<MenuOutlinedIcon />}
47           style={{ margin: "10px 0 20px 0", color: colors.grey[100] }}
48         >
49           {!isCollapsed && (
```

```

50         <Box
51             display="flex"
52             justifyContent="space-between"
53             alignItems="center"
54             ml="15px"
55         >
56             <Typography variant="h3" color={colors.grey[100]}>
57                 ENERGIE
58             </Typography>
59             <IconButton
60                 onClick={() => setIsCollapsed(!isCollapsed)}
61             ></IconButton>
62         </Box>
63     )}
64 </MenuItem>
65
66 {/* Navigation Items */}
67 <Box paddingLeft={isCollapsed ? undefined : "10%"}>
68     <Item
69         title="Dashboard"
70         to="/"
71         icon={<HomeOutlinedIcon />}
72         selected={selected}
73         setSelected={setSelected}
74     />
75     {!isCollapsed && (
76         <Typography
77             variant="h6"
78             color={colors.greenAccent[400]}
79             sx={{ m: "15px 0 5px 20px" }}
80         >
81             Smart Meter Information
82         </Typography>
83     )}
84     <Item
85         title="Einführungsvideos"
86         to="/smart-meter-info-videos"
87         icon={<PlayCircleOutlineIcon />}
88         selected={selected}
89         setSelected={setSelected}
90     />
91     <Item
92         title="FAQs"
93         to="/smart-meter-info-text"
94         icon={<InfoOutlinedIcon />}
95         selected={selected}
96         setSelected={setSelected}
97     />
98     <Item
99         title="Variantenvergleich"
100         to="/smart-meter-info-table"
101         icon={<ElectricMeterOutlinedIcon />}
102         selected={selected}

```

A. Appendix

```
103         setSelected={setSelected}
104     />
105     {!isCollapsed && (
106         <Typography
107             variant="h6"
108             color={colors.greenAccent[400]}
109             sx={{ m: "15px 0 5px 20px" }}
110         >
111             {<ElectricBoltIcon/>} Verbrauchsübersicht
112         </Typography>
113     )}
114     <Item
115         title="Verbrauch"
116         to="/verbrauch"
117         icon={<BarChartOutlinedIcon />}
118         selected={selected}
119         setSelected={setSelected}
120     />
121     {!isCollapsed && (
122         <Typography
123             variant="h6"
124             color={colors.greenAccent[400]}
125             sx={{ m: "15px 0 5px 20px" }}
126         >
127             {<CompareArrowsOutlinedIcon />} Analyse
128         </Typography>
129     )}
130
131     <Item
132         title="Tagesvergleich"
133         to="/analyse/tag"
134         icon={<CalendarTodayIcon />}
135         selected={selected}
136         setSelected={setSelected}
137     />
138     <Item
139         title="Wochenvergleich"
140         to="/analyse/woche"
141         icon={<ViewWeekIcon />}
142         selected={selected}
143         setSelected={setSelected}
144     />
145     <Item
146         title="Monatsvergleich"
147         to="/analyse/monat"
148         icon={<CalendarMonthIcon />}
149         selected={selected}
150         setSelected={setSelected}
151     />
152     <Item
153         title="Jahresvergleich"
154         to="/analyse/jahr"
155         icon={<EventNoteIcon />}
```

```

156         selected={selected}
157         setSelected={setSelected}
158       />
159     </Box>
160   </Menu>
161 </ProSidebar>
162 </Box>
163 );
164 };
165
166 export default Sidebar;

```

A.8.2. Komponentenstruktur: Balkendiagramm

```

1 const BarChart = ({ daten, zeitraum }) => {
2   const colors = tokens();
3   const tickWerte = zeitraum === "tag"
4     ? daten.filter((d) => d.zeit.endsWith(":00")).map((d) => d.zeit)
5     : undefined;
6   return (
7     <Box height="400px">
8       <ResponsiveBar
9         data={daten}
10        keys={["verbrauch"]}
11        indexBy="zeit"
12        margin={{ top: 30, right: 30, bottom: 60, left: 60 }}
13        padding={0.2}
14        colors={colors.blueAccent[500]}
15        enableLabel={false}
16        axisBottom={{
17          tickValues: tickWerte,
18          tickSize: 5,
19          tickPadding: 5,
20          tickRotation: 45,
21          legend: "Zeit",
22          legendPosition: "middle",
23          legendOffset: 45,
24        }}
25        axisLeft={{
26          tickSize: 5,
27          tickPadding: 5,
28          tickRotation: 0,
29          legend: "Verbrauch (kWh)",
30          legendPosition: "middle",
31          legendOffset: -50,
32        }}
33        tooltip={({ indexValue, value }) => (
34          <strong>
35            {indexValue} -- {value.toFixed(3)} kWh
36          </strong>
37        )}
38        theme={{

```

A. Appendix

```
39     tooltip: {
40       container: {
41         background: colors.grey[100],
42         color: colors.grey[100],
43         fontSize: "13px",
44       },
45     },
46     axis: {
47       ticks: {
48         text: {
49           fill: colors.grey[100],
50         },
51       },
52       legend: {
53         text: {
54           fill: colors.grey[100],
55         },
56       },
57     },
58   }}
59   />
60 </Box>
61 );
62 };
63
64 export default BarChart;
```

A.8.3. Komponentenstruktur: Card

