



# **Schaufenster für Quartiere der Zukunft**

## **Erfahrungen aus der Praxis**

## Inhalt

Impressum .....	4
1 Einleitung .....	5
2 Quartiere .....	7
2.1 Auswahl der Quartiere .....	7
2.2 Prinz-Karl Viertel@Modellregion Augsburg .....	7
2.3 BüroCenter Messe@Modellregion Augsburg .....	9
2.4 Toni-Park@Modellregion Augsburg .....	11
2.5 Hochzoll-Mitte@Modellregion Augsburg .....	13
2.6 Kissing@Modellregion Augsburg .....	15
2.7 Weitblick@Modellregion Augsburg .....	16
2.8 Stadtquartier 2050@Überlingen .....	18
2.9 ODH@Bochum Weitmar .....	19
2.10 Empfehlungen aus dem Vergleich der Quartiere .....	20
3 Nutzendenanreize zu klimafreundlichem Verhalten und Energieeffizienz .....	22
3.1 Anreizsysteme zur Förderung energieeffizienten Verhaltens in Quartieren .....	23
3.2 Lernen: Quartiers-App zur Nutzendenanreizung im Quartier Überlingen .....	25
3.3 Empfehlungen zur Nutzung von Anreizmechanismen in Quartieren .....	26
4 Klimafreundliche Energieversorgung in Quartieren .....	28
4.1 Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieinfrastruktur .....	28
4.1.1 Lernen: Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Energieinfrastruktur .....	28
4.1.2 Übertragung: Einfluss der Energiepreise und des Kalkulationszinssatzes auf die Wirtschaftlichkeit von Energieinfrastruktur .....	30
4.2 Konzeptionierung von PV-Anlagen und deren Erzeugung .....	33
4.2.1 Lernen: Realistischer PV-Ertrag in Augsburg .....	33
4.2.2 Übertragung: PV-Potenzial im Prinz-Karl Viertel .....	35
4.3 Verwendung des PV-Stroms und Mieterstrom .....	37
4.3.1 Mieterstrom .....	38
4.3.2 Lernen: Mieterstromtarifmodelle aus dem Quartier Überlingen .....	41
4.3.3 Übertragung: Mieterstromkonzept im Quartier Prinz-Karl Viertel .....	44
4.4 Empfehlungen zur Integration klimafreundlicher Energieinfrastruktur in Quartiere .....	46
5 Sektorenkopplung am Beispiel der Mobilität .....	49
5.1 Nachhaltige Sharing-Angebote im Kontext der Mobilität .....	49

5.1.1	Sharing-Konzepte im urbanen Raum.....	50
5.1.2	Bedarf für Sharing-Angebote & Verhalten von Nutzenden .....	51
5.1.3	Voraussetzungen, Geschäftsmodelle und Tarifstrukturen .....	52
5.1.4	Lernen: Erfahrungen aus dem Projekt ODH@Bochum .....	54
5.2	Integration von Elektrofahrzeugen in Quartieren .....	57
5.2.1	Gesteuertes, intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen .....	58
5.2.2	Lernen: Elektromobilität im Quartier Weitblick .....	58
5.2.3	Übertragung: Ladestationen im Gewerbequartier Hochzoll-Mitte .....	64
5.3	Empfehlung zur Konzeptionierung nachhaltiger Mobilitätslösungen .....	69
6	Best Practices für zukünftige Quartiersprojekte .....	72
7	Literatur.....	74

## Impressum

### Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Ulrich Buhl, Jessica Bollenbach, Katharina Breiter, Jan Weissflog

Technische Hochschule Augsburg  
An der Hochschule 1  
86161 Augsburg

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT  
Institutsteil Wirtschaftsinformatik

Alter Postweg 101      Wittelsbacherring 10  
86159 Augsburg      96444 Bayreuth

### Fördergeber

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie  
Prinzregentenstraße 28  
80538 München

### Disclaimer

Die Studie wurde von der Technischen Hochschule Augsburg in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT nach bestem Wissen und unter Einhaltung der nötigen Sorgfalt erstellt. Die Technische Hochschule Augsburg und das Fraunhofer FIT, seine gesetzlichen Vertreter\*innen und/oder Erfüllungsgehilf\*innen übernehmen keinerlei Garantie dafür, dass die Inhalte dieser Whitepapers gesichert, vollständig für bestimmte Zwecke brauchbar oder in sonstiger Weise frei von Fehlern sind. Die Nutzung dieser Studie geschieht ausschließlich auf eigene Verantwortung.

In keinem Fall haften die Technische Hochschule Augsburg und das Fraunhofer FIT, seine gesetzlichen Vertreter\*innen und/oder Erfüllungsgehilf\*innen für jegliche Schäden, seien sie mittelbar oder unmittelbar, die aus der Nutzung des Whitepapers resultieren.

### Empfohlene Zitierweise

Buhl, H. U., Bollenbach, J., Breiter K., Weissflog, J. (2024): Schaufenster für Quartiere der Zukunft. Erfahrungen aus der Praxis. Technische Hochschule Augsburg. Institutsteil Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT, Augsburg/Bayreuth.

### Bildquelle

© FrankBoston/stock.adobe.com

## 1 Einleitung

Die Bewältigung der Klimakrise erfordert eine drastische Reduktion der Treibhausgasemissionen, um – wie im Paris-Agreement vereinbart – den Temperaturanstieg auf maximal 2 °C zu begrenzen [1]. Insbesondere der Gebäudesektor hat einen erheblichen Einfluss auf die Umweltbelastung. Unter Einbezug der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Strombezug, der Fernwärme und Industriegebäuden beläuft sich der Anteil des Gebäudesektors auf 30 Prozent der Gesamtemissionen in Deutschland im Jahr 2023 [2]. Berücksichtigt man nur die direkten Emissionen nach den Berechnungen des Klimaschutzgesetzes, so verursacht dieser Sektor ca. 15 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland [3].

Da über siebzig Prozent der deutschen Bevölkerung in städtischen Regionen lebt, kommt der Transformation städtischer Infrastrukturen eine besondere Bedeutung bei der Emissionsreduktion im Gebäudesektor zu [4]. In diesem Zusammenhang gewinnt der Quartiersansatz zunehmend an Bedeutung. Unter einem Quartier ist ein dicht besiedeltes und räumlich zusammenhängendes Gebiet zu verstehen, das in seiner Gesamtheit betrachtet wird [5]. Durch die Bündelung von Ressourcen und Implementierung intelligenter, digitaler Informationssysteme ermöglicht die Quartiersbildung die Umsetzung zukunftsorientierter Ansätze hin zu nachhaltiger Wirtschaft, Wohnen, Gewerbe und Mobilität bei gleichzeitig hoher Lebensqualität [6, 7]. Im Bereich der Energieversorgung bietet der Zusammenschluss mehrerer Gebäude zu einem Quartier die Möglichkeit, in größere, aber dennoch lokale, gemeinschaftliche Energieinfrastruktur zu investieren, um Energie in Form von Wärme, Kälte oder Strom zu erzeugen. Ziel ist u. a. die Senkung der individuellen Investitions- sowie Betriebskosten bei der Umstellung auf eine nachhaltige Energieerzeugung [8]. Die hohe Besiedlungsdichte in Quartieren ermöglicht zudem den Aufbau gemeinsam genutzter und nachhaltiger Mobilitätslösungen. Für den gesellschaftlich breiten Hochlauf der Elektromobilität bedarf es verfügbarer Ladestationen am Wohn- oder Arbeitsort, an welchen hinreichend lange Standzeiten üblich sind und infolgedessen mit geringerer bzw. energieflexibler Ladeleistung dennoch die benötigte Batterieladung erreicht wird [9, 10]. Alternativ können Sharing-Angebote dazu beitragen, den Bedarf nach individuellen Mobilitätslösungen mit hohem Platzbedarf zu reduzieren [11, 12]. Ehemalige Parkplätze können so zur Steigerung der Lebensqualität als öffentliche Grünflächen revitalisiert werden. Neben infrastrukturellen und technologischen Veränderungen bedarf es zur Realisierung der Energiewende auch eines engen Informationsflusses zu den Bewohnenden, Gewerbetreibenden und Gästen des Quartiers, um notwendige Verhaltensänderungen anzustoßen [7]. Neben den ökologischen Zielen bieten Quartiersansätze auch wirtschaftliche und soziale Vorteile, indem sie das soziale Miteinander fördern, das Gemeinschaftsgefühl stärken sowie neue Geschäftsmodelle für Betreibende erschließen.

Dieses Papier zielt darauf ab, wissenschaftliche Erkenntnisse durch den Vergleich und die Analyse ausgewählter, realisierter sowie konzeptionierter Quartiere in die Praxis zu übertragen. Es sollen konkrete Handlungsempfehlungen zu technischen und wirtschaftlichen Aspekten bereitgestellt werden, welche die Konzeptionierung, Planung sowie den Neu- und Umbau von Quartieren mit dem Ziel der Emissionsreduktion im Gebäudesektor unterstützen. Ferner strebt das Papier an, die Potenziale von Quartierslösungen zur Emissionsreduktion stärker in den politischen Fokus zu rücken. Die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen erfolgt in vier Schritten: Zuerst wird relevantes Wissen aus der Literatur vorgestellt. Danach folgt das Sammeln praktischer Erkenntnisse aus spezifischen Projekten (Lernen),

die auf weitere Quartiere übertragen werden, um das Verständnis zu vertiefen (Übertragung). Abschließend werden diese Erkenntnisse für möglichst allgemeingültige Empfehlungen zu allen Quartierstypen zusammengefasst (Empfehlung).

Das Papier ist dabei aufgebaut wie folgt: In Kapitel 2 werden die zur Analyse ausgewählten Quartiere vorgestellt und Unterschiede zwischen den Quartierstypen datenbasiert herausgearbeitet. Kapitel 3 beleuchtet die Grundlagen von Anreizsystemen und deren Umsetzung zur Steigerung von klimafreundlichem und energieeffizientem Verhalten im Quartier. Es dient als Basis für die weitere Ausarbeitung themenspezifischer Anreize in den darauffolgenden Kapiteln. Kapitel 4 widmet sich der klimafreundlichen Energieversorgung und enthält Analysen zur Investition in nachhaltige Energieinfrastruktur, zur Stromerzeugung mittels PV-Anlagen und deren lokale Vermarktung im Quartier. Kapitel 5 behandelt die Kopplung der Sektoren Energie, Gebäude und Verkehr unter Einsatz von Sharing-Angeboten sowie gesteuerten Ladesäulen für E-Fahrzeuge. Im abschließenden Kapitel 6 werden übergreifende Handlungsempfehlungen zusammengefasst.

## 2 Quartiere

Um relevante und übertragbare Erkenntnisse zur Dekarbonisierung von Quartieren zu gewinnen, werden im Rahmen des Projektes sowohl bestehende als auch neu konzipierte Quartiere in die Untersuchungen einbezogen. In Kapitel 2.1 werden die Auswahlkriterien näher erläutert und in den Kapiteln 2.2 bis 2.9 die ausgewählten Quartiere mit ersten Ergebnissen vorgestellt. Kapitel 2.10 schließt die Darstellung der betrachteten Quartiere mit einer Gegenüberstellung und Einordnung der Quartiere ab.

### 2.1 Auswahl der Quartiere

Im Rahmen des Projekts wurden vorrangig Quartiere ausgewählt, die sich in geografischer Nähe zueinander befinden, jedoch in ihrer Nutzung, Energieinfrastruktur und Organisation variieren, um ein umfassendes Bild bieten zu können. Im Zuge des Kopernikus-Projekts SynErgie, welches sich zum Ziel gesetzt hat, mit über 80 Projektpartnern aus Industrie, Wissenschaft, Verbänden und Zivilgesellschaft den Stromverbrauch industrieller Prozesse flexibel nutzbar zu machen, um erneuerbaren, kostengünstigen Strom zu nutzen, wird in der Modellregion Augsburg bereits intensiv an übertragbaren Lösungen für die Energiewende in Deutschland geforscht. Hieran schließt das vorliegende Projekt an und betrachtet die in der Modellregion vorliegende Quartierslandschaft. In der Modellregion Augsburg finden sich neben reinen Wohn- und Gewerbequartieren auch Mischformen mit Wohnhäusern, Gewerbe oder Industrie. Dabei qualifizieren sich ein Teil der ausgewählten Quartiere rein aufgrund ihrer gemeinsamen Energieversorgung als Quartier, andere wiederum wurden im Quartiersverbund geplant, realisiert und werden im Verbund betrieben. Zur Komplementierung der Erkenntnisse wurden zwei weitere innovative Quartiersprojekte außerhalb Bayerns herangezogen. Erstens das Neubauquartier in Überlingen am Bodensee, das im Rahmen der gemeinsamen Förderinitiative von BMBF und BMWI "Stadtquartier 2050" realisiert wurde. Zweitens ein Projekt der Fraunhofer-Initiative "Open District Hub" in Bochum-Weitmar. Die Quartiere werden in den folgenden Kapiteln nach Ihrer Nähe zur Stadtmitte Augsburgs, des Herzens der Modellregion, angefangen mit dem Prinz-Karl Viertel vorgestellt. Zuletzt werden die Quartiere in Überlingen und Bochum eingeführt.

### 2.2 Prinz-Karl Viertel@Modellregion Augsburg

Das Prinz-Karl Viertel befindet sich im Herzen der Stadt Augsburg zwischen der Stadtmitte und der Universität. Das ehemalige Kasernenareal umfasst neben Wohngebäuden und einem Studierendenwohnheim mit 245 Apartments auch Geschäfte des täglichen Bedarfs, eine Kindertagesstätte und ein Gemeindehaus mit Kirchenraum. Die Gebäude im Quartier sind eine Mischung aus modernisierten Altbauten sowie Neubauten. Viele der Gebäude wurden Ende der 1990er Jahre und zu Beginn der 2000er Jahre gebaut, während in einem zweiten Bauabschnitt weitere Teile des Quartiers zwischen 2009 und 2014 errichtet wurden. Im letzten Schritt wurde ein altes Kreiswehersatzamt zwischen 2017 und 2019 im Norden des Quartiers als Gewerbe- und Wohnfläche erschlossen. Das Quartier weist eine Gebäudegrundfläche von knapp 26.000 Quadratmetern auf, wobei mit 56 Prozent über die Hälfte der Grundfläche den Wohnhäusern, 21 Prozent der gewerblichen Nutzung sowie 9 Prozent der gemischten Nutzung (d.h. gewerbliche Nutzung und Wohnraum) zugeschrieben werden können. Die kirchlichen Ein-

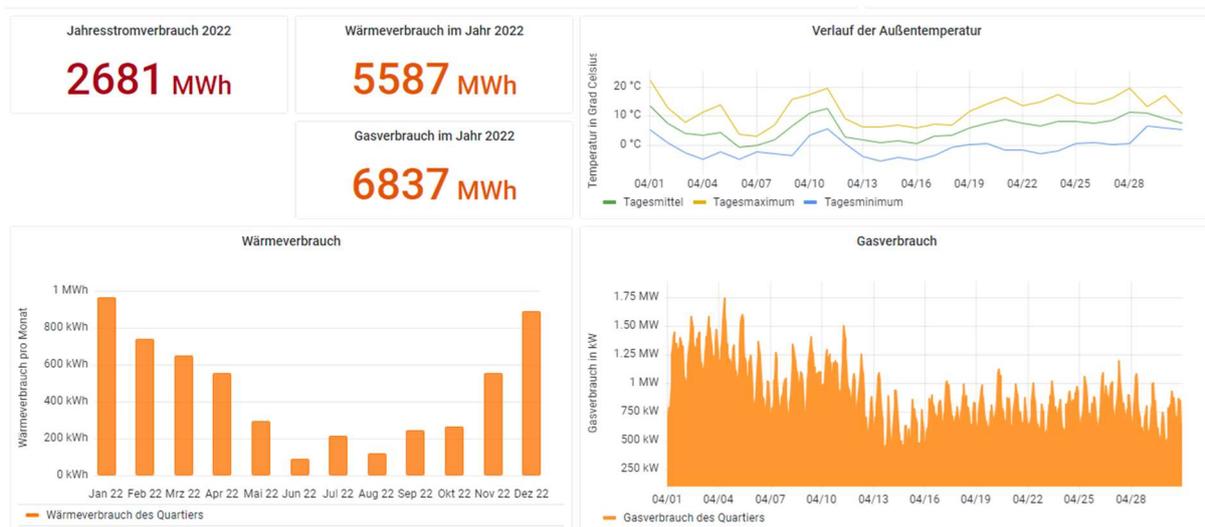
richtungen, die Kindertagesstätte sowie das Studierendenwohnheim nehmen 9 Prozent der Gebäudegrundfläche des Quartiers ein. Aufgrund der zentralen Lage ist das Quartier gut an den öffentlichen Nahverkehr der Stadt Augsburg mit einer eigenen Bushaltestelle angebunden. Fußläufig (ca. fünf Minuten) ist die Bahnstation Haunstetter Straße erreichbar, die an die Zugstrecke München-Augsburg angebunden ist. Darüber hinaus befinden sich im Umkreis von zwei Kilometern zwei Stationen des Car-Sharing-Angebots der Stadtwerke Augsburg. Das Prinz-Karl Viertel verfügt über kein zentrales Quartiersmanagement. Es zeichnet sich jedoch aufgrund der Gegebenheiten als geschlossenes Areal und einer gemeinsamen Wärmeversorgung als Quartier aus.



**Abbildung 1** Karte des Quartiers Prinz-Karl Viertels in Augsburg. Quelle: [13].

Das Quartier verfügt über eine gemeinsame Wärmeversorgung, welche bis ins Jahr 2019 über ein Biogas-Blockheizkraftwerk realisiert wurde. Aufgrund eines Defekts wurden von 2019 bis in den Mai 2023 Gaskessel zur Überbrückung eingesetzt, bis das Quartier im Mai 2023 an die Fernwärmeversorgung angeschlossen wurde. Im Jahr 2022 belief sich der Gasverbrauch des Quartiers auf 6.836 MWh. Die gesamte Gebäudenutzfläche des Quartiers abzüglich der Flure und Wege – im Falle von Wohnhäusern entspricht dies der Wohnfläche – wurde auf Basis der Grundfläche und Geschossplänen einzelner Gebäude auf insgesamt knapp 61.500 Quadratmeter geschätzt. Der spezifische Wärmebedarf berechnet sich damit zu 91 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr. Zur Einordnung des spezifischen Wärmebedarfs kann dieser mit typischen Werten von Wohngebäuden eines bestimmten Baualters verglichen werden. Altbauten aus den Jahren 1990 bis 2000 werden mit einem spezifischen Wärmeverbrauch von 90 bis 125 kWh/m<sup>2</sup> angegeben, während Wohngebäude ab 2000 bis heute einen spezifischen Wärmebedarf zwischen 25 kWh/m<sup>2</sup> und 90 kWh/m<sup>2</sup> aufweisen [14]. Mit der gemischten Bebauung aus sanierten Altbauten und Neubauten liegt der spezifische Wärmebedarf des Quartiers im oberen Bereich für Neubauten, aber im unteren Bereich für Altbauten. Der Stromverbrauch des Quartiers im Jahr 2022 belief sich auf 2.681 MWh und entspricht damit einem spezifischen Stromverbrauch von 44 kWh/m<sup>2</sup>. Bei einem durchschnittlichen Stromverbrauch pro Person von 1.300 kWh/a [15] und einer durchschnittlichen Wohnfläche von 47,4 m<sup>2</sup> pro Person [16] beträgt der durchschnittliche spezifische Stromverbrauch in Deutschland 27 kWh/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Im Vergleich fällt der spezifische Stromverbrauch damit für Mehrfamilienhäuser hoch aus, was mit dem höheren Stromverbrauch des angesiedelten Gewerbes zu erklären ist.

Das Quartier verfügt bisher über keine erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen, hier bietet die zum größten unerschlossene Dachfläche Potenziale für klimafreundliche Ansätze. Die Daten zur Energieversorgung des Quartiers wurden in einem Online-Dashboard visualisiert, welches in Abbildung 2 beispielhaft gezeigt wird.



**Abbildung 2** Ausschnitt aus dem Dashboard zum Quartier Prinz-Karl Viertel.

### 2.3 BüroCenter Messe@Modellregion Augsburg

Das Büro-Center-Messe im Süden Augsburgs in der Nähe der Messe sowie der Universität Augsburg ist ein Büro-Hochhaus und beherbergt Unternehmen, Hochschul-Einrichtungen und den Institutsteil Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT. Das Quartier ist durch eine Trambahn- und Bushaltestelle an den öffentlichen Nahverkehr der Stadt Augsburg angebunden und befindet sich in der Nähe zur Bundesstraße B17. Durch den Einzug des FIM Forschungsinstitut für Informationsmanagements zusammen mit Fraunhofer wurden die obersten drei Geschosse zu einer Einheit zusammengefasst, sodass sich diese Räumlichkeiten im weitesten Sinne als (Mikro-)Quartier einordnen lassen. Zusätzlich wurde auf dem westlichen Dach des Gebäudes eine PV-Anlage installiert in Kombination mit einem Batteriespeicher mit 15 kWh Speicherkapazität. Die zugehörigen Parkplätze wurden zudem mit neun Ladesäulen für Dienst- und Mitarbeitendenfahrzeuge ausgestattet, wobei drei der Ladesäulen bidirektionales Laden unterstützen. Die Energieflüsse werden intelligent gesteuert, sodass der von der PV-Anlage erzeugte Strom optimal für die Versorgung des Quartiers und der Ladeinfrastruktur eingesetzt wird.

Die PV-Anlage mit einer Peakleistung von 44 kWp erzeugte im Jahr 2023 Strom von 38 MWh, wovon 12,5 MWh in das öffentliche Netz eingespeist wurden. Aufgrund der energieeffizienten Beleuchtung und IT-Infrastruktur fällt der spezifische Stromverbrauch (ohne Berücksichtigung des Stromverbrauchs der Ladeinfrastruktur) mit 15 kWh/m<sup>2</sup> gering aus. In der Literatur wird ein spezifischer Stromverbrauch von 40 bis 70 kWh/m<sup>2</sup> Bürofläche angenommen [17]. Im Durchschnitt konnte eine Eigenverbrauchsquote von siebenzig Prozent erreicht werden. Die PV-Erzeugung ist damit ausreichend, um den Strombedarf der drei Stockwerke sowie den Strombedarf der Klimatisierungsanlagen zur Raumkühlung im Sommer zu decken. Hinzu kann durch den installierten Batteriespeicher auch nachts die Grundlast mit eigenem PV-

Strom gedeckt werden. Zur optimalen Bedienung der Ladevorgänge wurde ein intelligentes Lademanagementsystem implementiert. Auf Basis einer PV-Erzeugungsprognose, des prognostizierten Stromverbrauchs der Stockwerke sowie der mittels Reservierungen bekannten Fahrzeugnutzung der Dienstwagen werden die Lade- und Entladevorgänge der bidirektionalen sowie unidirektionalen E-Fahrzeuge gesteuert. Hierdurch kann bei hoher PV-Erzeugung im Sommer ein Autarkiegrad von über neunzig Prozent erreicht werden. Im Winter 2023/2024 (Dezember bis Februar) wurde lediglich ein Autarkiegrad von 24 Prozent erreicht. Die Eigenverbrauchsquote in diesem Zeitraum lag aufgrund der geringen Einspeisung bei 90 Prozent. Die Stromflüsse im Quartier können minutengenau live nachverfolgt werden und sind ebenfalls in einem Dashboard, beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt, visualisiert.



Abbildung 3 Karte des Quartiers BüroCenter Messe in Augsburg. Quelle: [13].

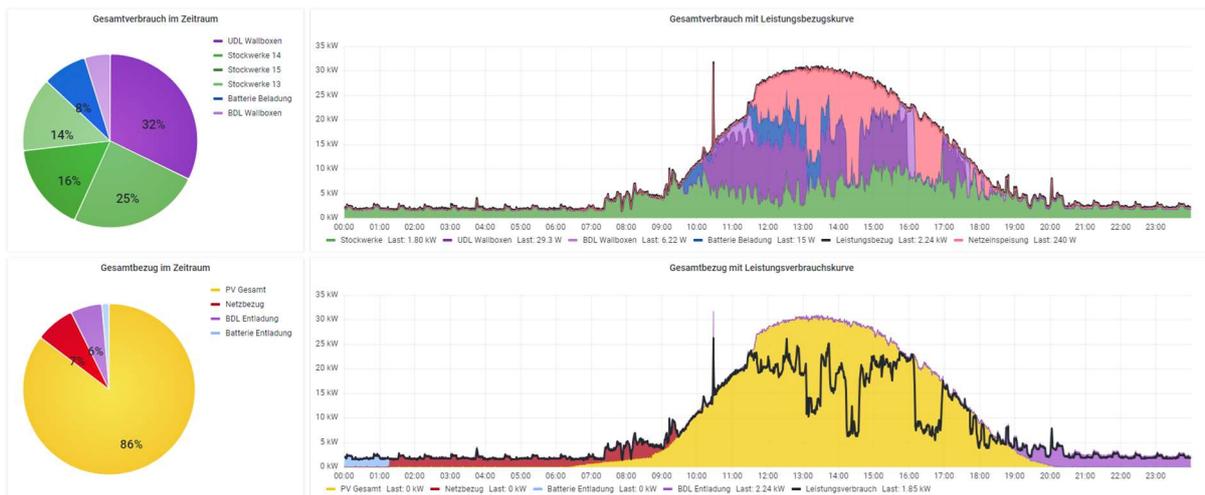


Abbildung 4 Ausschnitt aus dem Dashboard zum Quartier BüroCenter Messe.

## 2.4 Toni-Park@Modellregion Augsburg

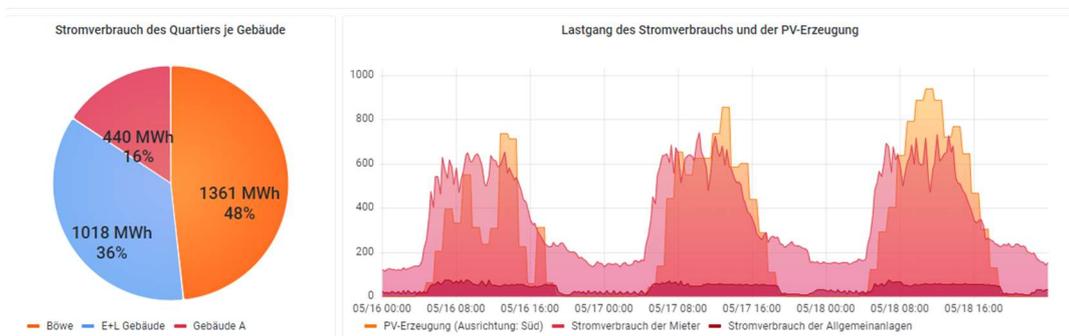
Das Quartier Toni-Park befindet sich im direkten Anschluss östlich vom BüroCenter Messe. Der Toni-Park ist ein Gewerbe- und Industriepark und beherbergt als Quartier eine Kombination von Neubau- und Bestandsgebäuden. Neben einer mietbaren Bürofläche der Gebäude A sowie B/C von insgesamt 28.300 Quadratmetern umfasst das Quartier zwei Industriebetriebe für Automatisierungslösungen inklusive Fertigung (vgl. Abbildung 5). Zusätzlich verfügt das Quartier über ein Parkhaus (Gebäude F). Im Quartier Toni-Park wird der Ansatz einer modernen Arbeitsumgebung verfolgt, weshalb u. a. eine Kindergrippe sowie ein Fitnessstudio im Quartier in Gebäude A integriert sind. Zusätzlich besteht bspw. am Gebäude B/C des Toni-Parks für Mitarbeitende die Möglichkeit, ein E-Fahrzeug zu laden. Die Gebäude G und D befinden sich aktuell im Bau und ergänzen zukünftig das Quartier um weitere Mietflächen.



Abbildung 5 Karte des Quartiers Toni-Park in Augsburg. Quelle: [13].

Die Deckung des Wärmebedarfs der Bürogebäude des Quartiers erfolgt über Wärmepumpen. Zusätzlich verfügt das Quartier über eine Kälteanlage. Auf dem Weg zu einer klimafreundlichen Energieversorgung wurde für das Quartier ein PV-Konzept entwickelt, das durch ein Mieterstrommodell ergänzt werden kann. Das PV-Konzept umfasst die Nutzung von 7.000 m<sup>2</sup> Dachfläche mit einer PV-Anlage mit 1 MWp Nennleistung. Zur Analyse der Stromerzeugung wurden verschiedene Varianten der Ausrichtung und Neigung untersucht und mithilfe einer Simulation die erzeugte Strommenge abgeschätzt. Im optimalen Planungsfall, einer Südausrichtung und Neigung von 30 Grad, ergibt sich auf Basis der Einstrahlungsdaten des Jahre 2022 eine erzeugte Strommenge von knapp 1.350 MWh – bei Ost-West-Ausrichtung und einer Neigung von 10 Grad reduziert sich die geplante Strommenge auf 1.123 MWh. Diese Werte sind als Abschätzung zu verstehen, welche keine Einflüsse durch Verschattung oder Verschmutzung der PV-Module berücksichtigen. Im Zuge der Erstellung des PV-Konzeptes wurde die lokale Verwendung des im Quartier erzeugten Stroms untersucht, indem der Eigenverbrauch im Quartier der Volleinspeisung gegenübergestellt wurde. Die Stromflüsse wurden unter anderem in einem Online-Dashboard visualisiert, welches in Abbildung 6 beispielhaft gezeigt wird. Im Falle des Eigenverbrauchs wurden zwei Mieterstromszenarien betrachtet: Erstens die Aufteilung der PV-Anlage auf mehrere Kun-

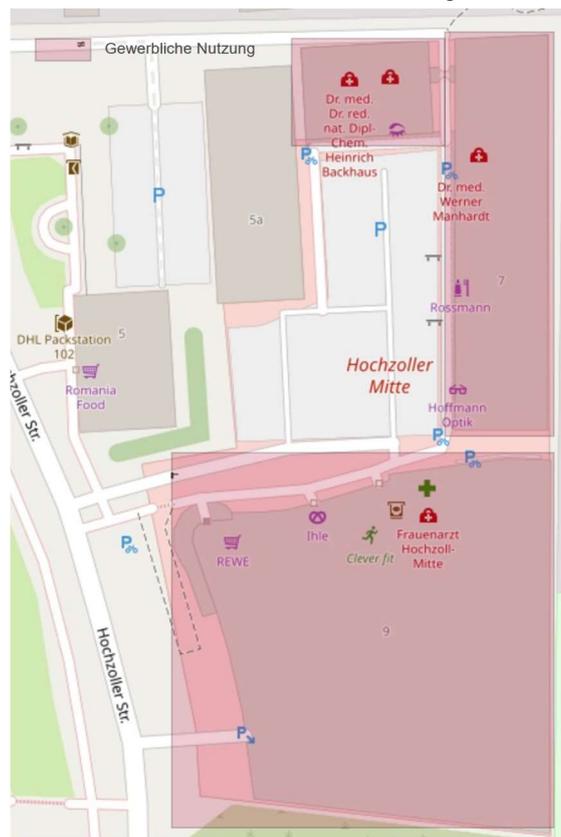
denanlagen zur Reduktion des technischen Risikos sowie zweitens die Realisierung als einzelne Kundenanlage. Unter einer Kundenanlage wird in Bezug auf Mieterstrom die Erzeugungsanlage innerhalb eines Gebäudes oder Gebäudekomplexes bezeichnet, welche die Stromversorgung übernimmt und ggf. den Mieterstromzuschlag in Anspruch nimmt. Für die von der Kundenanlage erzeugte und im Zuge des Mieterstrommodells gelieferte Strommenge fallen keine Netzentgelte, Umlagen und Abgaben an. Der Toni-Park verfügt bereits über drei Teilnetze mit entsprechenden Transformatoren, wodurch sich die Aufteilung der PV-Anlage in drei Kundenanlagen je Netzteil anbietet. Alternativ können diese zu einer einzelnen Kundenanlage zusammengefasst werden. In diesem Fall würde durch den Zusammenschluss der Netze sowie ggf. eine Neuanschaffung eines größeren Transformators zuzüglich zur PV-Anlage selbst weitere Investitionen anfallen. Die Analysen der verschiedenen Optionen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit der Volleinspeisung stark von den zugrunde gelegten Strompreisen abhängt. In einer Marktsituation wie 2022 können hohe Erlöse durch die Vergütung der Volleinspeisung erzielt werden. In der Marktsituation wie 2019 - mit vergleichsweise geringem Preisniveau und geringerer Volatilität - wird diese Option jedoch unwirtschaftlich. Die lokale Nutzung des erzeugten PV-Stroms mithilfe eines Mieterstrommodells bietet dem Quartiersbetreiber im Gegensatz zu den hohen Unsicherheiten auf dem Strommarkt ein geringeres finanzielles Risiko. Somit können mit dem Angebot von Mieterstrom sowohl für den Quartiersbetreiber als auch dessen Mietende Vorteile erzielt werden. Der Aufbau einer gemeinsamen Kundenanlage birgt zwar das größte wirtschaftliche Potenzial, jedoch erhöht sich der Investitionsaufwand sowie das Risiko eines Ausfalls, da das Quartier nur über einen zentralen Netzanschlusspunkt betrieben wird. Die Aufteilung des Areals auf mehrere Kundenanlagen wird daher als geeignete Option identifiziert.



**Abbildung 6** Ausschnitt aus dem Dashboard zum Quartier Toni-Park.

## 2.5 Hochzoll-Mitte@Modellregion Augsburg

Das Quartier Hochzoll-Mitte befindet sich im Osten der Stadt Augsburg im Stadtteil Hochzoll. Der Stadtteil Hochzoll ist vorwiegend durch Wohngebäude charakterisiert und liegt am Rande der Stadt Augsburg. Das Quartier Hochzoll-Mitte ist ein sogenanntes Stadtteilzentrum mit einer beheizten Fläche von 6.817 Quadratmetern und umfasst Geschäfte des täglichen Bedarfs, wie eine Drogerie, einen Supermarkt, eine Bäckerei, eine Apotheke, ein Fitnessstudio, Arztpraxen sowie dazugehörige Parkmöglichkeiten. Der Bau des nordöstlichen Teils des Quartiers (vgl. Abbildung 7) wurde 2018 errichtet, während der Bau des zweiten Abschnitts im Süden des Quartiers 2020 abgeschlossen wurde. Das Quartier befindet sich direkt an der Bahnstrecke München-Augsburg und ist über die Haltestelle Augsburg-Hochzoll, die sich 100 Meter entfernt befindet, angebunden. Zusätzlich ist das Quartier über eine Trambahnhaltestelle (ca. 200 Meter entfernt) an den öffentlichen Nahverkehr der Stadt Augsburg angebunden. Direkt an der Grenze des Quartiers befindet sich eine Station des Carsharing-Angebots der Stadtwerke Augsburg, welche hier jedoch ausschließlich Verbrennerfahrzeuge bereitstellen.



**Abbildung 7** Karte des Quartiers Hochzoll-Mitte in Augsburg. Quelle: [13].

Im Hinblick auf die Wärmeversorgung verfügt das Quartier über ein wärmegeführtes Blockheizkraftwerk mit einer thermischen Leistung von 73 kW und einer elektrischen Leistung von 33 kW, was einer Stromkennzahl von 0,45 entspricht. Zusätzlich ist ein Gaskessel installiert sowie zwei Pufferspeicher mit einem Volumen von jeweils 1.500 Litern. Die erzeugte Wärme wird vom BHKW und den Gaskesseln in die Pufferspeicher geleitet, die folgend das Nahwärmenetz der Gebäude speisen. Von den insgesamt 6.817 m<sup>2</sup> an beheizter Fläche versorgen das BHKW und der Gaskessel nur einen 3.910 m<sup>2</sup> großen Teil des Quartiers. Für das BHKW liegen viertelstündlich aufgelöste Daten zur Strom- und Wärmeerzeugung vor. Das BHKW ist wärmegeführt ausgelegt und produzierte 190 MWh Wärme im Jahr 2022. Im Hinblick

auf den Gaskessel und die Wärmeverbrauchszähler liegen nur lückenhafte monatliche Werte vor. Die Wärmeerzeugung des Gaskessels im Jahr 2022 beziffert sich basierend darauf auf 0,93 MWh. Insgesamt weist das Quartier auf Basis der Datengrundlage einen spezifischen Heizenergieverbrauch von 49 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr 2022 auf. In der Literatur dagegen wird der durchschnittliche Heizenergieverbrauch im Gewerbe mit 150 kWh/m<sup>2</sup> angegeben [18], welcher jedoch nach Art des Gewerbes und Grad der Dämmung des Gebäudes stark schwanken kann. Dieser Vergleich zeigt, dass der auf Basis der gegebenen Daten errechnete spezifische Heizenergieverbrauch des Quartiers gering ausfällt, was aber auch auf die trotz umfangreicher Klärungsversuche immer noch lückenhaften Datengrundlage zurückzuführen sein kann. Hinsichtlich der Stromerzeugung erzeugte das BHKW 91 MWh im Jahr 2022, von denen 57 MWh (63 Prozent) in das öffentliche Stromnetz eingespeist wurden. Zusätzlich wurden im Quartier zwei PV-Anlagen mit einer Nennleistung von 74 kWp und 83 kWp installiert und im Mai 2021 in Betrieb genommen. Die PV-Anlagen erzeugten im Jahr 2022 eine Strommenge von 172 MWh, wovon 109 MWh (72 Prozent der Erzeugung) in das öffentliche Stromnetz eingespeist wurden. Der im Quartier genutzte Strom diente ausschließlich den Allgemeinanlagen und nicht der Versorgung der Mietenden. Der gesamte Stromverbrauch des Quartiers betrug 714 MWh im Jahr, was einem spezifischen Stromverbrauch von 105 kWh/m<sup>2</sup> entspricht. In der Literatur wird für vergleichbare Gewerbebereiche unter anderem mit Einzelhandel und Lebensmitteleinzelhandel, wie sie im Quartier Hochzoll-Mitte vorhanden sind, ein spezifischer Stromverbrauch von 120 bis 260 kWh/m<sup>2</sup> angegeben [17]. Der geringe spezifische Stromverbrauch des Quartiers kann auf das geringe Alter der Gebäude und Anlagen zurückgeführt werden.

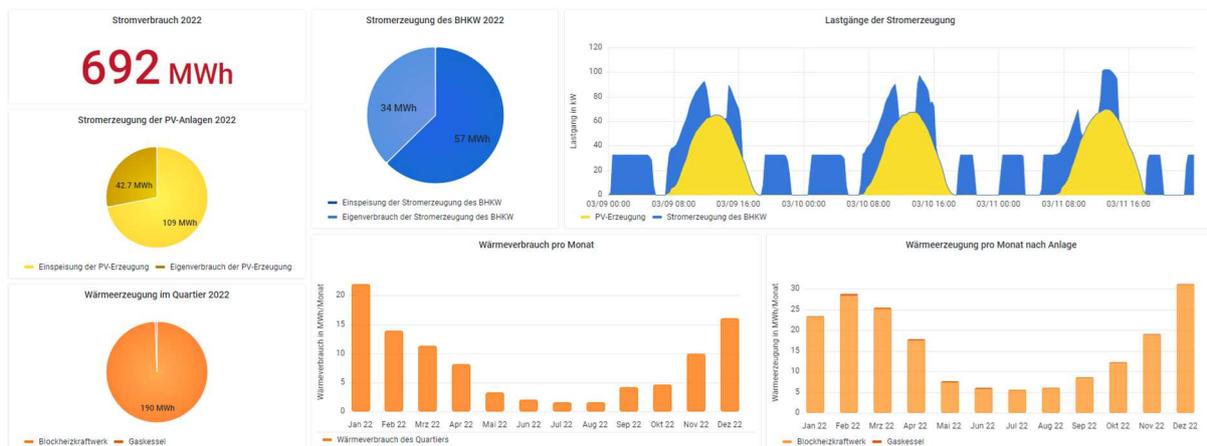


Abbildung 8 Ausschnitt aus dem Dashboard zum Quartier Hochzoll-Mitte.

## 2.6 Kissing@Modellregion Augsburg

Das Wohnquartier Kissing befindet sich etwa fünf Kilometer südwestlich der Augsburger Stadtgrenze in der Kleinstadt Kissing, die am Fluss Lech liegt und von mehreren Badeseen umgeben ist. Diese Lage bietet einen hohen Freizeitwert und macht das Quartier besonders attraktiv für Pendler, da es direkt an der Bahnlinie München-Augsburg liegt. Das Quartier setzt sich zusammen aus 21 Reihenhäusern, die auf drei Reihen verteilt sind und im Jahr 1999 erbaut wurden, sowie aus sechs Mehrfamilienhäusern, die seitdem errichtet wurden. Das Quartier ist ein reines Wohnquartier, das nicht zentral organisiert und betrieben wird, sondern sich über eine gemeinsame, unterirdische Heizzentrale als Quartier auszeichnet. Gelegen in einem Wohngebiet ist das Quartier von weiteren Wohngebäuden und Spielplätzen umgeben. Läden des täglichen Bedarfs sowie die Bahnstation sind innerhalb von 1,5 Kilometern fußläufig erreichbar.



**Abbildung 9** Karte des Quartiers Kissing. Quelle: [13].

Die Wärmezentrale ist mit einem BHKW und einem Gaskessel ausgestattet. Die Nennleistung des BHKWs beträgt 77 kW thermisch und 48 kW elektrisch und weist folglich eine Stromkennzahl von 0,62 aus. Die Wärme wurde vorrangig durch das wärmegeführte BHKW bereitgestellt (vgl. Abbildung 10). In den Wintermonaten, wenn das BHKW allein nicht ausreicht, um den Wärmebedarf des Quartiers zu decken, kommt der Gaskessel zum Einsatz, der dann die zusätzliche Wärme liefert. Im Jahr 2022 erzeugte der Gaskessel 35 Prozent der gesamten im Quartier bereitgestellten Wärme. Die Gebäude des Quartieres ebenso wie das Wärmenetz wurden im Jahr 1999 errichtet, weshalb trotz umfangreicher Klärungsversuche nicht wirklich nachvollziehbare hohe Verluste von 37 Prozent anfallen. Ein Grund hierfür könnte die vergleichsweise lockere Bebauung mit hohen Leitungslängen sein. Der Gasspitzenlastkessel ist aus dem Jahr 2004 und das BHKW wurde 2010 eingebaut. Der Wärmeverbrauch des Quartiers belief sich 2022 auf 552 MWh bei einer Wohnfläche von etwa 6.500 Quadratmetern, was

einem spezifischen Wärmebedarf von 86 kWh/m<sup>2</sup> entspricht. Verglichen mit dem in der Literatur angegebenen Wärmebedarf von 90 bis 125 kWh/m<sup>2</sup> für Wohngebäude aus den Jahren 1990 bis 2000 ist dies noch verhältnismäßig gering [14]. Die Stromversorgung des Quartiers erfolgt über das öffentliche Stromnetz, worüber keine weiteren Daten vorliegen. Der vom BHKW erzeugte Strom (280 MWh) wurde zu 94 Prozent ins öffentliche Netz eingespeist; die verbleibenden sechs Prozent dienen dem Betrieb der Allgemeinanlagen der Heizzentrale. Daten zum Strombedarf des Quartiers lagen nicht vor.

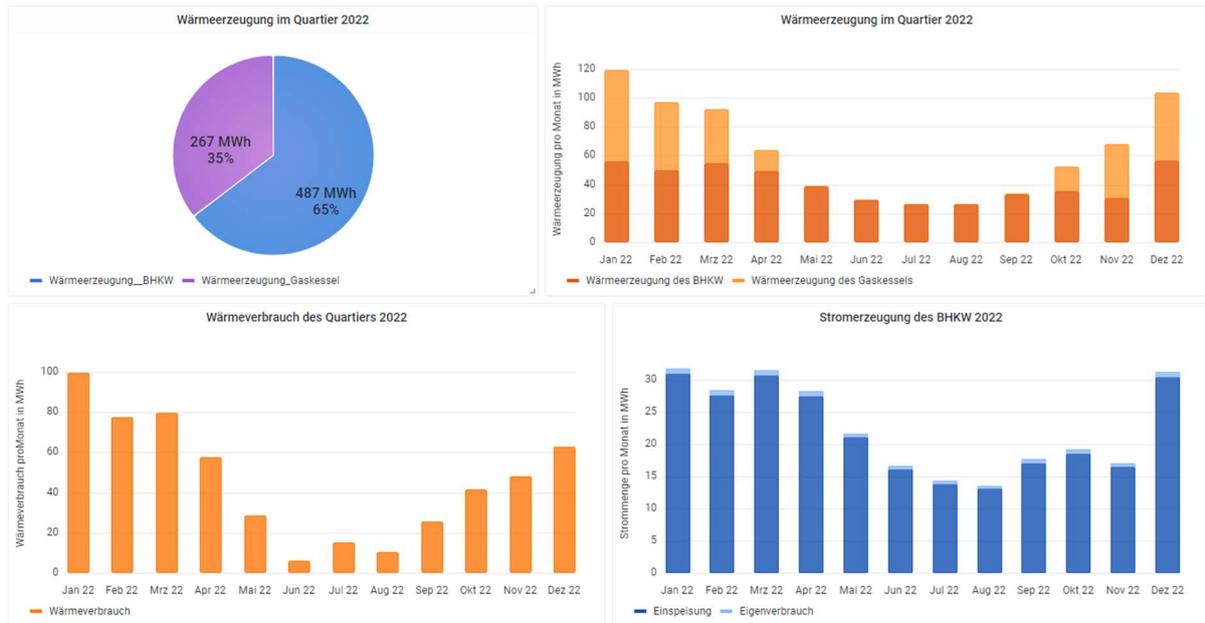


Abbildung 10 Ausschnitt aus dem Dashboard zum Quartier Kissing.

## 2.7 Weitblick@Modellregion Augsburg

Das Quartier Weitblick befindet sich im Süden Augsburgs zwischen dem Universitätsgelände und der Fußballarena. Das Quartier ist über eine Bus- und Trambahnhaltestelle an den öffentlichen Nahverkehr der Stadt Augsburg angebunden und ist Teil des Innovationsparks Augsburg. Zusätzlich liegt das Quartier direkt an der Zufahrt zur Bundesstraße B17. Der Innovationspark Augsburg ist ein 70 Hektar großer Park inklusive eines Technologiezentrums, mit dem Ziel, optimale Bedingungen für Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu schaffen [19]. Das Quartier Weitblick ist ein moderner Bürokomplex, welcher neben Büroflächen auch gastronomische Einrichtungen und eine Kindertagesstätte zur Sicherstellung moderner Arbeitsbedingungen beherbergt. Das Quartier wurde Anfang 2021 fertiggestellt und verfügt über eine mietbare Nutzfläche von 17.417 Quadratmetern.