```
1 const Card = ({ title, value, icon, unit = "kWh", color }) => {
2   const colors = tokens();
3
4   return (
5     <Box
6       sx={{
7         backgroundColor: colors.primary[400],
8         borderRadius: "12px",
9         padding: "1rem",
10        display: "flex",
11        alignItems: "center",
12        gap: "1rem",
13        boxShadow: "0 3px 8px rgba(0,0,0,0.5)",
14        minWidth: 220,
15      }}
16     >
17       <Box sx={{ color: color || colors.greenAccent[500], fontSize: 36
18       }}>
19         {icon}
20       </Box>
21       <Box>
22         <Typography variant="h6" color={colors.greenAccent[400]}>
23           {title}
```

```

23     </Typography>
24     <Typography variant="h4" fontWeight="bold" color={colors.grey
[100]}>
25         {value} {unit}
26     </Typography>
27 </Box>
28 </Box>
29 );
30 };
31
32 export default Card;

```

A.8.4. Komponentenstruktur: Filter / Selector

```

1 const Selector = ({ label, value, onChange, options = [], width = 180 })
  => {
2   const colors = tokens();
3
4   return (
5     <Box
6       sx={{
7         backgroundColor: colors.primary[400],
8         borderRadius: "12px",
9         padding: "1rem",
10        boxShadow: colors.grey[100],
11        width: width,
12        "&:hover": {
13          backgroundColor: colors.primary[500],
14        },
15      }}
16    >
17      <FormControl fullWidth size="small">
18        <InputLabel sx={{ color: colors.grey[200] }}>{label}</InputLabel>
19        <Select
20          value={value}
21          label={label}
22          onChange={onChange}
23          sx={{
24            backgroundColor: colors.primary[600],
25            color: colors.greenAccent[400],
26            borderRadius: "8px",
27            "& .MuiSvgIcon-root": {
28              color: colors.greenAccent[400],
29            },
30          }}
31        >
32          {options.map((option) => (
33            <MenuItem key={option.value} value={option.value}>
34              {option.label}
35            </MenuItem>
36          ))}
37        </Select>

```

A. Appendix

```
38     </FormControl>
39   </Box>
40   );
41 };
42
43 export default Selector;
```

A.8.5. Komponentenstruktur: Liniendiagramm

```
1  const LineChart = ({
2    datenreihen,
3    farben = ["fff", "fff"],
4    height = 400,
5    axisBottomOverride = {},
6    zeitraum = "tag",
7  }) => {
8    const wochentageReihenfolge = [
9      "Montag",
10     "Dienstag",
11     "Mittwoch",
12     "Donnerstag",
13     "Freitag",
14     "Samstag",
15     "Sonntag",
16   ];
17
18   const monateReihenfolge = [
19     "Jan",
20     "Feb",
21     "Mär",
22     "Apr",
23     "Mai",
24     "Jun",
25     "Jul",
26     "Aug",
27     "Sep",
28     "Okt",
29     "Nov",
30     "Dez",
31   ];
32
33   const sortierteDaten = datenreihen.map((reihe) => {
34     const sortedData =
35       zeitraum === "woche"
36         ? [...reihe.data].sort(
37             (a, b) =>
38               wochentageReihenfolge.indexOf(a.x) -
39               wochentageReihenfolge.indexOf(b.x)
40           )
41       : zeitraum === "jahr"
42         ? [...reihe.data].sort(
43             (a, b) =>
```

```

44         monateReihenfolge.indexOf(a.x) - monateReihenfolge.indexOf(
45         b.x)
46         )
47         : [...reihe.data].sort((a, b) => a.x.localeCompare(b.x));
48
49     return {
50         ...reihe,
51         data: sortedData,
52     };
53 });
54
55 const colors = tokens();
56
57 const tickValues =
58     zeitraum === "tag"
59     ? Array.from(
60         new Set(
61             sortierteDaten
62             .flatMap((reihe) => reihe.data.map((d) => d.x))
63             .filter((x) => x.endsWith(":00"))
64         )
65     )
66     : axisBottomOverride.tickValues;
67
68 return (
69     <div style={{ height }}>
70     <ResponsiveLine
71         data={sortierteDaten}
72         margin={{ top: 50, right: 100, bottom: 50, left: 60 }}
73         xScale={{ type: "point" }}
74         yScale={{ type: "linear", min: "auto", max: "auto" }}
75         axisLeft={{
76             legend: "Verbrauch (kWh)",
77             legendOffset: -50,
78             legendPosition: "middle",
79         }}
80         axisBottom={{
81             tickRotation: -45,
82             legend: "Zeit",
83             legendOffset: 40,
84             legendPosition: "middle",
85             ...axisBottomOverride,
86             tickValues,
87         }}
88         colors={farben}
89         pointSize={8}
90         useMesh={true}
91         tooltip={({ point }) => (
92             <strong>
93                 {point.serieId} {point.data.xFormatted} {point.data.
94                 yFormatted} kWh
95             </strong>
96         )}

```

A. Appendix

```

95     theme={{
96       axis: {
97         ticks: { text: { fill: colors.grey[100] } },
98         legend: { text: { fill: colors.grey[100] } },
99       },
100     tooltip: {
101       container: {
102         background: colors.grey[100],
103         color: colors.grey[100],
104       },
105     },
106   }}
107   legends=[
108     {
109       anchor: "bottom-right",
110       direction: "column",
111       justify: false,
112       translateX: 100,
113       translateY: 0,
114       itemsSpacing: 4,
115       itemDirection: "left-to-right",
116       itemWidth: 90,
117       itemHeight: 20,
118       itemTextColor: colors.grey[100],
119       symbolSize: 12,
120       symbolShape: "circle",
121     },
122   ]
123   />
124 </div>
125 );
126 };
127
128 export default LineChart;
```