In diesem neu erbauten Quartier wird die Wärmeversorgung durch einen Fernwärmeanschluss sichergestellt, der im Jahr 2022 einen Verbrauch von 1.680 MWh verzeichnete. Der spezifische Wärmeverbrauch liegt auf Basis der beheizten Fläche des Quartiers von 17.400 m<sup>2</sup> bei 96 kWh/m<sup>2</sup>. In der Literatur wird der durchschnittliche Bedarf von Büros mit 100 bis 150 kWh/m<sup>2</sup> angegeben. Die Stromversorgung des Quartiers erfolgt über zwei Transformatoren: Einer deckt den Stromverbrauch der Mietenden und der andere versorgt die Allgemeinanlagen, zu denen Beleuchtung, eine Belüftungsanlage, Aufzüge, die Wärme- und Kältezentrale sowie eine halb-öffentliche Ladeinfrastruktur mit 14 Ladesäulen mit einer maximalen Ladeleistung von 22 kW gehören. Im Hinblick auf die Stromerzeugung verfügt das Quartier über eine PV-Anlage mit einer Nennleistung von 228 kWp, die 2022 insgesamt 211 MWh produzierte.

Dieser Strom wird hauptsächlich für die Allgemeinanlagen, wie u.a. Beleuchtung, Aufzüge, Lüftung und Kühlung, genutzt, wobei 38 MWh, also 18 Prozent des erzeugten PV-Stroms, ins öffentliche Netz eingespeist wurden. Die Ladeinfrastruktur verzeichnete einen Verbrauch von 13,2 MWh. Unter Berücksichtigung des Verbrauchs der Mietenden belief sich der gesamte Stromverbrauch auf 1.670 MWh. Bei einer beheizten Fläche von etwa 17.400 m<sup>2</sup> ergibt sich ein spezifischer Stromverbrauch von 105 kWh/m<sup>2</sup> für das Quartier. Dieser fällt im Vergleich mit der Literatur [14], die für Büroflächen einen erwarteten Verbrauch von 40 bis 70 kWh/m<sup>2</sup> angibt, relativ hoch aus. Die Kühlung im Quartier ist über eine Betonkernaktivierung realisiert und erfolgt durch eine Grundwasserentnahme über Förder- und Schluckbrunnen.



Abbildung 11 Karte des Quartiers Weitblick in Augsburg. Quelle: [13].

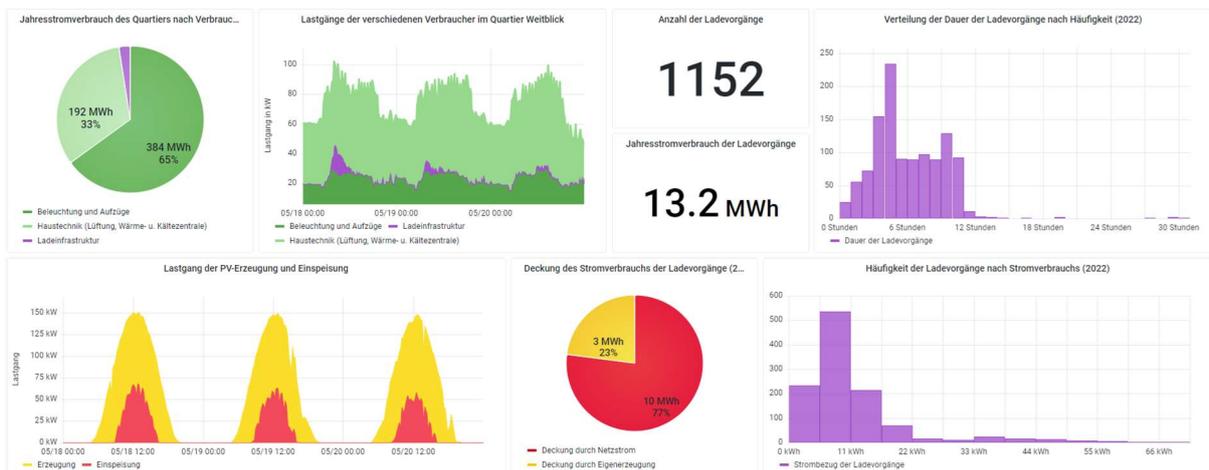
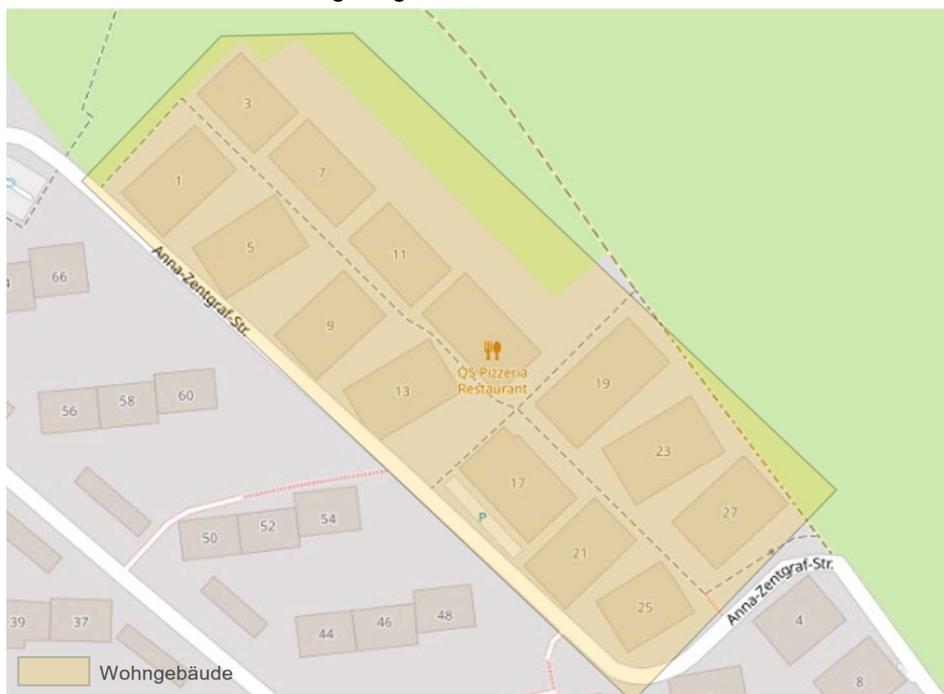


Abbildung 12 Ausschnitt aus dem Dashboard zum Quartier Weitblick.

## 2.8 Stadtquartier 2050@Überlingen

Im Zuge des Förderprogramms Stadtquartier 2050 wurden innovative Lösungen zur Erreichung von Klimaneutralität, Sozialverträglichkeit und Bezahlbarkeit von Mietwohnraum in Quartieren untersucht. In einem der sechs Projekte im Zuge des Förderprogramms war neben der Landeshauptstadt Stuttgart auch die große Kreisstadt Überlingen am Bodensee beteiligt. In Überlingen entstand im Zuge des Projektes ein Neubau-Wohnquartier, welches sozialverträgliches, kostengünstiges und emissionsarmes Wohnen ermöglicht. Eine Besonderheit des Quartiers Überlingen ist die Verbindung des Neubauquartiers mit einem unmittelbar angrenzenden Bestandsquartier zur Hebung von Synergiepotenzialen einer gemeinsamen Nahwärmeversorgung. Dadurch kann eine kostengünstige, klimafreundliche Energieversorgung auch im Bestand ermöglicht werden. Das Neubauquartier liegt am Rande der Stadt Überlingen und ist über eine Bushaltestelle an den öffentlichen Nahverkehr angebunden und der Bahnhof Überlingen liegt ca. 1,5 km entfernt. Carsharing-Möglichkeiten sind in der Nähe des Quartiers nicht vorhanden.



**Abbildung 13** Karte des Quartiers Überlingen. Quelle: [13].

Das Neubauquartier in Überlingen wurde nach dem KfW-Effizienzhaus-Standard 40 plus gebaut und wurde damit besonders energieeffizient und ressourcenschonend ausgelegt. Die Gebäude sind mit besonders guter Dämmung, aber ohne komplizierte Technik, langlebig geplant und verfügen daher nur über vergleichsweise einfach bedienbare Technik, um die Betriebskosten auf sehr niedrigem Niveau zu halten. Um die Energieversorgung des Quartiers mit möglichst geringen Emissionen zu gestalten, werden quartierseigene PV-Anlagen und der Anschluss an eine bestehende Energiezentrale genutzt. Thermische und elektrische Speichersysteme gleichen dabei zeitliche Unterschiede von Stromerzeugung und -bedarf aus. Mithilfe der Sektorenkopplung kann Strom in Wärme (Power-to-Heat) umgewandelt oder für E-Mobilität genutzt werden. Für die Wärmeversorgung werden zusätzlich Biomasse und Solarthermie eingesetzt. Der Stromverbrauch des ersten Bauabschnittes des Quartiers wurde vor der Fertigstellung auf circa 175 MWh geschätzt bei einem Wärmeverbrauch von 253 MWh. Für die geplante Wohnfläche von 7.000 Quadratmetern entspricht dies einem spezifischen Stromverbrauch von

25 kWh/m<sup>2</sup> und einem spezifischen Wärmeverbrauch von 36 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr. Im Jahr 2022 betrug der tatsächliche Wärmeverbrauch für Heizung und Warmwasser 336 MWh, wovon 181 MWh auf die benötigte Heizenergie entfallen sind. Für das Jahr 2023 blieb der Wärmeverbrauch des Quartiers weitestgehend gleich mit 339 MWh und einem Heizenergieverbrauch von 183 MWh bei einer beheizten Nutzfläche von 6.213 Quadratmetern. Dies entspricht einem durchschnittlichen spezifischen Heizenergiebedarf von 29 kWh/m<sup>2</sup>. Dieser liegt daher noch unter den Schätzungen vor der Fertigstellung. Der Stromverbrauch der Allgemeinanlagen im Jahr 2022 betrug 17 MWh.

## 2.9 ODH@Bochum Weitmar

Im Zuge des Projektes ODH@Bochum-Weitmar wurde ein Quartier in Bochum-Weitmar betrachtet mit dem Ziel, ein offenes, nutzerorientiertes IKT-Ökosystem für Energiesysteme in Quartieren zu entwickeln und zu erproben. Das Quartier umfasst Bestandsgebäude im Stadtteil Weitmar im Südwesten von Bochum mit 1.500 Wohnungen, die sukzessive saniert und nachverdichtet werden. Das Open District Hub-Projekt umfasst unter anderem die Entwicklung ökonomisch und ökologisch tragfähiger Lösungen für ein groß angelegtes nachhaltiges Wohnquartier, um die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität optimal zu verbinden. Im Projekt steht zusätzlich die Analyse von Carsharing-Konzepten zur Begegnung der Parkplatznot vor Ort im Fokus. Das Quartier wurde in drei Teilquartiere aufgeteilt (vgl. Abbildung 14), im Zuge des Forschungsprojektes wurde jedoch vor allem das Teilquartier im Südwesten betrachtet.

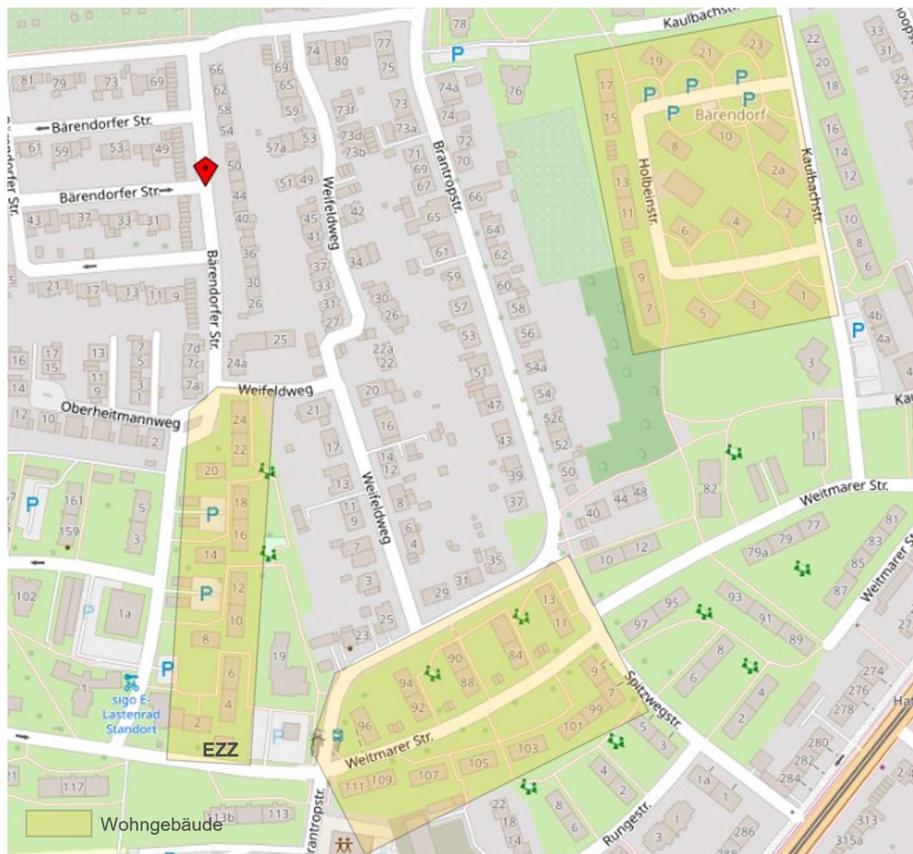


Abbildung 14 Karte des Quartiers Bochum-Weitmar. Quelle: [13].

Für die gemeinsame Quartiersenergieversorgung wurde eine sogenannte Energiezentrale der Zukunft (EZZ) im Süden des Teilquartiers errichtet. Die Energiezentrale liefert für 81 Wohneinheiten im Teilquartier nachhaltig erzeugten Strom und Wärme. Anlagentechnisch verfügt die EZZ über einen Elektrolyseur zur Produktion von Wasserstoff aus Strom, Brennstoffzellen und Wärmepumpen, welche die anliegenden Gebäude und Haushalte mit dezentral erzeugter, CO<sub>2</sub>-freier Wärme versorgen. Der Stromverbrauch des Teilquartiers wird teilweise durch lokale PV-Anlagen auf den Hausdächern der Gebäude des Quartiers gedeckt. Aufgrund des verzögerten Baus und der Inbetriebnahme der Energiezentrale konnten im Zuge des Projektes noch keine Daten zum Verbrauch und der Erzeugung aufgezeichnet werden.

## 2.10 Empfehlungen aus dem Vergleich der Quartiere

Im Zuge des Whitepapers werden verschiedenste Quartiere betrachtet und analysiert, welche sich hinsichtlich ihrer Nutzung, von Wohnquartieren über Mischquartieren bis hin zu Büro und Gewerbequartieren, der Gebäudesubstanz sowie der vorhandenen Energieinfrastruktur unterscheiden. Zusätzlich unterscheiden sich die betrachteten Quartiere in der Form der Organisation. Manche der betrachteten Quartiere definieren sich rein über die gemeinsame Nutzung von Energieerzeugungsanlagen als Quartier, andere wiederum wurden als Quartier ganzheitlich geplant und ebenso gesteuert. Die betrachteten Quartiere spiegeln eine Vielzahl von Aspekten wider, die für die Konzeptionierung von Quartieren relevant sind.

Das Quartier Überlingen veranschaulicht, wie durchdachte Energiekonzepte dazu beitragen können, eine kostengünstige und nachhaltige Energieversorgung zu realisieren und damit Emissionen zu reduzieren. Im Quartier Überlingen konnten in den Jahren 2022 und 2023 sogar ein geringerer spezifischer Heizenergieverbrauch erzielt werden als im Zuge des Projekts geplant. Sobald die notwendigen Messeinrichtungen auch im angrenzenden Bestandsquartier installiert sind, können die Synergieeffekte im Hinblick auf die gemeinsame, klimafreundliche Energieversorgung untersucht und genutzt werden. Zukünftige Quartiere können daraus lernen, wie Bestands- und Neubauquartiere ganzheitlich realisiert werden können und mithilfe von Anreizmechanismen die Mietenden zu energieeffizientem Verhalten angereizt werden können.

Durch die Initiative des FIM Forschungsinstitut für Informationsmanagement im Büroquartier BCM wurden bestehende Büroräume optimiert, indem ein selbst entwickeltes Energiemanagement genutzt wird, um den Strombedarf und den Netzbezug zu minimieren sowie den Eigenverbrauch von PV-Strom zu maximieren. Diese Maßnahme kann als Vorbild für andere Büroeinheiten dienen und verdeutlicht die Notwendigkeit, alle Aspekte von Raumkühlung bis hin zur Mobilität integriert zu betrachten. Im Gegensatz dazu zeigt das Quartier Weitblick, dass auch Neubauten hohe spezifische Energieverbräuche aufweisen können und damit noch Weiterentwicklungsbedarf in Sachen Energieeffizienz aufweisen. Positiv hervorzuheben ist dabei jedoch die Integration einer halb-öffentlichen Ladeinfrastruktur, die u.a. durch den im Quartier erzeugten PV-Strom versorgt wird. Das Quartier in Bochum zeigt, wie die gemeinsame Versorgung durch eine Energiezentrale Bestandsgebäude zu einem Quartier zusammenfasst und die Mietenden mit erneuerbarer Energie versorgt werden können. Als weiteres Beispiel veranschaulicht das Quartier Prinz-Karl Viertel, wie ungenutzte Areale im Stadtzentrum einer neuen Nutzung zugeführt werden können, um eine nachhaltige städtische Entwicklung zu fördern. Das Prinz-Karl Viertel vereint dabei verschiedene soziale Gruppen von Studenten über Familien bis hin zu Senioren. Durch die Integration

von Märkten des täglichen Bedarfs bietet das Quartier einen ganzheitlichen Ansatz für das städtische Leben. Allerdings sind das Prinz-Karl Viertel und das Quartier Kissing Beispiele für Quartiere, die zwar über eine gemeinsame Energieversorgung verfügen, jedoch ein beträchtliches Entwicklungspotenzial hinsichtlich der Quartiersgestaltung aufweisen. Diesbezüglich seien insbesondere die Installation einer PV-Anlage, die Einrichtung einer Ladeinfrastruktur sowie die Implementierung eines zentralen, intelligenten Energiemanagements genannt. Sowohl sanierte Quartiere als auch innovative Neubauquartiere nutzen, abhängig von ihren spezifischen Charakteristika und der Umgebung, oft nur einen Teil der verfügbaren Optionen zur Steigerung ihrer Nachhaltigkeit. Das Quartier Toni-Park veranschaulicht das Potenzial großer Gewerbe- und Industrieareale für die Installation von PV-Anlagen zur Deckung des Stromverbrauchs. Jedoch zeigen die Untersuchungen auch, dass für die Umsetzung weitere Aspekte, wie bspw. die Vor- und Nachteile des Aufbaus einer oder mehrerer Kundenlagen, berücksichtigt und analysiert werden müssen. Bei der Planung neuer Quartiere oder bei Sanierungsmaßnahmen ist es daher ratsam, mehrere Quartierskonzepte zu analysieren und zu vergleichen. Dies ermöglicht es, ein breites Spektrum an Ideen zu sammeln und die gewonnenen Erkenntnisse optimal auf das vorliegende Projekt abzustimmen. Neben den investitionsintensiven infrastrukturellen Verbesserungen stellt die Notwendigkeit der aktiven Partizipation der Mietenden eine weitere Herausforderung dar. Denn nur bei einer aktiven Beteiligung kann das gesamte Potenzial eines nachhaltigen Quartiers gehoben werden. Dies wird daher im Folgenden näher untersucht. Zusammenfassend verdeutlichen die vorgestellten und untersuchten Quartiere, dass stets individuelle Lösungen erforderlich sind, die auf die spezifischen Gegebenheiten abgestimmt sind, um die Quartiere auf sozialverträgliche Weise zu emissionsarmen Einheiten weiterzuentwickeln.

### 3 Nutzendenanreize zu klimafreundlichem Verhalten und Energieeffizienz

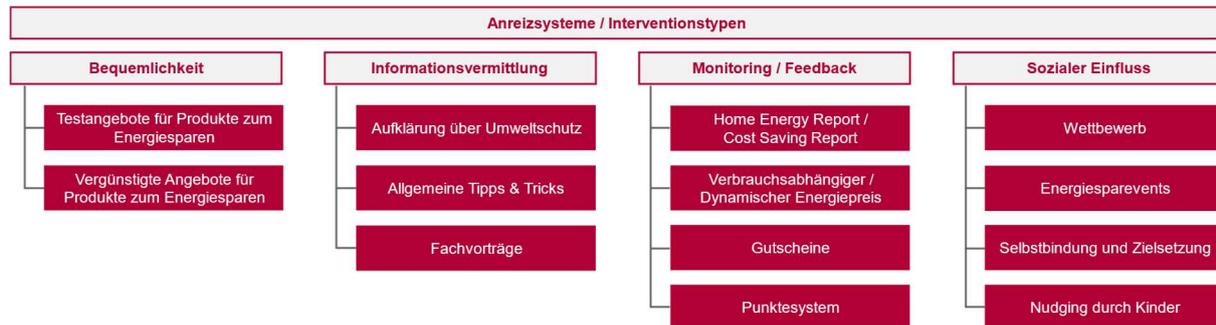
Die meisten Bewohnenden von Wohnquartieren haben keine direkte Kontrolle über die Energieversorgung und -effizienz ihrer Wohnung, da die meisten Wohngebäude von Vermietenden oder Wohnungseigentümergeinschaften bzw. deren Beauftragten wie Hausmeistern und Hausverwaltungen verwaltet werden. So lebte in Deutschland im Jahr 2022 über die Hälfte der Bevölkerung zur Miete [20]. Laut dem IPCC erfordert die Reduktion von Emissionen grundlegende Verhaltensänderungen auf individueller und kollektiver Ebene [21]. Trotz wachsender Sensibilisierung besteht oft eine Diskrepanz zwischen Umweltbewusstsein und notwendigen Verhaltensänderungen, eine sog. Value-Behavior-Gap. Klassische Beispiele sind das Lüften bei laufender Heizung, Einschalten von Licht in leeren Räumen und Standby- oder gar Dauerbetrieb elektrischer Geräte. Die Ursachen für diese Diskrepanz können vielfältig sein, z. B. konkurrierende Einstellungen zum Verhalten, mangelndes Wissen oder fehlende Kompetenz für umweltfreundliches Verhalten [22]. Die Motivation für nachhaltiges Verhalten ist jedoch komplex und mit individuellen Motiven oder Werten wie Altruismus (gesellschaftliche Bedeutung), Egoismus (Status) oder Hedonismus (Komfort) verknüpft [23]. Motive können durch entsprechende Anreize beeinflusst werden, um Energie und Emissionen einzusparen.

Nutzendenanreize stellen eine Form der Verhaltenslenkung dar, welche darauf abzielt, die Bedürfnisse und Wünsche der Nutzenden wahrzunehmen, um bestimmte Handlungen zu fördern oder zu hemmen. Die Effektivität von Nutzendenanreizen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu zählen die Zielgruppe, die Art des Anreizes sowie der Kontext. Anreize und Motivation stehen in engem Zusammenhang, da Anreize dazu beitragen können, die Motivation für ein bestimmtes Verhalten zu steigern. Es wird angenommen, dass Menschen aufgrund ihrer Bedürfnisse und Wünsche bestrebt sind, Belohnungen zu erhalten und Strafen zu vermeiden. Wenn ein Anreiz mit einem bestimmten Verhalten verbunden ist, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass dieses Verhalten gezeigt wird. Motivationstheorien postulieren, dass Menschen durch intrinsische und extrinsische Faktoren motiviert werden. Intrinsische Motivation entsteht aus der Tätigkeit selbst und dem Gefühl von Kompetenz und Selbstbestimmung. Extrinsische Motivation bezieht sich hingegen auf die Motivation durch äußere Belohnungen oder Strafen. In Bezug auf Nutzendenanreize spielen sowohl intrinsische als auch extrinsische Faktoren eine Rolle. Intrinsische Faktoren können die Überzeugung beinhalten, dass Energiesparen gut für die Umwelt ist oder persönliche Vorteile bietet. Extrinsische Faktoren hingegen können finanzielle Anreize wie Rabatte auf Stromrechnungen oder Prämien für energieeffizientes Verhalten umfassen. Auch kulturelle und soziale Faktoren können sich auf Nutzeranreize auswirken. So können soziale Normen und Werte den Energieverbrauch beeinflussen. Wenn beispielsweise in einem Wohnquartier Energiesparen und Umweltschutz als normales Verhalten angesehen werden, kann dies die intrinsische Motivation der Bewohnenden verstärken, sich an energieeffizientem Verhalten zu beteiligen und anzupassen.

Im Folgenden werden in Kapitel 3.1 mögliche Anreizsysteme basierend auf Interventionstypen zur Verhaltensänderung vorgestellt und anhand von Beispielen illustriert, um aufzuzeigen, welche Möglichkeiten der Anreizsetzung in Quartieren bestehen. Anschließend wird in Kapitel 3.2 eine im Zuge des Aufbaus des Quartiers in Überlingen entwickelte Quartiers-App als Anreizsystem vorgestellt, die den Quartiersbewohnenden Informationen über ihre Energieverbräuche sowie Tipps & Tricks zum Energiesparen vermittelt. Abschließend werden in Kapitel 3.3 Empfehlungen für Anreizsysteme für energieeffizientes Verhalten in Quartieren gegeben.

### 3.1 Anreizsysteme zur Förderung energieeffizienten Verhaltens in Quartieren

Aus umweltsychologischer Perspektive lassen sich vier Interventionstypen unterscheiden, um Verhalten zu verändern: Bequemlichkeit, Informationsvermittlung, Monitoring/Feedback und sozialer Einfluss [24, 25]. Diese Interventionstypen können in Quartieren zum Anreiz für energieeffizientes Verhalten genutzt werden. Abbildung 15 gibt einen Überblick über korrespondierende Anreizsysteme zur Förderung energieeffizienten Verhaltens in Quartieren. Das Spektrum an Maßnahmen ist hierbei breit und reicht von einfachen kostengünstigen bis hin zu komplexen und kostenintensiveren Formen.



**Abbildung 15** Überblick über Anreizsysteme zur Förderung energieeffizienten Verhaltens.

Quelle: [26].

#### Bequemlichkeit

Bequemlichkeit zielt darauf ab, gewünschtes Verhalten auf einfache Weise umzusetzen, ohne zusätzlichen Aufwand zu verursachen, oder durch Hilfestellung ein gewünschtes Verhalten zu etablieren (z.B. durch Wiederholung oder Hinweise). Energiesparende Geräte können den Energieverbrauch eines Haushaltes senken, ohne direkte Verhaltensänderungen der Bewohnenden vorauszusetzen. Smarte Steckdosen oder wassersparende Duschköpfe können Haushalten im Quartier für eine Testphase, dauerhaft kostenlos oder gegen eine geringe Gebühr zur Verfügung gestellt werden. Dies kann Anreize schaffen, veraltete Geräte durch energieeffiziente Modelle zu ersetzen. Quartiersbetreiber könnten dies durch Partnerschaften mit Herstellern umsetzen und auch vergünstigte Angebote für energieeffiziente Produkte bereitstellen.

#### Informationsvermittlung

Informationsvermittlung umfasst die Verbreitung von erklärenden Informationen in den Medien sowie Anleitungen zur Umsetzung bestimmter Verhaltensweisen, die den Zusammenhang zwischen menschlichem Verhalten und Umweltfolgen erklären. Bewohnende im Quartier können durch Aufklärung über die Auswirkungen des Klimawandels zum energieeffizienteren Handeln motiviert werden. Diese Maßnahme zielt darauf ab, durch greifbare Beispiele wie das mögliche Aussterben der Eisbären bis 2.100 oder das Absterben der Korallen des Great Barrier Reefs, verbunden mit praktischen Tipps zum Klimaschutz, Haushalte zum Energiesparen zu bewegen. Zusätzlich können Tipps und Tricks zum Energiesparen angeboten werden, einschließlich Informationen zu Energielabels und Geräten mit hohem Energieverbrauch, um den Kauf energieeffizienter Geräte zu fördern. Kommunikationsmittel wie quartiersinterne Newsletter, Aushänge im Quartier, die Quartiers-App oder eine Website können genutzt werden, um diese Informationen an die Bewohnenden weiterzugeben. Fachvorträge im Quartier über Klimawandel, erneuerbare Energien und energieeffizientes Verhalten können zusätzlich dazu beitragen, Haushalte zu informieren und zu motivieren, ihr Energieverhalten zu ändern.

## Monitoring/Feedback

Monitoring/Feedback beinhaltet das Zurückspiegeln von Informationen und/oder Belohnungen für bestimmte Verhaltensweisen und gilt als wirksam für Verhaltensänderungen im Bereich Energieeinsparungen. Der Effekt von Feedback hängt jedoch von verschiedenen Aspekten wie Frequenz, Medium, Kombination mit anderen Interventionen, Granularität und Zeitdauer ab [26]. Ein Anreizsystem im Bereich Monitoring/Feedback kann in Quartieren beispielsweise einen sog. Home-Energy-Report darstellen. Dieser aggregiert verschiedene Parameter des Energiebedarfs über einen bestimmten Zeitraum, wie Verbrauchsdaten zu Strom und Warmwasser sowie Heiz- und Lüftungsverhalten. Auf dieser Basis kann den Bewohnenden zusätzlich ein sog. Cost-Savings-Report erstellt werden. Dieser zeigt Nutzen nicht nur auf, an welchen Stellen sie Energie sparen könnten, sondern auch, welche Kosten sie dadurch vermeiden können. Auf Basis von zusätzlichen Sensorwerten können Verhaltensweisen oder Geräte identifiziert werden, die zu erhöhtem Energieverbrauch führen. Für die unter Umständen zusätzliche benötigte Sensorik und Netzwerktechnik kann mit Energieversorgern und Smart-Meter Anbietern kooperiert werden.

Neben dem Home-Energy-Report und dem Cost-Savings-Report kann im Quartier auch ein verbrauchsabhängiger Tarif angeboten werden. Dabei steigen die Energiekosten pro verbrauchter kWh an, sobald ein bestimmter Verbrauch überschritten wird. Diese Tarifstruktur dient als Anreiz, den eigenen Energiebedarf unter einem festgelegten Schwellenwert zu halten, um somit Kosten einzusparen. Alternativ können dynamische Tarife je nach lokaler Energieerzeugung festgelegt werden, wobei niedrigere Preise gelten, wenn vermehrt erneuerbare Energien aus dem Quartier genutzt werden.

Zusätzlich können Gutscheine und Punktesysteme für Monitoring/Feedback eingesetzt werden. Haushalte, deren Energieverbrauch unter einem bestimmten Schwellenwert liegt, können Gutscheine erhalten, idealerweise kombiniert mit einer Vergünstigung der lokalen Angebote wie Car- oder Bikesharing.

## Sozialer Einfluss

Sozialer Einfluss erfolgt durch soziale Interaktionen zwischen Menschen, wie die Nutzung von Nachahmungseffekten oder kognitiven Dissonanzen. Soziale Faktoren spielen eine wichtige Rolle bei der Gestaltung von Nutzendenanreizen. Ein Beispiel für ein Anreizsystem, das soziale Faktoren nutzt, ist ein Punktesystem. Dieses berücksichtigt den individuellen Energiebedarf jedes Haushalts und ermöglicht durch eine anonymisierte Rangliste den Vergleich zwischen den Teilnehmenden. Dadurch wird der Ehrgeiz angeregt und ein spielerischer Wettbewerb gefördert. Die Umsetzung erfordert jedoch eine umfangreiche technische Ausstattung und klare Regeln für die Punktevergabe, um Fairness und Transparenz zu gewährleisten. Ein weiteres Anreizsystem sind Energiesparevents, bei denen Bewohnende aufgerufen werden, gemeinsam Strom zu sparen, etwa durch das Ausschalten von Lichtern oder die Organisation von Veranstaltungen mit reduziertem Energiebedarf. Solche Events erfordern keine spezielle technische Ausstattung, sondern können durch die Zusammenarbeit mit lokalen Umweltinitiativen oder der Stadt organisiert werden.

Zusammenfassend bietet sich ein breites Spektrum an Ideen zur Anreizsetzung an, um nachhaltiges Verhalten in Quartieren zu fördern. Der Erfolg eines ausgewählten Konzepts hängt nicht nur von einer individuell angepassten Auswahl der Anreize ab, sondern auch von einer nutzendenorientierten Umsetzung, wie nachfolgend näher beleuchtet wird.

### 3.2 Lernen: Quartiers-App zur Nutzendenanreizung im Quartier Überlingen

Die Quartiere im Förderprogramm Stadtquartier 2050 sollten neben energieeffizienter Bauweise auch das energieeffiziente Verhalten der Bewohnenden sowie das Verständnis für den Klimawandel und für die Auswirkungen des eigenen Handelns fördern. Wie in Kapitel 3.1 erläutert, lässt sich das Verhalten der Nutzenden durch spezifische Anreize beeinflussen. Um die Bewohnenden des Quartiers in Überlingen zu energieeffizientem und damit nachhaltigem Verhalten zu motivieren, wurde ein Bonussystem entwickelt, das einen entscheidenden Beitrag zum Erreichen der Klimaneutralität im Quartier leisten soll. Hierzu wurden zwei allgemeine Maßnahmen und vier spezifischen Maßnahmen ausgewählt. Die allgemeinen Maßnahmen zeichnen sich durch eine einfache Übertragbarkeit zwischen Quartieren aus und sind ein Home-Energy-Report sowie allgemeine Tipps und Tricks. Die spezifischen Maßnahmen sind individuell auf die im Quartier lebenden Personengruppen zugeschnitten und umfassen im Quartier Überlingen ein Testangebot für Produkte zum Energiesparen, die Aufklärung über Umweltschutz, Wettbewerb und Energiesparevents. Im Folgenden wird näher auf die Umsetzung der allgemeinen, übertragbaren Maßnahmen eingegangen.

Das zentrale Medium zur Umsetzung der allgemeinen Maßnahmen ist eine Quartiers-App. Die App dient dazu, den Bewohnenden des Quartiers einen einfachen Zugang zu Verbrauchsdaten, d.h. dem Home-Energy-Report, sowie allgemeinen Tipps und einem FAQ zu geben. Der Home-Energy-Report dient der verständlichen Darstellung des Strom-, Wärme- und Wasserverbrauchs (vgl. Abbildung 16) und folgt somit dem Interventionstyp Monitoring/Feedback. Die Haushalte erhalten regelmäßig Kennzahlen und Details zum aktuellen sowie vergangenen Verbrauchszeiträumen, um Transparenz über den Energiebedarf zu schaffen. Zusätzlich wird aufgezeigt, wie sich der Energieverbrauch der Bewohnenden im Vergleich zum gesamten Quartier verhält. Durch den Vergleich im Quartier sollen die Bewohnenden bei einem überdurchschnittlichen Verbrauchsverhalten zur Energieeffizienz und Suffizienz motiviert werden. Der Home-Energy-Report ist ansprechend gestaltet, um eine regelmäßige Nutzung und somit eine erfolgreiche Anreizwirkung sicherzustellen [27]. Folglich werden die komplexen Inhalte und Werte (kWh, Watt usw.) für die Benutzenden klar verständlich aufbereitet und vereinfachende Grafiken angewendet. Zusätzlich zu den Verbräuchen kann eine individuelle Schwelle als Kontrollinstanz und zur Sensibilisierung für den eigenen Verbrauch angezeigt werden. So kann anschaulich aufgezeigt werden, wie sich ein Haushalt bspw. im Vergleich zum Vorjahr in den Kategorien Strom- und Wasserverbrauch verbessert hat, jedoch in der Kategorie Wärme mehr Energie verbraucht hat. Um einen aussagekräftigen Home-Energy-Report zu erstellen, wird eine umfangreiche technische Ausstattung und für jede Kategorie des Energieverbrauchs entsprechende Sensoren benötigt.

Darüber hinaus werden in der Quartiers-App allgemeine Tipps angezeigt, die einfache Möglichkeiten zum Energiesparen verständlich aufarbeiten und darstellen. Dabei wird darauf geachtet, nicht nur Instruktionen zu geben, sondern auch ausführlichere Erklärungen und Begründungen anzubieten (vgl. Abbildung 17). Neben den Tipps zum energieeffizienten Verhalten werden auch FAQ zu verschiedenen Themen, wie dem Klimawandel oder verschiedenen Technologien beantwortet. Die Tipps und das FAQ können dem Interventionstyp Informationsvermittlung zugeordnet werden.



Abbildung 16 Auszug aus der Quartiers-App zum Home-Energy-Report.



Abbildung 17 Auszug aus der Quartiers-App zu „Tipps und FAQ“.

### 3.3 Empfehlungen zur Nutzung von Anreizmechanismen in Quartieren

Geeignete Anreizmechanismen können in Quartieren dazu beitragen, Bewohnende und Nutzende zu energieeffizientem Verhalten zu motivieren. Wie in Kapitel 3.1 dargestellt, existieren verschiedene Interventionsarten wie Bequemlichkeit, Informationsvermittlung, Monitoring/Feedback und sozialer Einfluss, die mithilfe von Anreizsystemen implementiert werden können. Die Auswahl der Anreizsysteme muss dabei individuell nach Zielgruppe und Kontext erfolgen. Entscheidend ist hierbei der Nutzungstyp des Quartiers, die vorhandene Energieinfrastruktur sowie der Umfang der digitalen Infrastruktur und deren Organisation. Für Wohnquartiere sind andere Anreizsysteme erforderlich als für Gewerbequartiere. Während im ersten Fall die Bewohnenden im Fokus stehen, zielen die Maßnahmen im Gewerbebereich auf die Mitarbeitenden der Unternehmen sowie auf Besucher ab. In Unternehmen kann ein Großteil der Mitarbeitenden über zentrale Plattformen, Bildschirme und Aushänge erreicht werden, welche aufgrund von Datenschutz primär aggregierte Analysen visualisiert. Für Wohnquartiere bedarf es hingegen individuellerer Lösungen, die den Bewohnenden direkt zugänglich sind und wohnungsspezifische Energieverbräuche beinhaltet. Dazu sollten bei allen Quartiersarten die soziodemographischen Merkmale und die damit assoziierte Technik-Affinität der Nutzenden bei der Implementierung eines Anreizsystems berücksichtigt werden. Die Art der Energieinfrastruktur beeinflusst, welches Verhalten gefördert werden soll. Bei einer installierten PV-Anlage im Quartier ist beispielsweise ein hoher Grad an Eigenverbrauch erwünscht, der durch tarifliche Anreize oder durch das Anreizen bestimmter Ladezeiten bei vorhandener (öffentlicher) Ladeinfrastruktur gefördert werden kann. Die digitale Infrastruktur bestimmt, wie und in welcher Auflösung auf Verbrauchsdaten zugegriffen werden kann und inwieweit die Quartiersbewohnenden und -nutzenden erreicht werden können. In traditionellen Quartieren wie dem Prinz-Karl Viertel, die über geringe digitale Infrastruktur verfügen, erfolgt die Informationsvermittlung oft über analoge Kanäle wie Flyer oder Aushänge. In moderneren Quartieren wie Überlingen können Echtzeitdaten und Empfehlungen über verteilte Monitore oder eine Quartiers-App kommuniziert werden. Die Organisationsform des Quartiers spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle. Existiert ein zentraler Quartiersbetreiber, kann dieser die Anreizwirkung gezielt steuern. In dezentral organisierten Quartieren wie

dem in Kissing, wo die Einheiten bis auf die gemeinsame Wärmeversorgung unabhängig voneinander operieren, sind zentrale Anreize schwerer zu setzen und es müssen zuerst gemeinsame Strukturen geschaffen werden.

---

#### Weiterführende Literatur:

- Graf-Drasch, Valerie; Keller, Robert; Meindl, Oliver; Röhrich, Felix (2023): The Design of Citizen-Centric Green IS in Sustainable Smart Districts. In Business & Information Systems Engineering 65, p. 521-538. DOI: 10.1007/s12599-023-00821-y.
  - Berger, Michelle; Greinacher, Eilas; Wolf, Linda: Digital Nudging to Promote Energy Conservation Behavior: Framing and Default Rules in a Smart Home App. In Proceedings of the 30th European Conference on Information Systems (ECIS), 2022.  
[https://aisel.aisnet.org/ecis2022\\_rp/92/](https://aisel.aisnet.org/ecis2022_rp/92/).
  - Graf-Drasch, Valerie; Meindl, Oliver; Voucko-Glockner, Hannes (2022): Life is a Journey in Smart and Sustainable Districts. In Proceedings of the 17th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI), 2022.
  - Berger, Michelle; Lange, Theresa; Stahl, Bastian (2022): A Digital Push with Real Impact: Mapping Effective Digital Nudging Elements to Contexts to Promote Environmentally Sustainable Behavior. In Journal of Cleaner Production 380 - 134716.  
DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134716.
  - Bonenberger, Lukas; Graf-Drasch, Valerie; Meindl, Oliver (2021): Handlungsempfehlungen für die Gestaltung mobiler Apps in smarten und nachhaltigen Quartieren. In HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik Bd. 58. Heft 5, p. 1163-1179. DOI: 10.1365/s40702-021-00769-1 .
  - Gimpel, Henner; Graf, Vanessa; Graf-Drasch, Valerie (2020): A comprehensive model for individuals' acceptance of smart energy technology: a meta-analysis. In Energy Policy 138 – 111196. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111196.
-

## 4 Klimafreundliche Energieversorgung in Quartieren

Um die Klimaziele zu erreichen, muss die Energieversorgung so emissionsarm wie möglich gestaltet werden. Quartiere können hierzu einen wichtigen Beitrag leisten, indem sie einzelne Verbraucher zu einer Einheit zusammenfassen. Durch die Bildung solcher Einheiten können Synergieeffekte durch die Verknüpfung verschiedener Nutzungstypen und Sektoren erzielt werden. Zusätzlich lassen sich Skaleneffekte durch die gemeinsame Nutzung von Energieinfrastrukturen realisieren [28]. Durch den Übergang zu erneuerbaren Energiequellen und energieeffizienten Technologien können Quartiere dazu beitragen, Treibhausgasemissionen zu reduzieren, Luftverschmutzung zu verringern und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu minimieren. Darüber hinaus können sie die Energiekosten senken und für bezahlbaren Wohnraum sorgen [8]. Bei der Wahl einer geeigneten Energieinfrastruktur bedarf es jedoch stets einer individuellen Quartiersanalyse [29]. Die Nutzung der Quartiere und das sich ableitende Profil des Energiebedarfs ist unter anderem entscheidend für die optimale Ausrichtung einer PV-Anlage oder Dimensionierung von Energiespeichern. Im Folgenden wird in Kapitel 4.1 die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieinfrastruktur am Beispiel des Quartiers Überlingen gezeigt und werden die Einflussfaktoren auf Investitionsentscheidungen betrachtet. In Kapitel 4.2 wird auf Basis von Quartiersdaten die Integration von PV-Erzeugung in Quartiere untersucht und werden Einflussfaktoren auf den Ertrag herausgearbeitet. Zuletzt wird in Kapitel 4.3 auf die Verwendung des lokal im Quartier produzierten Stroms eingegangen und die Vermarktung über Mieterstrommodelle untersucht.

### 4.1 Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieinfrastruktur

Ein zentraler Aspekt für die erfolgreiche Umsetzung von emissionsarmen Quartiersprojekten sind Investitionen in die Energieinfrastruktur. Diese Infrastruktur bietet die Basis, um lokal Energie zu erzeugen und zu nutzen. Trotz teils sinkender Preise für PV-Module und Batteriespeicher werden jedoch die hohen Anschaffungskosten als Hürde identifiziert [30].

Im Rahmen des Förderprogramms Stadtquartier 2050 wurde für das Quartier Überlingen die Wirtschaftlichkeit der geplanten Energieinfrastrukturinvestitionen für das Neubauquartier in Überlingen bewertet. Dabei kam die Kapitalwertmethode zum Einsatz, die alle zukünftigen Rückflüsse und Kosten<sup>1</sup> über den Betrachtungszeitraum hinweg berücksichtigt und den Zeitwert des Geldes einbezieht. Der Kapitalwert ist intuitiv verständlich: Ein positiver Kapitalwert signalisiert eine lohnende Investition, während ein negativer Kapitalwert darauf hindeutet, dass die Investition vermieden und im Kalkulationszins zum Ausdruck kommende Opportunität realisiert werden sollte.

#### 4.1.1 Lernen: Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Energieinfrastruktur

Bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung des Quartier-Neubaus in Überlingen wurde eine Basisvariante einer klimafreundlichen Variante gegenübergestellt. Die Basisvariante beinhaltet die Wärmeversorgung über einen Gaskessel sowie Solarthermie mit der Deckung des Stromverbrauchs aus dem öffentlichen

---

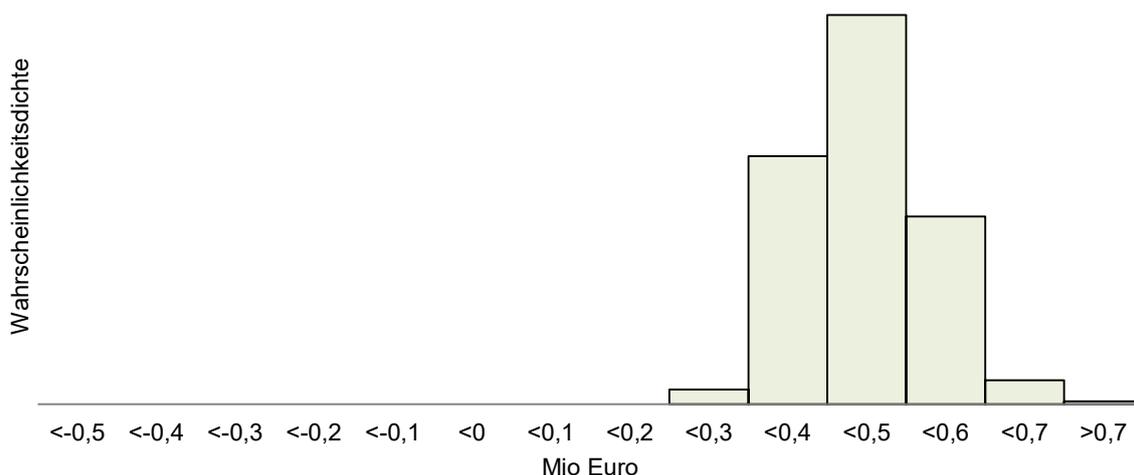
<sup>1</sup> Finanzwirtschaftlich korrekt müsste bei Anwendung der Kapitalwertmethode von Cashflows bzw. Ein- und Auszahlungen gesprochen werden, da nicht auszahlungswirksame Kosten wie z.B. Abschreibungen nicht abgezinst werden dürfen. Da die im Folgenden diskutierten Rückflüsse und Kosten jedoch alle zahlungswirksam sind, werden in diesem Whitepaper zum leichteren Verständnis für alle Lesenden diese üblicheren Begriffe verwendet.

Netz. In der klimafreundlichen Variante wird eine Wärmezentrale mit einer Hackschnitzelanlage, Solarthermie sowie einem gasbetriebenen BHKW eingerichtet. Die Stromversorgung wird über eine PV-Anlage in Kombination mit einem Batteriespeicher realisiert. In der Basisvariante wird der KfW 70 Standard für die Gebäude des Quartiers herangezogen, während für die klimafreundliche Variante der KfW 40+ Standard als Grundlage der Bewertung angesetzt wird.

Die Berechnungen im Zuge des Projektes bauen auf den Energiepreisen des Jahres 2019 und im Hinblick auf das damals sehr niedrige Zinsniveau und die hervorragende Bonität der BGÜ als Bauherr auf einem Kalkulationszins von 0,5 Prozent auf. Für die Berechnung des Kapitalwerts wurde eine Laufzeit von 20 Jahren angenommen. Zur Risikoabschätzung wurden auf Basis historischer Preise für Strom, Gas, Fernwärme und Hackschnitzel 2.500 verschiedene Szenarien für die zukünftige Preisentwicklung dieser Energieträger erstellt. Auf Basis dieser Szenarien wurde der Kapitalwert aus Sicht des Gesamtquartiers, des Investierenden sowie der Mietenden berechnet. Für die Berechnung wurde ein Kalkulationszins von 0,5 Prozent angenommen, welcher den realen Investitionsbedingungen der Baugenossenschaft im Projekt entsprach.

Aus Sicht des Quartiers zeigen die Investitionen in die klimafreundliche Variante des Quartiers einen positiven Kapitalwert (vgl. Abbildung 18). Somit ist die klimafreundliche Variante des Quartiers wirtschaftlicher als die Basisvariante. Der Erwartungswert des Kapitalwertes beträgt 0,44 Mio. Euro, wobei in keinem Szenario ein negativer Kapitalwert auftritt und demnach die Investition in jedem der 2.500 Szenarien als wirtschaftlich zu bewerten ist. Das 5-Prozent-Quantil, die Schwelle, unter der die geringsten fünf Prozent der errechneten Kapitalwerte liegen, kann, als Worst-Case betrachtet werden. Das Quantil liegt bei 0,32 Mio. Euro und fällt damit mit knapp Dreiviertel des Erwartungswertes hoch aus. Die Investitionen sind demnach auch im Worst-Case als wirtschaftlich zu bewerten.

Verteilung des Kapitalwert mit Basis 2019

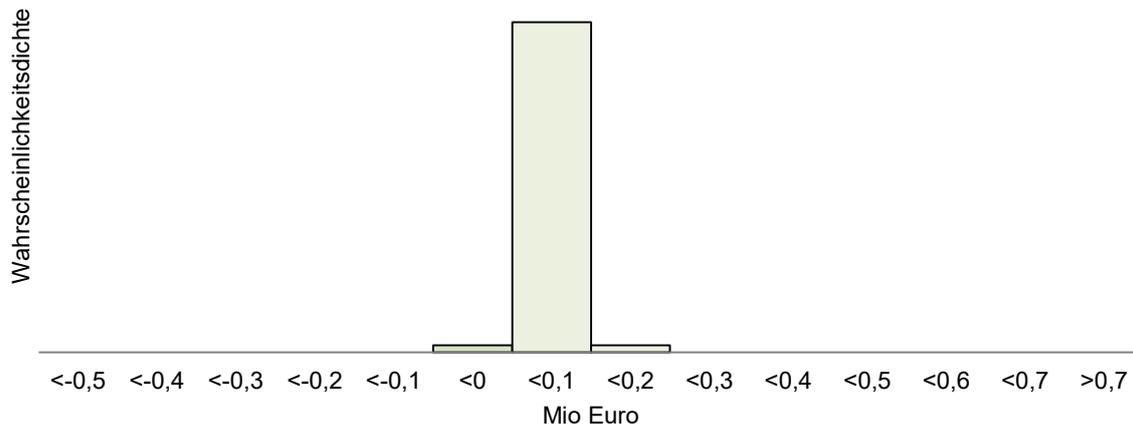


**Abbildung 18** Verteilung des Kapitalwerts aus Sicht des Quartiers mit den Jahren 2019 als Basis der Energiepreisprognosen.

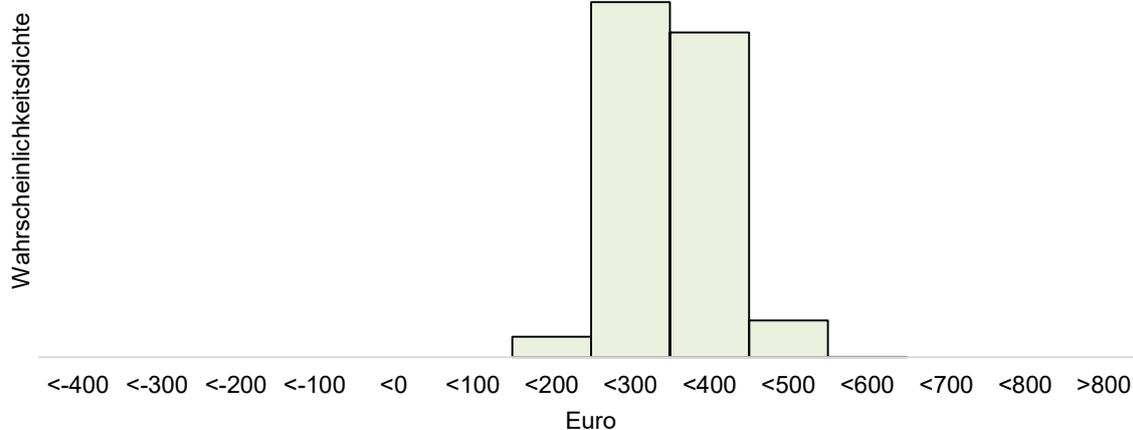
Betrachtet man den Kapitalwert aus Sicht des Investierenden, beträgt dieser im Mittel 0,05 Mio. Euro. Das Risiko eines negativen Kapitalwerts liegt bei zwei Prozent, und im Worst-Case-Szenario (das 5-Prozent-Quantil) beträgt der Kapitalwert 0,01 Mio. Euro (vgl. Abbildung 19). Für die Mietenden führt die Investition in die klimafreundlichere Variante zu einer durchschnittlichen Mietsteigerung von 0,75 Euro

pro Quadratmeter und Monat, bietet jedoch durchschnittliche Energiekosteneinsparungen von 303 Euro pro Wohneinheit (vgl. Abbildung 19). Insgesamt zeigen die Ergebnisse für das Quartier in Überlingen, dass die klimafreundlichere Variante wirtschaftliche Vorteile für alle beteiligten Stakeholder bietet.

Kapitalwert aus Sicht der Investierenden mit Basis 2019



Jährliche Einsparung der Mietenden mit Basis 2019



**Abbildung 19** Verteilung des Kapitalwerts aus Sicht der Investierenden und Verteilung der jährlichen Einsparung der Mietenden mit den Jahren 2019 als Basis der Energiepreisprognosen.

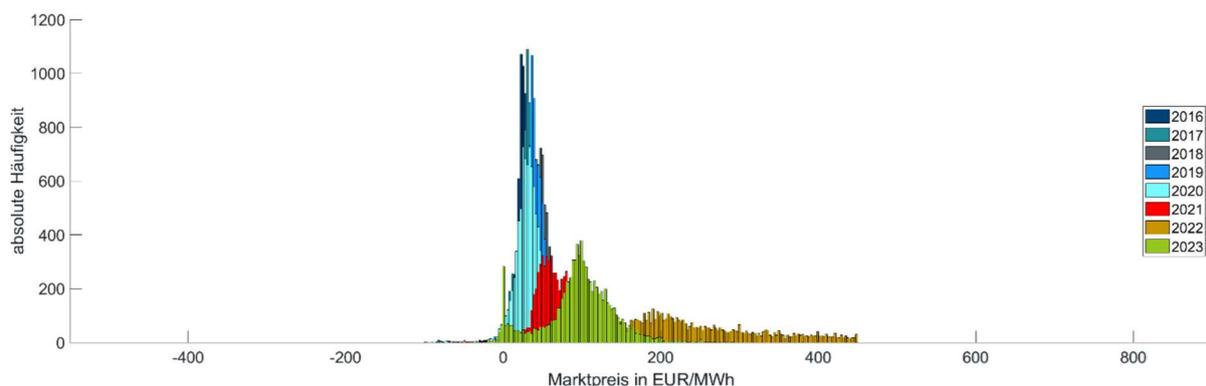
#### 4.1.2 Übertragung: Einfluss der Energiepreise und des Kalkulationszinssatzes auf die Wirtschaftlichkeit von Energieinfrastruktur

Um die Ergebnisse aus dem Quartier Überlingen einzuordnen und auf zukünftige Quartiersprojekte übertragen zu können, werden im Folgenden die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Kapitalwert und damit die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieinfrastruktur in Quartieren eingeordnet: Die wesentlichen Einflussfaktoren sind die Energiepreise und deren zukünftige Entwicklung sowie der Kalku-

lationszins. Zur Verdeutlichung des Einflusses beider Faktoren wurden die Berechnungen für das Quartier in Überlingen mit den Energiepreisen und einer entsprechenden Entwicklung aus der Perspektive des Jahres 2022 heraus durchgeführt sowie verschiedene Zinsentwicklungen betrachtet. Hierbei wurde ein Niedrigzinsszenario mit einem Kalkulationszins von einem Prozent, ein Normalzinsszenario mit einem Kalkulationszins von vier Prozent sowie ein Hochzinsszenario von sieben Prozent analysiert.

Bei einer Betrachtung der Energiepreisentwicklung vom Jahr 2019 auf das Jahr 2020 zeigt sich, dass die Preise für die benötigten Energieträger im Quartier mit der klimafreundlichen Variante im Mittel um fast zehn Prozent steigen. Der Erwartungswert des Kapitalwerts aus Sicht des Quartiers steigt hierdurch von 0,44 Mio. Euro auf 1,14 Mio. Euro bei gleichbleibendem Kalkulationszins. Die Investitionen in eine klimafreundliche Energieinfrastruktur können bei gestiegenem Energiepreisniveau vor allem die Energiekosten der Mietenden bedeutend senken – die durchschnittliche jährliche Einsparung steigt von 303 Euro pro Wohneinheit auf 831 Euro pro Wohneinheit. Dies zeigt, dass vor dem Hintergrund steigender Energiepreise die Investitionen in eine moderne, klimafreundliche Energieinfrastruktur die Quartiersbewohnenden langfristig gegen etwaige Preisentwicklungen absichern kann [31].

Neben der in den Berechnungen angestiegenen Energiepreise muss in Zukunft auch die Volatilität von Energiepreisen, vor allem von Strompreisen, berücksichtigt werden. Im Jahr 2020 betrug das Minimum der Day-Ahead Preise auf der Strombörse -90 EUR/MWh bei einem Maximum von 122 EUR/MWh und einem Durchschnittspreis von 38 EUR/MWh. Im Jahr 2022 betrug das Minimum nur -20 EUR/MWh bei einem Maximum von 871 EUR/MWh und einem Durchschnittspreis von 235 EUR/MWh. Im Folgejahr sank das Minimum auf 500 EUR/MWh bei einem Maximum von 524 EUR/MWh (vgl. Abbildung 20). Durch den weiteren Zubau an fluktuierend einspeisenden, erneuerbaren Energieanlagen ist zu erwarten, dass dieser Trend der zunehmenden Volatilität in Zukunft weiter ansteigt. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieinfrastruktur wird häufig auf Basis historischer Werte getroffen, jedoch ist bereits heute absehbar, dass die Höhe und Volatilität der Energiepreise sich ändert und die Energiekosten beeinflusst. Daher müssen Investitionen im Hinblick auf die Zukunft und nicht die Vergangenheit getätigt werden. Zudem können weitere Investitionen in Flexibilität die steigende Volatilität der Preise nutzen und die Wirtschaftlichkeit weiter steigern.



**Abbildung 20** Verteilung des Day-Ahead Börsenstrompreis in Deutschland von 2016 bis 2023.

Quelle: [32].

In Bezug auf den Kalkulationszins verändert sich der Kapitalwert aus Quartierssicht umgekehrt proportional zum Zinssatz; bei steigendem Zinssatz sinkt der Kapitalwert und folglich die Wirtschaftlichkeit des Quartiers. In Tabelle 1 wird die Zinsentwicklung dem entsprechenden Kapitalwert gegenübergestellt.

**Tabelle 1** Analyse des Kapitalwerts auf Basis verschiedener Zinsszenarien.

	Basis der Energiepreise: 2019	Basis der Energiepreise: 2022
<b>Niedrigzinsszenario</b> (1 % Kalkulationszins):		
- Durchschnittlicher Erwartungswert des Kapitalwerts aus Quartierssicht:	0,37 Mio. EUR	1,01 Mio. EUR
- Durchschnittlicher Erwartungswert des Kapitalwerts aus Sicht des Investierenden:	0,391 Mio. EUR	0,039 Mio. EUR
- Durchschnittliche, jährliche Einsparung der Mieter:	255 EUR/Jahr	751 EUR/Jahr
<b>Normalzinsszenario</b> (4 % Kalkulationszins):		
- Durchschnittlicher Erwartungswert des Kapitalwerts aus Quartierssicht:	0,04 Mio. EUR	0,47 Mio. EUR
- Durchschnittlicher Erwartungswert des Kapitalwerts aus Sicht des Investierenden:	0,001 Mio. EUR	-0,023 Mio. EUR
- Durchschnittliche, jährliche Einsparung der Mieter:	30 EUR/Jahr	377 EUR/Jahr
<b>Hochzinsszenario</b> (7 % Kalkulationszins):		
- Durchschnittlicher Erwartungswert des Kapitalwerts aus Quartierssicht:	-0,16 Mio. EUR	0,14 Mio. EUR
- Durchschnittlicher Erwartungswert des Kapitalwerts aus Sicht des Investierenden:	-0,006 Mio. EUR	-0,033 Mio. EUR
- Durchschnittliche, jährliche Einsparung der Mieter:	-118 EUR/Jahr	133 EUR/Jahr

Tabelle 1 zeigt, dass auch das Zinsniveau erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Investitionen in das Quartier und die Einsparungen der Mietenden hat. Unter Verwendung der Energiepreise von 2019 fällt der Erwartungswert des Kapitalwerts aus Quartierssicht im Normalzinsszenario im Vergleich zum Niedrigzinsszenario um neunzig Prozent von 0,37 Mio. EUR auf 0,04 Mio. EUR. Im Hochzinsszenario sinkt der Kapitalwert auf -0,16 Mio. EUR – die Investition in das Quartier ist aus dieser Perspektive nicht mehr wirtschaftlich, da die Kosten den Zeitwert der erwarteten Einsparungen übersteigen. Mit dem Jahr 2022 als Basis bleiben die Investitionen im Hochzinsszenario zwar wirtschaftlich, jedoch verringert sich der Kapitalwert im Vergleich zum Niedrigzinsszenario um 86 Prozent. Aus der Perspektive der Investierenden wird die Investition im Normalzinsszenario durchschnittlich unwirtschaftlich, wohingegen die Mietenden noch immer eine durchschnittliche Einsparung von 377 EUR pro Jahr erzielen.

Die Analyse der Wirtschaftlichkeit unterstreicht die Notwendigkeit von Investitionen in klimafreundliche Energieinfrastruktur und verdeutlicht deren positive Auswirkungen für die Mietenden. Sie zeigt jedoch auch, dass für eine genaue Bewertung der Wirtschaftlichkeit solcher Investitionen mehrere Faktoren berücksichtigt werden müssen, da das Zinsniveau sowie die Energiepreise einen essenziellen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. Entscheidungen dürfen nicht allein auf Basis historischer Daten getroffen werden, sondern müssen zukünftige Entwicklungen berücksichtigen. Neben den Energiepreisen müssen auch veränderte Rahmenbedingungen wie Preisvolatilität berücksichtigt werden, sowie die Möglichkeiten, diese durch Technologien wie Batteriespeicher zu nutzen, um den Energieverbrauch kosteneffizient zu steuern.

## 4.2 Konzeptionierung von PV-Anlagen und deren Erzeugung

PV-Anlagen sind ein Beispiel für Energieinfrastruktur, in die investiert werden kann, um sowohl die Stromkosten zu reduzieren als auch die Emissionen zu senken. Die Bundesregierung hat das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 PV-Anlagen mit einer Gesamtnennleistung von 215 GWp in Deutschland zu installieren. Diese sollen zur Hälfte auf Dachflächen und zur anderen Hälfte auf Freiflächen installiert werden [33]. PV-Anlagen bieten dabei den Vorteil, nicht nur auf Neubauten installiert werden zu können, sondern stellen eine effektive Maßnahme dar, um Bestandsgebäude klimafreundlicher zu gestalten [34]. Abhängig von der Eigentümerstruktur und dem Betriebsmodell kann eine PV-Anlage entweder vollständig ins Netz einspeisen und durch Einspeisevergütung oder Direktvermarktung Einnahmen generieren, oder sie kann genutzt werden, um den hauseigenen Stromverbrauch zu decken [35]. Der Betrieb einer PV-Anlage bietet im Quartier entscheidende Vorteile. Durch die Versorgung mehrerer Gebäude/Parteien anstatt nur eines einzelnen Hauses/einer Partei, kann der Eigenverbrauch des von der PV-Anlage produzierten Stroms erhöht werden und somit mehr lokal erzeugter Strom direkt im Quartier genutzt werden [36]. Um den Grad des Eigenverbrauchs weiter zu erhöhen, können beispielsweise Batteriespeicher eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Verschiebung des steuerbaren Stromverbrauchs der Bewohnenden durch ein intelligentes Energiemanagement in die Stunden mit hoher PV-Stromerzeugung [37, 38].

### 4.2.1 Lernen: Realistischer PV-Ertrag in Augsburg

Im Zuge des Projektes wurden unter anderem auch Daten von den vorhandenen PV-Anlagen in den Quartieren erhoben und analysiert. Die PV-Anlagen befinden sich dabei in Quartieren mit verschiedenen Nutzungstypen und Größen. Es wurden die PV-Anlagen im Büroquartier Weitblick, dem Gewerbequartier Hochzoll-Mitte sowie dem Bürogebäude BCM untersucht. Zusätzlich wurden die Ergebnisse der realitätsnahen Simulation, welche im Zuge des PV-Konzepts im Quartier Toni-Park erstellt wurden, berücksichtigt. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse für jedes Quartier in Tabelle 2 zusammengefasst.

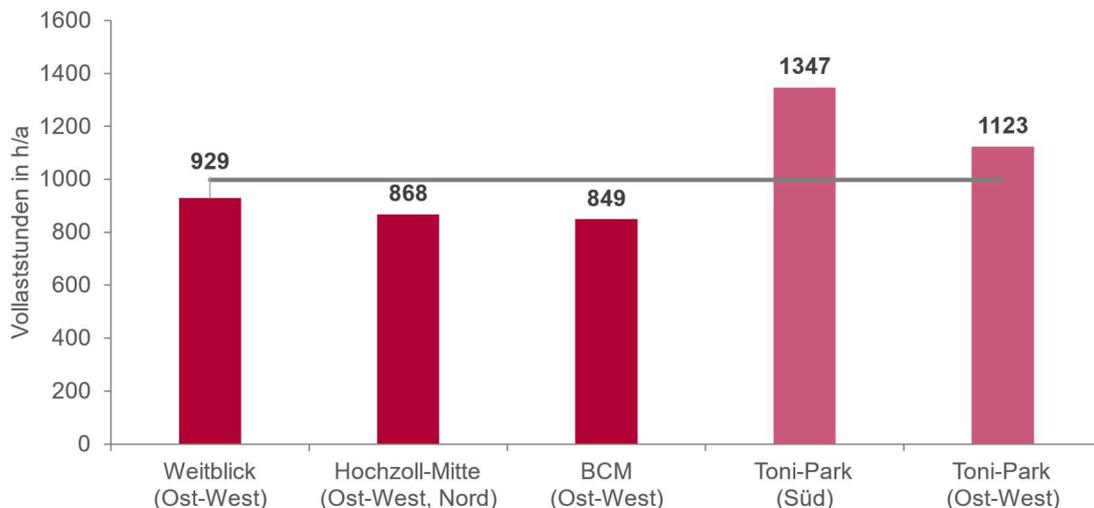
**Tabelle 2** Überblick über die Charakteristika der PV-Anlagen in den betrachteten Quartieren in Augsburg.

	Weitblick	Hochzoll-Mitte	BCM	Toni-Park (Variante 1)	Toni-Park (Variante 2)
<b>Nennleistung in kWp</b>	227	74 und 83	44	1.000	1.000
<b>Erzeugung in MWh</b>	211	152	38	1.347	1.123
<b>Ausrichtung</b>	Ost und West 10 Grad	Nord und Ost 10 Grad	Ost und West 10 Grad	Süd 30 Grad	Ost und West 10 Grad
<b>Volllaststunden</b>	929	868	849	1.347	1.123

Die PV-Anlagen der Quartiere Weitblick, Hochzoll-Mitte und BCM erzielen im Jahr 2022 (bzw. im Falle des BCMs im Jahr 2023) knapp 850 bis 930 Volllaststunden. Das Bürogebäude BCM verzeichnet mit

849 Volllaststunden den geringsten Wert, dicht gefolgt vom Quartier Hochzoll-Mitte mit 868 Stunden. Das Quartier Weitblick zeigt mit 929 Volllaststunden den höchsten Wert. Die Größe der PV-Anlagen variiert von 44 kWp auf dem BCM-Gebäude bis zu 227 kWp im Quartier Weitblick. Die Ursachen für die geringen Volllaststunden liegen hauptsächlich in der Ausrichtung und Verschattung der Anlagen. So sind die Anlagen in den drei genannten Quartieren in Ost-West-Ausrichtung installiert, mit zusätzlichen Modulen nach Norden im Quartier Hochzoll-Mitte. Besonders das Bürogebäude BCM erfährt starke Verschattung, da sich die PV-Anlage auf dem westlichen Dach des 13. Stockwerks befindet und der östliche Teil des Gebäudes um zwei Stockwerke höher ist. Ein Notausgang-Treppenhaus an der westlichen Fassade verstärkt die Verschattung zusätzlich. Das Quartier Hochzoll-Mitte ist maßgeblich von niedrigeren Wohnhäusern und der Bahnlinie München-Augsburg umgeben. Daher sind die PV-Dachanlagen des Quartiers nur wenig bis keine Verschattung ausgesetzt. Das Quartier Weitblick ist ein freistehendes Gebäude und somit keiner Verschattung ausgesetzt. Dies spiegelt sich auch in den Volllaststunden in Tabelle 2 wider.

Für das Quartier Toni-Park wurde im Zuge der Erstellung eines PV-Konzeptes eine Simulation einer vergleichsweise großen PV-Anlage mit Südausrichtung (Variante 1) oder Ost-West-Ausrichtung (Variante 2) durchgeführt. Durch die Süd-Ausrichtung und den simulativen Charakter (keine Verschattung oder berücksichtigt) weist der Toni-Park in der ersten Variante 1.347 Volllaststunden auf. In der zweiten Variante mit Ost-West-Ausrichtung wurden 1.123 Volllaststunden (minus 16 Prozent im Vergleich zu Variante 1) errechnet.



**Abbildung 21** Volllaststunden der betrachteten PV-Anlagen der Quartiere in Augsburg.

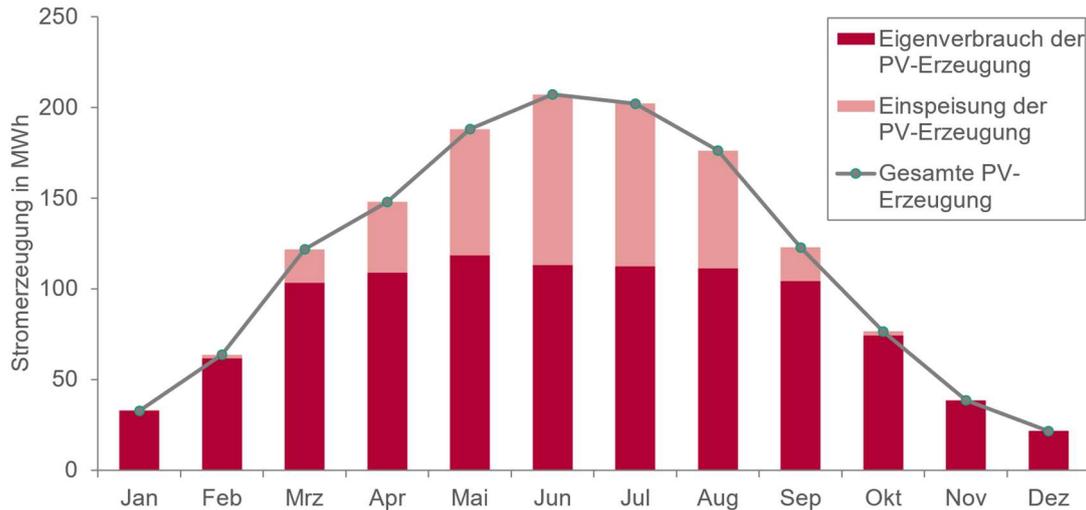
Grundsätzlich können für PV-Anlagen in Deutschland in der Regel Volllaststunden von 800 bis 1.100 h/a realisiert werden, wobei der Wert im Süden Deutschlands höher und im Norden geringer ausfällt [39]. PV-Anlagen mit Südausrichtung erzielen grundsätzlich mehr Volllaststunden als diejenigen mit Ost-, West- oder Ost-West-Ausrichtung [40]. Jedoch müssen bei der Auswahl der Ausrichtung weitere Einflussfaktoren beachtet werden. Die Ost-West-Ausrichtung bietet bspw. ein gleichmäßigeres Erzeugungprofil [41], welches in der Regel besser zum Verbrauchsprofil passt. Die Südausrichtung bedingt eine spät einsetzende Stromerzeugung der PV-Anlage mit einem hohen Peak in der Mittagszeit. Mit einer Ost-West Ausrichtung wird früher am Tag und bis später in die Abendstunden Strom erzeugt, jedoch fällt der Mittagspeak geringer aus. Je nach Nutzung des Gebäudes kann hierdurch ein höherer Eigenverbrauch realisiert werden, da bspw. in Wohnhäusern meist morgens und abends vermehrt

Strom verbraucht wird. Zusätzliche Einflussfaktoren bei der Auswahl der Ausrichtung der PV-Anlage sind mögliche Verschattungen sowie die Gegebenheiten der Dachfläche. Auf Flachdächern bspw. bietet sich oft eine Ost-West-Ausrichtung an, da so die Dachfläche besser ausgenutzt werden und bis zu vierzig Prozent mehr Solarmodule als durch eine Ausrichtung nach Süden Platz finden können [42]. Aufgrund des geringeren Neigungswinkels – bei der Sonneneinstrahlung aus Osten und Westen steht die Sonne tiefer als bei Sonnenstrahlung aus Süden – sind etwaige Anlagen zudem weniger windanfällig und benötigen weniger Ballast. Hierdurch lassen sich PV-Anlagen in Ost-West-Ausrichtung auch auf Flachdächern mit geringerer Traglast realisieren [43]. Ein zusätzlicher Faktor bei der Auswahl der Ausrichtung und Neigung von PV-Anlagen war in der Vergangenheit die sog. 70 Prozent-Regelung. PV-Anlagen bis zu 25 kWp mussten im Zuge dieser Regelung ihre Einspeiseleistung am Netzanschlusspunkt auf siebenzig Prozent ihrer Nennleistung begrenzen, um eine lokale Überlastung des Stromsystems zu verhindern. Folglich wurden in der Vergangenheit viele PV-Anlagen so geplant, dass eine Abregelung nicht notwendig war. Mit der Novelle des EEG 2023 wurde diese Regelung jedoch verändert, so dass Anlagen bis 7 kWp seit dem Jahr 2023 mit voller Leistung einspeisen dürfen. Anlagen zwischen 7 kWp und 25 kWp müssen mit einem intelligentem Messsystem ausgestattet sein, um mit voller Leistung einspeisen zu dürfen. Eine weitere Möglichkeit, den Ertrag aus der PV-Anlage zu maximieren, bieten Nachführsysteme, welche die PV-Module vertikal und/oder horizontal schwenken können und somit der Sonnenstrahlung über den Tagesverlauf folgen. Diese sind allerdings noch mit hohen Kosten verbunden, weshalb sie in der Praxis selten eingesetzt werden [42].

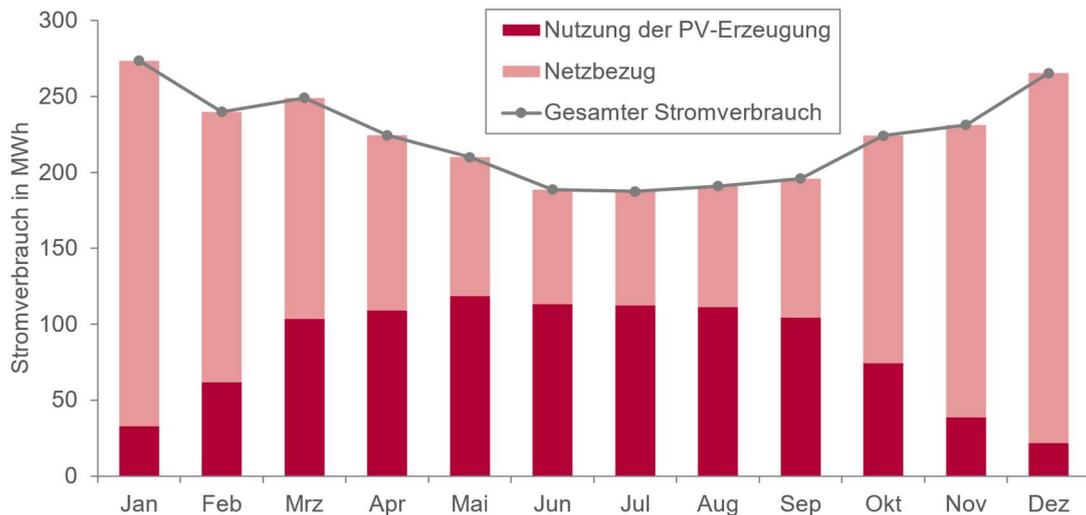
#### 4.2.2 Übertragung: PV-Potenzial im Prinz-Karl Viertel

Aus den Erfahrungen der bereits realisierten bzw. simulierten PV-Anlagen in Augsburg werden im Folgenden anhand des Wohnquartiers Prinz-Karl Viertel die Potenziale einer quartierseigenen PV-Anlage analysiert. Hierzu wurde der Stromverbrauch der Mietenden anhand des Standardlastprofils für Haushalte [44] anhand des Jahresstromverbrauchs im Jahr 2022 modelliert und der erwarteten PV-Erzeugung gegenübergestellt. Auf Basis von öffentlich zugänglichen Kartendaten [13] lässt sich die verfügbare Dachfläche im Prinz-Karl Viertel auf 10.000 m<sup>2</sup> abschätzen. Die mögliche Peakleistung der PV-Anlage wird anhand der verfügbaren Dachfläche und der in Kapitel 4.1.1 betrachteten Anlagen auf 1.400 kWp geschätzt. Die erzeugte PV-Strommenge im Quartier beläuft sich unter der Annahme von 1.000 Volllaststunden – wenig Verschattung und Ost-West-Ausrichtung – auf 1.400 MWh im Jahr. Der Lastgang der PV-Erzeugung wird anhand der Daten aus der realen PV-Erzeugung der Quartiere mit Ost-West-Ausrichtung in Augsburg modelliert.

Die modellierte PV-Erzeugung im Wohnquartier Prinz-Karl Viertel zeigt bei Betrachtung der Strommengen je Monat ein typisches, saisonales Erzeugungsprofil (vgl. Abbildung 22). Im Juni erreicht die PV-Anlage mit einer erzeugten Strommenge von 207 MWh ihren Höchstwert, während im Dezember mit 22 MWh das Minimum erreicht wird. Während der Sommermonate von Mai bis August ist die PV-Stromerzeugung aufgrund der intensiveren Sonneneinstrahlung und der längeren Tage tendenziell höher. Im Gegensatz dazu fällt die Erzeugung in den Wintermonaten aufgrund der geringeren Sonneneinstrahlung und der kürzeren Tage niedriger aus. Der Stromverbrauch der Bewohner im Wohnquartier Prinz-Karl-Viertel wurde durch das Standardlastprofil für Haushalte mit dem Stromverbrauch von 2.681 MWh im Jahr 2022 modelliert. Der höchste monatliche Verbrauch wurde im Januar mit 274 MWh verzeichnet, während der niedrigste Wert im Juli bei 187 MWh lag. Diese saisonalen Schwankungen entsprechen den typischen Charakteristiken des Standardlastprofils.



**Abbildung 22** Erzeugung der PV-Anlage im Prinz-Karl Viertel nach Eigenverbrauch und Einspeisung.



**Abbildung 23** Stromverbrauch des Prinz-Karl Viertels aufgeteilt in Netzbezug und Nutzung der PV-Anlage.

Im Wohnquartier Prinz-Karl Viertel würde die Integration von PV-Anlagen eine direkte Nutzung von PV-Strom ermöglichen und damit den Strombezug aus dem öffentlichen Netz reduzieren. Der jährliche Stromverbrauch von 2.681 MWh kann zu 37 Prozent aus PV-Strom gedeckt werden. Von der gesamten PV-Erzeugung (1.405 MWh) werden ca. siebzig Prozent im Quartier verbraucht und ca. dreißig Prozent (402 MWh) in das öffentliche Netz eingespeist. Während der sonnenreichen Monate von März bis September übersteigt die erzeugte PV-Energie oft den Bedarf der Bewohnenden, wodurch Überschussstrom ins Netz eingespeist wird. Sogar in den Monaten Februar und Oktober ist eine Einspeisung in das öffentliche Netz zu beobachten (vgl. Abbildung 22). In den Wintermonaten hingegen, wenn die PV-Erzeugung geringer ausfällt, muss der Strombedarf größtenteils durch den Bezug aus dem öffentlichen Netz gedeckt werden. Die PV-Anlage erzeugt in 80 Prozent der Viertelstunden des Jahres Strom. Dieser Strom kann in 75 Prozent der Viertelstunden vollständig im Quartier verwendet werden, während in

den restlichen 25 Prozent mit PV-Erzeugung ein Teil dieser Erzeugung in das öffentliche Netz eingespeist wird. In 21 Prozent der Viertelstunden des Jahres reicht die Stromerzeugung der PV-Anlage aus, den Stromverbrauch des Quartiers vollständig zu decken.

Durch die Integration einer PV-Anlage in das Quartier kann Strombezug aus dem öffentlichen Netz um 37 Prozent reduziert werden und können die durch Stromerzeugung verursachten Emissionen in Tonnen CO<sub>2</sub> um 34 Prozent reduziert werden. Bei einem Strompreis für Haushalte von 40 ct/kWh (in Anlehnung an [45]) können die Kosten für den Strombezug um 37 Prozent von knapp über 1 Mio. EUR auf ca. 670 Tsd. EUR gesenkt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 veranschaulicht.

**Tabelle 3** Analyse des Reduktionspotenzials einer PV-Anlage im Prinz-Karl Viertel

	Szenario 1: Ohne PV-Anlage	Szenario 2: Mit PV-Anlage	Veränderung von Szenario 1 zu Szenario 2
<b>Strombezug aus dem öffentlichen Netz in MWh</b>	2.681	1.679	- 37%
<b>Emissionen in Tonnen CO<sub>2</sub></b>	1.032	681	- 34%
<b>Kosten des Netzbezugs (40 ct/kWh) in EUR</b>	1.074.239	672.926	- 37%

Zusammenfassend zeigen die Analysen, welche Potenziale mit der Installation von PV-Anlagen im Quartier am Beispiel des Quartiers Prinz-Karl Viertel gehoben werden können und wie diese zu einer kostengünstigeren und emissionsärmeren Stromversorgung beitragen können.

### 4.3 Verwendung des PV-Stroms und Mieterstrom

Neben dem Stromerzeugungspotential von PV-Anlagen ist zur lokalen Nutzung auch das Vermarktungsmodell entscheidend. Während die Versorgung der Allgemeinanlagen, wie bspw. Aufzüge und Beleuchtung meist relativ einfach umzusetzen ist, bedarf es für die faire Verteilung des erzeugten Stroms an die Mietenden eines Mieterstromkonzepts, welches bestimmte Regularien einhalten muss (vgl. 4.3.1). Darüber hinaus kann der lokal im Quartier erzeugte Strom im Sinne der Sektorenkopplung ebenfalls für die elektrische Bereitstellung von Wärme, Kälte oder auch zur Versorgung der Elektromobilität genutzt werden. Demgegenüber stehen dabei immer die Einnahmen, welche je nach Anlagengröße durch die Einspeisevergütung oder Direktvermarktung erzielt werden können. Entscheidend für die Wahl der Vermarktung des PV-Stroms ist dabei vor allem die Gleichzeitigkeit der Erzeugung und des Verbrauchs. Aufgrund der Korrelation des Tagesverlaufs der Außentemperatur mit der Sonneneinstrahlung bietet sich bspw. die Raumkühlung an. Aufgrund der immer heißer werdenden Sommer steigt der Stromverbrauch durch Klimaanlagen in Deutschland stetig an [46]. Hier kann die Nutzung von PV-Strom oder ggf. dem Überschussstrom (nach der Deckung des Stromverbrauchs der Quartiersnutzenden) eine Möglichkeit bieten, kostengünstig Raumkühlung bereitzustellen. Die Bereitstellung von Wärme mit einer Wärmepumpe durch den lokal produzierten PV-Strom wird vor allem dann attraktiv, wenn der Verbrauch durch Energiespeicher zeitlich von der Erzeugung entkoppelt werden kann. Dies kann entweder durch geeignet dimensionierte Pufferspeicher erfolgen – welche jedoch ausreichend geringe Verluste aufweisen müssen – sowie durch Batteriespeicher [47]. Die fortschreitende Elektrifizierung auch in Quartieren bringt die Notwendigkeit mit sich, abzuwägen, wie der im Quartier erzeugte

Strom genutzt werden soll. Da der Nutzungstyp des Quartiers entscheidend die Nachfrage nach Energie beeinflusst, muss für jedes Quartier einzeln bewertet werden, wozu die lokale Energieerzeugung am sinnvollsten eingesetzt werden kann. Zusätzlich können Energiemanagementsysteme helfen, die Energieflüsse intelligent zu steuern, um die Nutzung im Quartier zu optimieren.

#### 4.3.1 Mieterstrom

Der Grundgedanke des Mieterstroms ist es, durch ein geeignetes Geschäftsmodell Mietenden zu ermöglichen, den im Mietobjekt erzeugten Strom direkt zu verbrauchen. Hierdurch kann der erneuerbar erzeugte Strom unmittelbar vor Ort verbraucht und das öffentliche Stromnetz entlastet werden. Aus Sicht der Mietenden können so Umlagen und Entgelte vermieden und dadurch die Stromkosten reduziert werden. Zugleich kann der Vermietende durch den Einsatz von erneuerbaren Energien die Attraktivität der Immobilie erhöhen sowie potenziell höhere Erlöse durch die Vermarktung des Mieterstroms als durch die Einspeisung in das öffentliche Stromnetz generieren.

Grundsätzlich unterscheidet man beim Mieterstrom zwischen dem geförderten Mieterstrom nach dem EEG und dem nicht geförderten Mieterstrommodell. Die Mieterstromförderung wurde im Jahr 2017 eingeführt und es wurden mehr als 30 MWp an PV-Anlagen installiert, welche die Förderung nutzen. Aufgrund des hinter den Erwartungen der Bundesregierung zurückliegenden Ausbaus von Mieterstromanlagen [48] wurde die Gesetzgebung im Jahr 2021 novelliert. Mit einer Novelle wurde der Mieterstromzuschlag erhöht, um den wirtschaftlichen Betrieb der PV-Anlage dauerhaft sicherzustellen zu können. Zusätzlich kann Mieterstrom seitdem auch im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang des Gebäudes mit der Mieterstromanlage geliefert werden, darf jedoch nicht durch das öffentliche Stromnetz geleitet werden. Durch das Solarpaket der Bundesregierung, welches im April 2024 beschlossen wurde, soll der Ausbau von PV-Anlagen auf Gebäudedächern weiter vorangetrieben werden. Hierzu wird unter anderem das Mieterstrommodell vereinfacht und um gewerblich genutzte Immobilien erweitert sowie das Konzept der gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung in § 42 des EnWg [49] eingeführt. Der Unterschied zwischen dem Mieterstrom und der gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung besteht zum einen darin, dass Zweiteres nicht gefördert wird. Zum anderen entfallen jedoch die Pflichten des Mieterstromanbieters, als Energieversorger mit Lieferantenstatus zu agieren und dieser ist demnach nicht zur Vollversorgung der Verbraucher verpflichtet. Zur Nutzung des Konzepts der gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein: Der Strom darf nicht durch das öffentliche Stromnetz geleitet werden, die Strombezugsmengen des Verbrauchers müssen viertelstündlich gemessen werden und ein Gebäudestromnutzungsvertrag muss vorliegen. Dieser regelt den Anteil am im Gebäude erzeugten PV-Strom, den der Verbraucher erhält. Der Verbraucher hat somit das Recht, zu jeder Zeit den festgeschriebenen Anteil am erzeugten PV-Strom zu erhalten. Zusätzlich werden im Vertrag die Aufteilung der Kosten für den Betrieb und die Wartung festgelegt [50].

Beim geförderten Mieterstrommodell erhalten Anbietende von Mieterstromtarifen, welche die gesamte Energieversorgung für die Mietenden übernehmen, einen Mieterstromzuschlag, der vom Netzbetreiber ausgezahlt wird. Um diesen Zuschlag zu erhalten, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die PV-Anlage muss bei der Bundesnetzagentur angemeldet sein
- Die maximale Leistung der PV-Anlage liegt unter 1 MWp
- Mindestens 40 Prozent der Gebäudefläche werden von Mietenden genutzt
- Die Solaranlagen befinden sich auf dem Dach des Wohngebäudes oder Quartiers
- Nur der Überschuss der PV-Anlage darf ins Netz eingespeist werden
- Mieterstromanbietende übernehmen in der Regel die volle Verantwortung für ihre gesamte Stromversorgung mit den entsprechenden gesetzlichen Rechten und Pflichten
- Maximale Vertragslaufzeit von 2 Jahren und maximale Kündigungsfrist von 3 Monaten
- Der aufgerufene Preis für Mieterstrom darf maximal 90 Prozent des Grundversorgungstarifs im vorliegenden Netzgebiets entsprechen.

Die Fördersätze für Mieterstrom sind in drei Leistungsbereiche unterteilt. PV-Anlagen bis 10 kWp werden im Jahr 2024 mit 2,64 Cent/kWh, bis 40 kWp mit 2,45 Cent/kWh und bis 1 MWp mit 1,65 Cent/kWh bezuschusst [51]. Nicht-geförderte Mieterstrommodelle sind freier in der Preis- und Vertragsgestaltung und umfassen neben PV-Anlagen auch KWK-Anlagen, BHKWs oder Kleinwindanlagen. Für die Umsetzung von Mieterstrom gibt es verschiedene Modelle, die im Folgenden näher beschrieben werden.

### Vermieter als Energieversorger

Für die Einführung eines gemeinsamen Stromkonzepts in einem Mietshaus ist eine Lieferbeziehung zwischen verschiedenen Akteuren erforderlich. In diesem Modell fungiert der Vermietende sowohl als Betreiber als auch als Stromlieferant, der die Mietenden mit Energie versorgt. Der Vermietende ist dabei für den Bau, den Betrieb und die Wartung der Erzeugungsanlage verantwortlich. Die Erzeugungsanlage muss dabei direkt auf dem Gebäude installiert werden. Außerdem ist der Vermietende für den Betrieb der Messstelle und für die Lieferung des Reststroms verantwortlich. Der Mieterstromvertrag wird direkt mit dem Mietenden der Immobilie oder Wohnung abgeschlossen. Eine Teilnahme am Mieterstrommodell ist freiwillig und für den Mietenden nicht verpflichtend [52].

### Contracting-Modell

Um den Mehraufwand für den Vermietenden zu reduzieren, wurde das Contracting-Modell entwickelt. Bei diesem Modell hat der Vermietende die Möglichkeit, sowohl den Anlagen- und Messstellenbetrieb als auch die Reststromlieferung an einen externen Partner zu vergeben. Der externe Partner muss für die Lieferung und den Betrieb von Messstellen entsprechend qualifiziert sein. Damit die Anlage errichtet werden kann, muss zwischen dem Anlagenbetreiber und dem Vermietenden ein Vertrag über die Nutzung der Dachfläche geschlossen werden. Die durch das Mieterstromkonzept erzielten Gewinne müssen jedoch mit dem zusätzlichen Vertragspartner geteilt werden [52].

### Direkte Vermarktung

Die einfachste Möglichkeit eines Mieterstromkonzepts ist der Direktverkauf des selbst erzeugten Stroms vom Vermietenden an die Mietenden. Der Vermietende ist dabei nur der Anlagenbetreiber und muss keine Reststromversorgung garantieren. Die erforderliche Reststromversorgung wird von den Mietenden durch einen zweiten Vertrag mit einem Energieerzeuger abgedeckt. Bei diesem Modell sind keine Fördermittelanträge für den Anlagenbetreiber möglich. Aufgrund der fehlenden Subventionen ist dieses Modell für den Anlagenbetreiber nicht sehr lukrativ. [53, 54]

## Genossenschafts-Modell

Bei Immobilien mit mehreren Mietenden kann das Genossenschafts-Modell angewendet werden. Bei diesem Modell gründen Vermietende eine Genossenschaft, um ihre Gemeinschaft in das Mieterstrommodell einzubinden. Durch die Gründung der Genossenschaft können sich die Mietenden an der Finanzierung der Energieerzeugungsanlage beteiligen und gleichzeitig vom Mieterstrommodell profitieren. Bis zu 20 Prozent der Einnahmen der Genossenschaft können aus dem Betrieb von PV-Anlagen für Mieterstrom generiert werden, ohne dass sie ihre Steuerbefreiung verlieren. [53, 54]

## Pacht-Modell

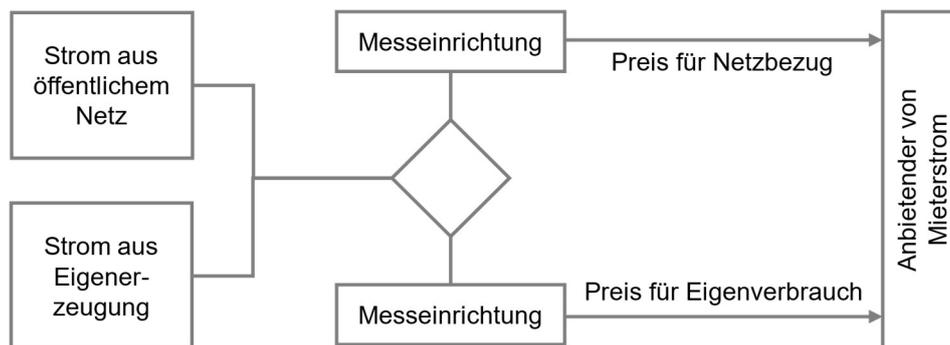
Ähnlich wie beim vorherigen Modell kann eine Genossenschaft gebildet werden, um die Hausgemeinschaft am Mieterstrommodell zu beteiligen. Beim Pacht-Modell wird die Anlage jedoch nicht von der Genossenschaft gekauft, sondern gepachtet. Der erzeugte Strom wird von den Mietenden selbst verbraucht oder in das öffentliche Netz eingespeist. Wartung, Betrieb und Abrechnung müssten von den Mietenden übernommen werden, wobei der Mieterstromzuschlag entfallen würde. [53, 54]

## Hemmnisse der aktuellen Regelungen zum Mieterstrom

Obwohl bereits in verschiedensten Untersuchungen gezeigt werden konnte, dass das Konzept Mieterstrom für die Anbietenden und Mietenden Vorteile bietet, bestehen weiterhin diverse Hemmnisse [55]. Zum einen wird die Komplexität zur Umsetzung von Mieterstromkonzepten als ein zentrales Hindernis benannt. Zum Beispiel muss für den geförderten Mieterstrom der Anbieter die Pflichten eines Energieversorgers hinsichtlich eines Messkonzepts oder der Informationspflicht erfüllen. Neben der Komplexität wird oft der Mehraufwand in Investitionen und im Betrieb als Hindernis genannt, der monetär durch den Förderungsmechanismus nicht angemessen aufgewogen wird. Eine Untersuchung von sieben Mieterstromprojekten zeigt, dass die günstigen Strompreise und der Nachhaltigkeitsaspekt für die Mietenden zwar ein Argument für die Partizipation sind, jedoch oft ein Informationsdefizit von Seiten der Anbieter besteht, welches gepaart mit einer Wechsellüdigkeit die Beteiligungsquote der Mietenden sinken lässt [56]. Nach dem BDEW bedarf es zudem verbesserter Rahmenbedingungen für alle beteiligten Marktpartner für die unkomplizierte Umsetzung von Mieterstromprojekten im Rahmen von Quartierskonzepten. Insbesondere ist der Begriff des „räumlichen Zusammenhangs“ zu erweitern und zu konkretisieren, sodass beim Verbrauch von EE-Strom innerhalb von Quartieren keine oder reduzierte Netzentgelte anfallen. Die derzeitige fehlende Definition des Begriffs „Quartier“ lässt Streitigkeiten mit den Netzbetreibern über den Umfang und die Größe des Quartiers befürchten. Hierfür spricht zudem, dass laut Prognose Mieterstromkonzepte in kleinen Mehrfamilienhäusern mit weniger als zehn Wohneinheiten aufgrund des Initialaufwands oder anderen Hürden oft nicht umgesetzt werden [57].

### 4.3.2 Lernen: Mieterstromtarifmodelle aus dem Quartier Überlingen

Im Zuge des Förderprogramms Stadtquartier 2050 wurden in einem Teilprojekt für die Quartiere in Stuttgart und Überlingen Mieterstrommodelle untersucht. Dabei wurden drei Tarifmodelle erprobt, um die lokale PV-Stromerzeugung optimal zu nutzen. Das Hauptziel dieser Tarife besteht darin, zunächst den Eigenverbrauch des im Quartier erzeugten Stroms zu maximieren, um eine klimafreundliche Versorgung zu fördern, und anschließend Lastspitzen zu reduzieren. Wie in Abbildung 24 dargestellt, setzt sich jedes Tarifmodell aus zwei Komponenten zusammen: Einem Tarif für den Bezug des lokal erzeugten PV-Stroms und einem weiteren Tarif für den Strombezug aus dem Netz. Die beiden Tarifmodelle werden dabei typischerweise in Abhängigkeit zueinander gestaltet.



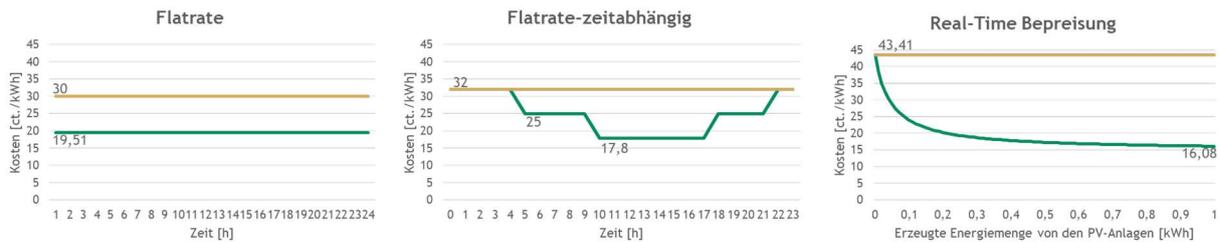
**Abbildung 24** Grundlegendes Prinzip von Strompreistarifen für Mieterstrom aus Sicht des Mietenden. Quelle: in Anlehnung an [58].

In den drei untersuchten Tarifmodellen ist der Netzbezugstarif stets ein Fixpreis, auch genannt Flatrate, der sich jedoch abhängig vom PV-Stromtarif in der Höhe ändert. Die Tarifmodelle sind damit als Einheit aus den beiden Teiltarifen für Netzbezug und PV-Strom zu verstehen. Für die Bepreisung des lokal erzeugten PV-Stroms wurden drei Modellvarianten mit unterschiedlichen Abstufungen entwickelt. Diese unterscheiden sich in der zeitlichen Granularität und der damit verbundenen Komplexität der Preisgestaltung. In der ersten Tarifvariante wird der PV-Strom zu einem festen Preis und damit analog zum Netzbezug, einer Flatrate, angeboten. Die zweite Tarifvariante verwendet eine diskrete, zeitvariable Bepreisung in drei Stufen: Ist kein lokaler PV-Strom vorhanden, wird dieser Zeitraum mit dem Netzstromtarif abgerechnet. Während moderater PV-Stromerzeugung – in unserem Beispiel von 5 bis 10 Uhr und von 18 bis 21 Uhr – wird ein mittlerer Preis unterhalb des Netzstrompreises angewendet. In Zeiten hoher PV-Stromerzeugung – hier von 10 bis 18 Uhr – wird das niedrigste Preisniveau angeboten. Die dritte Tarifvariante implementiert eine stündliche, sog. Real-Time Bepreisung des PV-Stroms. Dabei sollte aufgrund der feingranularen Bepreisung der niedrigste Preis bei maximaler PV-Stromerzeugung geringer sein als der niedrigste Preis in der diskret zeitabhängigen Tarifvariante. Zudem soll der damit verbundene Flatrate-Preis für Strom aus dem öffentlichen Netz nicht unverhältnismäßig steigen. Zur Festlegung des Real-Time Preises des PV-Stroms wurde eine gebrochen rationale Funktion verwendet. Für die Parametrisierung der drei Tarifmodelle war die Vorgabe im Projekt, dass bei gleichbleibendem Strombezug die berechneten Gesamtstromkosten gleichbleiben. Eine Preisreduktion des PV-Stromtarifs geht damit entsprechend einher mit der Erhöhung der Netzbezug-Flatrate. Ziel der Untersuchungen verschiedener Tarifmodelle im Projekt war es, die möglichen Anreizwirkungen der Varianten auf die Mietenden zu analysieren. Sobald der Anreiz angenommen wird, Stromverbrauch in die Mittagsstunden

mit höherer PV-Erzeugung zu verschieben, können folglich die individuellen als auch Gesamtstromkosten, die an den Betreiber gezahlt werden, reduziert werden. Die Parametrisierung der drei Tarifmodelle ist Tabelle 4 zu entnehmen mit Visualisierung in Abbildung 25.

**Tabelle 4** Parametrisierung der Preise für Strom aus dem öffentlichen Netz und der PV-Anlage.

	Flatrate für Strom aus dem öffentlichen Netz	Bepreisung des PV-Stroms
<b>Flatrate &amp; Flatrate</b>	30,00 ct/kWh	19,51 ct/kWh
<b>Flatrate &amp; zeitabhängiger Tarif</b>	32,00 ct/kWh	22 bis 5 Uhr: -
		bis 10 Uhr und 18 bis 21 Uhr: 25,00 ct/kWh
		10 bis 18 Uhr: 17,80 ct/kWh
<b>Flatrate &amp; Real-Time Bepreisung</b>	43,41 ct/kWh	Max: 41,41 ct/kWh Min: 16,08 ct/kWh



**Abbildung 25** Visualisierung der untersuchten Mieterstrommodelle im Quartier Überlingen.

Nach der Festlegung der drei Tarifmodelle werden für vier beispielhafte Tage im Jahr die stündlichen Kosten über einen Tag hinweg analysiert und in Abbildung 26 visualisiert. Im Winter liegen aufgrund der geringen PV-Stromerzeugung die stündlichen Kosten nahe beieinander. Mit erhöhter PV-Stromerzeugung im Sommer sinken die Kosten pro Stunde bei der Real-Time Bepreisung. Im Vergleich der Tarife ist ersichtlich, dass die Real-Time Bepreisung die tatsächliche Stromerzeugung am besten abbildet. Je näher die Bepreisung an die tatsächliche Stromerzeugung gekoppelt ist, desto zielgerichteter kann die Incentivierung der Bewohner, den Stromverbrauch entsprechend anzupassen, erfolgen. Die potenzielle Reduktion der Energiekosten für die einzelnen Bewohner ist bei der Real-Time Bepreisung am höchsten, da bei einem zielgerichtetem Energieverbrauch die günstigste Bepreisung genutzt werden kann.

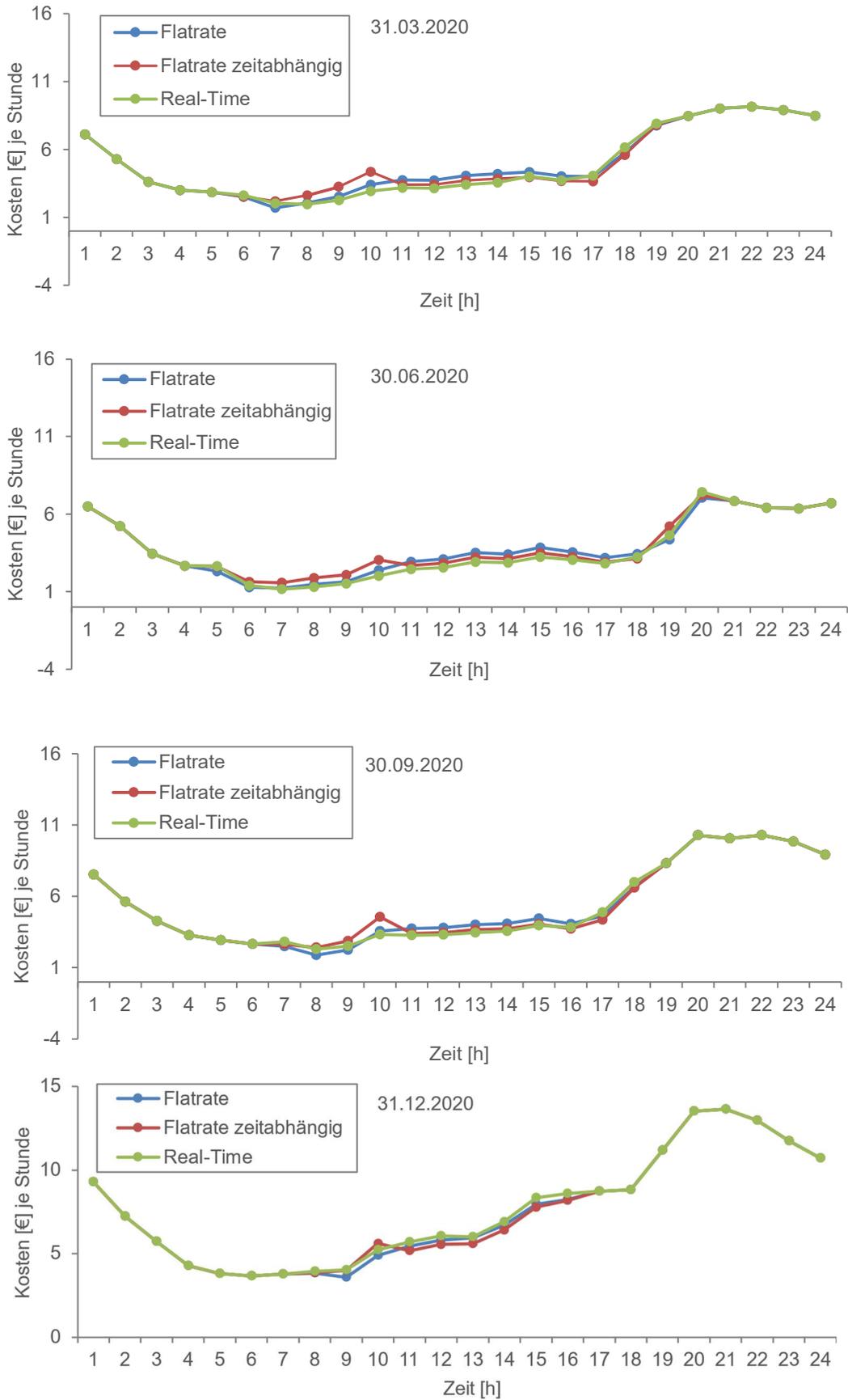


Abbildung 26 Vergleich der Kosten an drei repräsentativen Tagen im Jahr 2020.

Die Analysen im Rahmen des Projekts zeigen, dass feingranulare Tarife die PV-Stromerzeugung im Quartier genau abbilden und Anreize für einen erhöhten Stromverbrauch während hoher Erzeugungszeiten setzen können. Dies ermöglicht den Mietenden, ihren Strombedarf kostengünstiger zu decken. Die Auswirkungen dieser Tarifgestaltung auf den Betreiber sollten jedoch separat betrachtet werden. Die angenommenen Endkundenpreise beinhalten voneinander abweichende Abgaben, denn bei der Nutzung des PV-Stroms fallen bspw. keine Netzentgelte an. Dies kann dazu führen, dass selbst bei einer Reduktion der PV-Stromtarife für den Endkunden der Betreiber weiterhin vergleichbare Erlöse nach Abgaben erzielt. Daher müssen die Anreize und Tarife so gestaltet werden, dass sie sowohl für die Mietenden als auch für den Anbieter einen Mehrwert schaffen. Zusätzlich muss ebenfalls der Nutzen und Aufwand für die Bewohnenden in die Diskussion integriert werden. Laut mehreren Umfragen und Studien bevorzugen Bewohnende im Allgemeinen einen einfacheren, weniger komplexen Tarif, da sie sich mit dem Thema Stromtarif und Einsparungsmöglichkeiten durch Demand Response nicht im Detail beschäftigen [59, 60]. Neben der grundsätzlichen Abneigung gegenüber komplexeren Tarifen muss der Nutzen in Form von Einsparungen ausreichend hoch sein, um aktives Handeln hervorzurufen [61]. Um dieser Komplexität zu begegnen, können verschiedene Ansätze, wie bspw. Gamification genutzt werden, um den Mietenden das aktive Handeln näherzubringen. Zusätzlich können smarte Energiemanagementsysteme dazu beitragen, dass – unter gewissen Randbedingungen der Bewohnenden – der Energieverbrauch nach der Verfügbarkeit der PV-Erzeugung optimiert wird, ohne dass die Bewohnenden aktiv eingreifen müssen.

#### 4.3.3 Übertragung: Mieterstromkonzept im Quartier Prinz-Karl Viertel

Die Untersuchungen in Kapitel 4.2 zeigen die Potenziale einer PV-Anlage im Quartier Weitblick, den Strombezug aus dem öffentlichen Netz zu reduzieren. Im Folgenden soll nun die Vermarktung des Stroms an die Mietenden des Quartiers anhand eines Mieterstromkonzeptes beispielhaft dargestellt werden und dessen jeweilige Auswirkungen auf die Stromkosten der Mietenden.

Das erste Szenario bietet einen Referenzwert, in welchem der gesamte Stromverbrauch aus dem Netz bezogen wird, mit Kosten von 40 ct/kWh. Die Szenarien 2a und 2b untersuchen hingegen ein Mieterstrommodell. Im ersten Mieterstrom Tarifmodell wird für den lokal produzierten PV-Strom ein Festpreis von 35 ct/kWh festgelegt. In einem zweiten Tarifmodell wird ein zeitabhängiger Tarif in Anlehnung an Kapitel 4.3.2 modelliert. In den Stunden zwischen 10 Uhr und 18 Uhr beträgt der Preis für lokalen PV-Strom 24 ct/kWh, zwischen 5 Uhr und 10 Uhr sowie zwischen 18 Uhr und 21 Uhr 32 ct/kWh, während in den restlichen Stunden des Tages der lokale PV-Strom, sofern vorhanden, mit 40 ct/kWh bepreist wird. In dieser Analyse wird jedoch im Gegensatz zu Kapitel 4.3.2 nicht angenommen, dass die Gesamtstromkosten für die Mietenden gleichbleiben müssen, weshalb trotz der reduzierten PV-Strom Tarifmodelle die Kosten für den Netzbezug über alle Szenarien hinweg bei 40 ct/kWh verbleiben. Tabelle 5 zeigt einen Vergleich der Szenarien.

**Tabelle 5** Vergleich der Gesamtstromkosten bei Umsetzung eines Mieterstrommodells.

	<b>Szenario 1:</b> Nur Netzbezug (40 ct/kWh)	<b>Szenario 2a:</b> Fester Mieterstromtarif (35 ct/kWh) und Netzbezug (40 ct/kWh)	<b>Szenario 2b:</b> Zeitvariabler Mieterstrom und Netzbezug (40 ct/kWh)
<b>Kosten für Mietende in EUR</b>	1.074.239	1.023.465 <b>- 5 %</b>	938.894 <b>- 13 %</b>
<b>Kostenanteil für den PV-Strom in EUR</b>	-	350.535	267.143

Wie zu erwarten, sinken die Gesamtstromkosten für die Mietenden aufgrund der geringeren PV-Stromkosten im Vergleich zum Netzbezug bereits bei Einführung des Mieterstrommodells. Der zeitvariable Tarif weist hier die größten Einsparungen auf. Zusätzlich bietet der zeitvariable Tarif Anreize für die Mietenden, ihren Stromverbrauch in die günstigeren sonnenintensiven Stunden zu verschieben, um einen höheren Grad an Eigenverbrauch des im Quartier erzeugten PV-Stroms zu erreichen.

Für den Betreiber des Quartiers und der PV-Anlage sollten die Mieterstrommodelle mit alternativen Vermarktungsformen des PV-Stroms verglichen werden. Neben bzw. zusätzlich zu der Möglichkeit der Gestaltung eines Mieterstromkonzepts kann der Strom der PV-Anlage in das öffentliche Netz eingespeist werden. Die Vergütung für die Einspeisung von PV-Strom ins Netz variiert abhängig von der Anlagengröße und umfasst unterschiedliche Vermarktungsansätze. Anlagen bis 100 kWp fallen in den Bereich der festen Einspeisevergütung gemäß EEG und erhalten je eingespeister Kilowattstunde in Abhängigkeit von der Anlagengröße, Datum der Inbetriebnahme und Installationsart eine feste und vom aktuellen Strommarkt unabhängige Vergütung. Diese Vergütung, die in der Regel über dem durchschnittlichen Marktpreis liegt, fördert gezielt die Installation kleinerer Anlagen und macht sie besonders für Privathaushalte attraktiv. Alternativ steht Anlagenbetreibern die Option der Direktvermarktung offen, die für Anlagen zwischen 100 kWp und 750 kWp gemäß § 20 EEG 2021 verpflichtend ist und deren Stromerzeugung an der Börse zu aktuellen Preisen gehandelt wird. Eine Förderung besteht auch für die Direktvermarktung von Strom, genannt Marktprämienmodell. Dieses Marktprämienmodell wurde ursprünglich so konzipiert, dass die Gesamtvergütung aus Direktvermarktung und Förderung mit der festen Einspeisevergütung vergleichbar sein soll. Das Marktprämienmodell soll dabei die Differenz zwischen den Börsenstrompreisen und der höheren geförderten Einspeisevergütung ausgleichen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Börsenpreise stets niedriger sind als die durch die Förderung garantierten Vergütungen. Im Kontext der Energiekrise 2022 führten die außergewöhnlich hohen Börsenstrompreise jedoch zu erheblichen Unterschieden. Die Einnahmen aus der Direktvermarktung an der Strombörse überstiegen die feste Einspeisevergütung bei weitem und eine Teilrückzahlung zur Angleichung ist nicht vorgesehen. In den weiteren Analysen berücksichtigen wir daher stets sowohl das Modell der Einspeisevergütung als auch der Direktvermarktung. Der Quartiersbetreiber kann sich dabei zwischen der Voll- und Teileinspeisung entscheiden. Bei der Volleinspeisung wird die gesamte PV-Erzeugung in das öffentliche Netz gespeist, während bei der Teileinspeisung nur der Überschussstrom eingespeist und vergütet wird. Zur Bewertung werden in Tabelle 6 die Erlöse aus Sicht des Quartiersbetreibers für die Voll- und Teileinspeisung aufgezeigt.

**Tabelle 6** Erlöse des Quartiersbetreibenden bei Vergütung der gesamten PV-Erzeugung gegenüber den Erlösen durch ein Mieterstrommodell und Vergütung der Einspeisung des Überschusses.

	<b>Szenario 1:</b> Einspeisung der kompletten Erzeugung	<b>Szenario 2a:</b> Einspeisung des Überschusses und fester Mieterstromtarif mit 35 ct/kWh	<b>Szenario 2b:</b> Einspeisung des Überschusses und Zeitvariabler Mieterstromtarif und Netzbezug (40 ct/kWh)
<b>Erlöse für Quartiersbetreiber in EUR</b> bei Vermarktung über Einspeisevergütung	86.800	375.240 <b>+ 77 %</b>	291.848 <b>+ 70 %</b>
<b>Erlöse für Quartiersbetreiber in EUR</b> bei Direktvermarktung	321.387	441.475 <b>+ 27 %</b>	358.083 <b>+ 10 %</b>

Aus Sicht des Quartiersbetreibers lassen sich im Vergleich zur Volleinspeisung durch die Vermarktung des im Quartier produzierten PV-Stroms durch ein Mieterstrommodell und die Vergütung der Teileinspeisung höhere Erlöse erzielen. Wie in Tabelle 6 dargestellt, fallen die Erlöse aus dem Mieterstrom bei dem zeitvariablen Tarifmodell 2b geringer aus, übersteigen die der Volleinspeisung jedoch. Besonders im Falle der Einspeisevergütung können die Erlöse um 70 bzw. 77 Prozent im Falle des festen Mieterstromtarifs gesteigert werden. Durch Direktvermarktung des PV-Stroms lassen sich im Vergleich zur Einspeisevergütung wesentlich höhere Erlöse erzielen, da aufgrund des vergleichsweise hohen Day-Ahead Börsenstrompreises im Jahre 2022 die Marktprämie im Vergleich zu den Vorjahren hoch ausfiel. Trotz des hohen Erlöses durch die Direktvermarktung kann der Quartiersbetreiber durch die Kombination aus Mieterstrom und Teileinspeisung höhere Erlöse erzielen (10 Prozent in 2a bzw. 27 Prozent höher in 2b). Ab einem Gewerbeertrag von 24.500 EUR müssen die Einnahmen aus Mieterstrom mit vollem Gewerbesteuerersatz versteuert werden [62]. Die Einspeisung von PV-Strom ist dagegen unter bestimmten Umständen von der Einkommens- und Umsatzsteuer befreit. Für die Einkommenssteuerbefreiung darf die Anlagengröße 30 kWp oder bei Mehrfamilienhäuser 15 kWp je Wohn- oder Gewerbeinheit nicht überschreiten, während Anlagen bis 30 kWp und Anlagen größer 30 kWp, die auf Wohngebäuden installiert sind, von der Umsatzsteuer befreit sind [63]. Den Erlösen muss zusätzlich immer der initiale Aufwand der Implementierung eines Mieterstromkonzepts gegen die möglichen Erlöse abgewogen werden.

#### 4.4 Empfehlungen zur Integration klimafreundlicher Energieinfrastruktur in Quartiere

In diesem Kapitel wurde Investition, Konzeption und Vermarktung von Energieinfrastruktur in Quartieren behandelt. Besonderes Augenmerk lag in Kapitel 4.1 auf der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieinfrastruktur, wobei im Quartier durch den räumlichen Zusammenhang die lokale gemeinschaftliche Nutzung signifikante Vorteile aufweist. Die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in klimafreundliche Energieinfrastruktur wurde am Beispiel des Quartiers Überlingen untersucht. Die Analyse erfolgte unter Verwendung der Kapitalwertmethode und berücksichtigte verschiedene Szenarien der Energiepreisentwicklung sowie des Kalkulationszinseszins zur ganzheitlichen Risikoabschätzung. Trotz hoher Anfangsinvestitionen fiel die Wirtschaftlichkeit über die meisten Szenarien positiv aus, weshalb Energieinfrastrukturinvestitionen eindeutig empfohlen werden können. Während, wie in Kapitel 4.1.1 gezeigt, steigende Energiepreise den Kapitalwert aufgrund erhöhter Energiekosteneinsparungen verbessern, senkt ein

steigender Kalkulationszinssatz den Kapitalwert. Ferner müssen die zunehmende Volatilität der Energiepreise und die Möglichkeit zur Optimierung der Energiekosten durch ein intelligentes Energiemanagement berücksichtigt werden. Quartiere mit zentraler Planung und Betrieb, wie bspw. das Quartier Weitblick oder das BCM, können besonders von Energiemanagementsystemen profitieren, da viele Voraussetzungen hinsichtlich Infrastruktur und Konnektivität bereits gegeben sind. In dezentral organisierten Quartieren wie dem Quartier Kissing oder dem Prinz-Karl-Viertel, die Potenzial für eine emissionsarme Energieversorgung bieten, sollten Investitionsentscheidungen frühzeitig in Blick auf die Zukunft getroffen werden. Dies hilft, die Bewohnenden vor zukünftigen Preisschwankungen und -steigerungen abzusichern und Emissionen zu reduzieren. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass Investitionen in die Energieinfrastruktur für alle Quartierstypen zu empfehlen sind und die daraus resultierenden Energiekosteneinsparungen zukunftsorientiert bewertet werden müssen.

Kapitel 4.2 zeigt das Potenzial klimafreundlicher Energieinfrastruktur mittels einer geeigneten PV-Anlage in unterschiedlichen Quartieren auf. Für eine Empfehlung hinsichtlich der Konzeptionierung und Auslegung werden die Erträge der Anlagen verglichen und im Kontext von Faktoren wie Ausrichtung und lokalen Verschattungen diskutiert. Während die Südausrichtung generell als optimal für den maximalen Ertrag von PV-Anlagen gilt, zeigt sich in der Praxis häufig eine Präferenz für die Ost-West-Ausrichtung. Dafür gibt es mehrere Gründe: Die verfügbare Dachfläche bestimmt oft die mögliche Ausrichtung. Bei Satteldächern ist die Ausrichtung weitgehend festgelegt. Flachdächer bieten mehr Flexibilität bei der Wahl der Ausrichtung. Eine Ost-West-Ausrichtung verteilt die PV-Erzeugung gleichmäßiger über den Tag, wodurch die Stromerzeugung früher beginnt und bis in die Abendstunden anhält, im Gegensatz zu einem hohen Mittagspeak bei Südausrichtung. Die Ausrichtung einer PV-Anlage sollte daher stets durch den Abgleich mit dem Strombedarfsprofil des Quartiers erfolgen. Zusätzlich musste in der Vergangenheit die Einspeisung von PV-Anlagen bis 25 kWp auf siebenzig Prozent der Einspeiseleistung begrenzt werden, wodurch die Ausrichtung und Neigung der PV-Anlage so geplant wurde, dass eine Abregelung nicht notwendig war. Mit dem Einsatz intelligenter Messsysteme ist dies nicht mehr notwendig. Für die in der Modellregion Augsburg gelegenen Quartiere ohne eigene PV-Anlage, wie beispielsweise das Quartier Kissing und Prinz-Karl Viertel, wäre eine Ost-West-Ausrichtung empfehlenswert, die besser zum Nutzungsverhalten und den Verbrauchsprofilen passt. Der Ertrag einer PV-Anlage wird auch von lokalen Gegebenheiten wie Schornsteinen, Nachbargebäuden oder Lüftungsanlagen beeinflusst, welche Verschattungen verursachen können. Eine Möglichkeit, die zeitliche Diskrepanz zwischen Stromerzeugung und -verbrauch zu überbrücken, bietet der Einsatz von Batteriespeichern, wie das Beispiel im Quartier BCM zeigt. Zudem gewinnen innovative Konzepte wie Fassaden-PV-Anlagen zunehmend an Bedeutung.

Im Quartier kann der lokal erzeugte PV-Strom vielseitig genutzt und vermarktet werden, wie in Kapitel 4.3 diskutiert. Dieser kann nicht nur den Verbrauch der Allgemeinanlagen wie Aufzüge und Beleuchtung abdecken, sondern unterstützt auch Synergieeffekte durch Sektorenkopplung zur Mobilität. Überschüssiger Strom kann für die Bereitstellung von Wärme oder Kälte eingesetzt werden, wobei besonders die Raumkühlung gut zum Erzeugungsprofil der PV-Anlagen passt. Aus wirtschaftlicher Sicht erfordert die lokale Nutzung von PV-Strom ein Mieterstromkonzept. Mietende profitieren von günstigeren Konditionen im Vergleich zum Netzstrom, da Steuern, Abgaben und Entgelte entfallen. Quartiersbetreibende können sowohl die Attraktivität des Quartiers steigern als auch höhere Erlöse im Vergleich zur Volleinspeisung erzielen. Die Umsetzung von Mieterstromkonzepten hinkt jedoch aufgrund komplexer Messkonzepte und Abrechnungen den Erwartungen hinterher. Über die letzten Jahre wurden jedoch

neue Mieterstromkonzepte etabliert, die es bspw. erlauben, die Abwicklung des Mieterstroms auszulagern (sog. Contracting-Modell). Zusätzlich schafft das Solarpaket 1 ein neues Konzept der „Gemeinschaftlichen Energieversorgung“, welche die gemeinsame Nutzung von PV-Stromerzeugung auf dem Gebäude erleichtern soll. Es bedarf daher zeitgleich zur technischen Auslegung der PV-Anlage auch eines tragbaren Vermarktungskonstrukts unter Berücksichtigung aktueller Regulatorik. Die Option eines Mieterstrommodells für eine gemeinschaftliche Energieversorgung bietet in Quartieren mit PV-Potential, wie beispielsweise Kissing oder das Prinz-Karl Viertel, signifikante Anreize für Investitionen. Für an die Stromerzeugung zeitlich angepasste Stromnutzung wurden im Rahmen des Projekts ODH@Bochum Tarifstrukturen hinsichtlich ihrer Anreizwirkung analysiert. Der präzise dynamische Preis kann zu den stärksten Anreizen führen, jedoch steigt auch die Komplexität der Tarife, welche wiederum die Anreizwirkung hemmt. Die Tarifgestaltung muss daher stets einen Ausgleich zwischen Anreizwirkung und Nutzendenfreundlichkeit finden. Zur Vereinfachung und Verbesserung des Verständnisses können digitale Infrastrukturen genutzt werden, die Automatisierungen ermöglichen. Zudem kann durch gezielte Informationsverbreitung das Wissen der Mietenden gestärkt und somit ihre Akzeptanz erhöht werden.

---

#### Weiterführende Literatur:

- Rockstuhl, Sebastian; Wenninger, Simon; Wiethe, Christian; Ahlrichs, Jakob (2022): The Influence of Risk Perception on Energy Efficiency Investments: Evidence From a German Survey. In Energy Policy 167, p. 113033. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.113033.
- Ahlrichs, Jakob; Rockstuhl, Sebastian (2022): Estimating fair Rent Increases after Building Retrofits: A Max-Min Fairness Approach. In Energy Policy 164, p. 112923. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.112923.
- Rockstuhl, Sebastian; Wenninger, Simon; Wiethe, Christian; Häckel, Björn (2021): Understanding the risk perception of energy efficiency investments: Investment perspective vs. energy bill perspective. In Energy Policy 159, p. 112616. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112616.
- Ahlrichs, Jakob; Rockstuhl, Sebastian; Tränkler, Timm; Wenninger, Simon (2020): The impact of political instruments on building energy retrofits: A risk-integrated thermal Energy Hub approach. In Energy Policy 147, p. 111851. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111851.
- Keller, Robert; Röhrich, Felix; Schmidt, Lukas; Fridgen, Gilbert (2019): Sustainability's Coming Home: Preliminary Design Principles for the Sustainable Smart District. In Proceedings of the 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI), 2019.
- Buhl, Hans Ulrich; Gaugler, Tobias; Mette, Philipp (2018): The „Insurance Effect“: How to increase the Investment Amount in Green Buildings – A Model-Based Approach to reduce the Energy Efficiency Gap. In Environmental Engineering and Management Journal Vol. 15, pp. 1599-1611.
- Häckel, Björn; Pfusser, Stefan; Tränkler, Timm (2017): Explaining the energy efficiency gap – Expected Utility Theory versus Cumulative Prospect Theory. In Energy Policy 111, pp. 414-426. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.09.026.
- Fridgen, Gilbert; Häfner, Lukas; König, Christian; Sachs, Thomas (2016): Providing Utility to Utilities: The Value of Information Systems Enabled Flexibility in Electricity Consumption. In JAIS 17 (8), pp. 537–563. DOI: 10.17705/1jais.00434.

## 5 Sektorenkopplung am Beispiel der Mobilität

Die zunehmende Elektrifizierung der Mobilität ermöglicht eine enge Kopplung der Sektoren Strom und Mobilität. Die Mobilität der Zukunft erfordert dabei eine nachhaltige und umweltfreundliche Gestaltung, um neben der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen auch weitere städtische Herausforderungen wie Lärmbelastung, Luftverschmutzung und Verkehrsüberlastung zu bewältigen. Die Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität erfolgt entlang dreier Dimensionen: i) Anpassung der Transportart, ii) technische Innovationen und iii) Reduktion der Mobilität [64]. Während die dritte Dimension Reduktion der Mobilität hauptsächlich durch soziale und individuelle Faktoren wie Homeoffice-Möglichkeiten, Reisezielwahl oder Alltagsorganisation beeinflusst wird, lassen sich die ersten beiden Dimensionen durch infrastrukturelle Veränderungen vorantreiben und stehen im Weiteren im Fokus. Vor allem in dicht besiedelten städtischen Gebieten und Quartieren ermöglicht die hohe Bevölkerungsdichte innovative, geteilte und nachhaltige Mobilitätskonzepte wie Carsharing [65] oder Mikromobilität mit Fahrrädern (ggf. E-Bikes) und E-Scootern [66]. Bei den technischen Innovationen stellt die Elektromobilität eine vielversprechende Lösung dar, die nicht nur emissionsfrei und bei geringen Geschwindigkeiten im städtischen Bereich geräuscharm im Betrieb ist, sondern bei aktiver Steuerung auch die Nutzung lokal erzeugter, erneuerbarer Energien ermöglicht und so die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringert [67]. Mit der Sektorenkopplung der Energie- und Mobilitätsinfrastruktur in einem Quartier können so nicht nur CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert, sondern kann gleichzeitig auch das Quartier aufgewertet werden.

Die Umsetzung innovativer Geschäftsmodelle, wie Sharing-Angebote oder intelligentes, gesteuertes Laden, ist jedoch mit einer Vielzahl von Herausforderungen verbunden. Darunter zählen die Einbindung relevanter Akteure, die Berücksichtigung der Bedürfnisse und Erwartungen der Nutzenden, die Implementierung technischer Aspekte sowie die Einrichtung von Ladestationen inklusive aktiver Steuerung. Im Zuge dessen werden nachfolgend zwei Aspekte zur Förderung nachhaltiger Mobilität im Kontext von Quartieren detaillierter vorgestellt: Sharing-Angebote (Kapitel 5.1) sowie das gesteuerte Laden in Quartieren (Kapitel 5.2). Abschließend werden die wichtigsten Erkenntnisse und Empfehlungen zusammengefasst (Kapitel 5.3).

### 5.1 Nachhaltige Sharing-Angebote im Kontext der Mobilität

Um die Ziele einer nachhaltigen Mobilität zu erreichen, ist ein grundlegendes Umdenken in Bezug auf die Auswahl von Transportmitteln, den persönlichen Besitz von Fahrzeugen sowie deren Nutzung unerlässlich. Im Mobilitätskontext haben sich als Lösungsansatz insbesondere Sharing-Konzepte etabliert. Diese basieren auf der gemeinschaftlichen Nutzung von Fahrzeugen und umfassen Angebote wie Carsharing, (E-)Bike-Sharing oder E-Scooter-Sharing [7, 68]. Sharing-Angebote ermöglichen es den Nutzenden, Transportmittel für kurze Distanzen oder Zeiträume zu mieten, wodurch sie schnellen, unkomplizierten und flexiblen Zugang zu modernen und umweltfreundlichen Fortbewegungsmitteln erhalten, ohne dabei auf individuelle Mobilitätsbedürfnisse verzichten zu müssen. Die Verbreitung von Sharing-Angeboten wurde maßgeblich durch die Entwicklung von Informationssystemen und den Aufbau von Plattformen mit einfachem Zugang über Smartphone-Apps vorangetrieben. Die Plattformen integrieren dabei unter anderem die Geolokalisierung zum schnellen Auffinden von Fahrzeugen, einfache Zahlungssysteme nach einmaliger Registrierung sowie Echtzeit-Informationen zu Fahrzeugzuständen [68, 69]. Die einfache Handhabung sowie der nahtlose Zugang zu diesen Sharing-Diensten erhöhen die

Flexibilität und erleichtern multimodales Reisen. Dies ist besonders in dicht besiedelten Gebieten wie Quartieren von Vorteil, in welchen eine verstärkte Nutzung geteilter Verkehrsmittel und das Parken von größeren, lärmintensiven Fahrzeugen außerhalb der Stadtgrenzen die vorherrschende Verkehrs- und Infrastrukturüberlastungen entspannen. Für die Integration von Sharing-Angeboten in Quartieren werden nachfolgend die wichtigsten Sharing-Konzepte eingeführt (Kapitel 5.1.1), Bedarfe und typisches Nutzungsverhalten präsentiert (Kapitel 5.1.2), etablierte Geschäftsmodelle und Tarifstrukturen aufgezeigt (Kapitel 5.1.3) sowie Erkenntnisse aus dem Quartiersprojekt ODH@Bochum vorgestellt (Kapitel 5.1.4).

### 5.1.1 Sharing-Konzepte im urbanen Raum

Sharing-Angebote, welche die gemeinschaftliche Nutzung von Fahrzeugen umfassen, lassen sich in zwei Kategorien einteilen: Mikromobilitäts-Sharing und Carsharing.

Mikromobilitäts-Sharing in urbanen Umgebungen sowie Quartiersumgebungen zielt vorrangig auf die Bereitstellung kompakter und leichter Fortbewegungsmittel ab, die sich optimal für kurze Strecken und insbesondere für die sogenannte "letzte Meile" eignen [70]. Zu den prominenten Beispielen zählen E-Scooter und (E-)Bikes, die nicht nur individuelle Mobilität ermöglichen, sondern im Falle der (E-)Bikes auch einen gesunden Lebensstil fördern [71]. Mikromobilität erfüllt somit insbesondere den Zweck, die Mobilität zu diversifizieren, die Zugänglichkeit zu verbessern, den ÖPNV fließender zu integrieren, den Verkehr zu entlasten und die städtische Luftqualität zu verbessern [66]. Diese Mobilitätsform eignet sich ideal für kurze Strecken zur Arbeit, schnelle Erledigungen mit leichtem Gepäck oder als Verbindung zwischen größeren Verkehrsknotenpunkten. In größeren Städten wird das (E-)Bike-Sharing oftmals als Alternative zu überfüllten Bussen und Bahnen angesehen, wohingegen es in kleineren Städten das bestehende ÖPNV-Angebot ergänzt und das öffentlich erreichbare Areal erweitert. Unabhängig von der Größe der Stadt berichten Nutzende von Mikromobilität von einer verringerten Nutzung privater PKWs, was wiederum zu einer Entlastung des Verkehrs in städtischen Gebieten führt [72]. Die Implementierung von geteilten Mikromobilitäts-Angeboten in Quartieren kann zusammenfassend zwei zentrale Mobilitätsbedürfnisse adressieren: die Anbindung von Quartieren an bestehende öffentliche Verkehrsmittel, um nachhaltige, multimodale Reisen zu ermöglichen (Direktverbindung  $A \rightarrow B$ ) oder die Bereitstellung lokaler, individueller Fortbewegungsalternativen zum Auto für Besorgungen und Aktivitäten innerhalb des Quartiers und dessen Umgebung (Rundfahrt  $A \rightarrow A$ ).

Das Carsharing ergänzt die Palette der urbanen Mobilität, deckt jedoch im Gegensatz zur Mikromobilität ein breiteres Anwendungsspektrum ab. So können komfortabel größere Distanzen überwunden, Lasten transportiert sowie Kinder und ältere Menschen sicher und barrierefrei befördert werden. Geteilte Mobilitätsangebote beschleunigen den Übergang zu nachhaltiger Mobilität, da sie keine individuellen Kaufentscheidungen erfordern und durch häufigere Nutzung pro Fahrzeug die Gesamtzahl der Fahrzeuge reduzieren. Dies schont Ressourcen sowohl in der Produktion als auch in der operativen Nutzung und verringert die Umweltbelastung aufgrund reduzierter Emissionen [73–75]. Gleichzeitig werden Stauzeiten reduziert und bisherige Parkflächen können neuen Zwecken zugeführt werden, um eine höhere Lebensqualität in Städten und Quartieren zu schaffen. Im Quartierskontext können hierfür E-Fahrzeuge zur Verfügung gestellt werden, die im Idealfall durch den lokal erzeugten, erneuerbaren Strom geladen werden. Dadurch kann nicht nur lokal erzeugter Strom effizient genutzt, sondern auch der Bedarf eines privaten PKWs für die Individualmobilität durch innovative Geschäftsmodelle wie (E-)Carsharing nachhaltig reduziert werden. Bei Carsharing-Angeboten wird zwischen stationsunabhängigen, free-

floating-Angeboten und stationsbasierten Angeboten unterschieden [76]. Stationsbasiertes Carsharing zeichnet sich durch festgelegte Abhol- und Abgabestationen für die Fahrzeuge aus, während stationsunabhängiges Carsharing den Nutzenden die Rückgabe des Fahrzeugs auf öffentlichen Stellplätzen (oft innerhalb eines bestimmten geografischen Raums) ermöglicht. Beide Modelle können in einem System kombiniert werden und haben aus Sicht der Nutzenden unterschiedliche Vorzüge. Während stationsbasierte Angebote an einen oder mehrere feste Stellplätze gebunden sind, sind free-floating-Angebote flexibler, wenn es um den Ort der Rückgabe geht. Dabei ist hervorzuheben, dass sich im Falle der Verfügbarkeit beider Modelle innerhalb eines Gebietes diese nicht gegenseitig kannibalisieren, sondern vielmehr ergänzen, da in Gebieten mit starker stationsbasierter Nutzung sich ebenfalls die Nutzung von free-floating Angeboten erhöht [77]. Die Kombination beider Sharing-Services stellt sowohl Mobilitätslösungen für planbare als auch spontane Trips dar und kann damit die Nutzung bzw. den Bedarf eines Privat-PKW weiter reduzieren. Im Rahmen von Quartiersprojekten bietet sich stationsbasiertes (E-)Carsharing an, das in direkter Nähe zu den Wohnungen der Bewohnenden des Quartiers installiert wird, um eine geographische Nähe zu garantieren. Eine weitere Möglichkeit ist die Kooperation mit Anbietern stationsunabhängiger Angebote, um ein Quartier in das Einzugsgebiet des free-floating-Angebots einzubeziehen. Free-floating-Angebote sollten hierbei idealerweise mit dem stationsbasierten Angebot vernetzt sein, sodass Nutzende jederzeit auf beide Carsharing-Varianten für ihre Reiseplanung zugreifen können.

### 5.1.2 Bedarf für Sharing-Angebote & Verhalten von Nutzenden

Der Standort und somit die Erreichbarkeit der Transportmittel ist eines der wichtigsten Entscheidungskriterien. Der Bundesverband CarSharing empfiehlt hierfür einen Radius von maximal 300 bis 500 Metern, damit eine entsprechende Auslastung erzielt wird und damit das (E-)Carsharing mit der Nutzung des privaten PKW konkurriert [78]. Der Wohn- sowie Arbeitsort sind wichtige Ausgangspunkte für die persönlichen Mobilitätsentscheidungen [79]. Wenn ein Sharing-Angebot fußläufig erreichbar ist, kann dies wesentliche Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten der Bewohnenden eines Quartiers haben und der Bedarf für einen Privat-PKW reduziert werden. Aus technischer Sicht müssen Sharing-Angebote für die Ausleihe per App sich an einem Standort befinden, der über einen guten Mobilfunkempfang verfügt [80]. In Bezug auf Quartiere sind insbesondere Gebiete an der städtischen Peripherie, welche unzureichend an den ÖPNV angeboten sind, ein attraktiver Standort für fußläufig erreichbare Carsharing Angebote. Bei Quartieren innerhalb der Stadt kann zusätzlich die Mikromobilität einen höheren Stellenwert einnehmen.

Für die Integration nachhaltiger Mobilitätslösungen in ein Quartier ist eine genaue Analyse der potenziellen Nutzenden und deren typischen Verhaltensweisen entscheidend, um ein passendes Angebot zu konzipieren. Grundsätzlich werden die Sharing-Angebote – unabhängig von der Einbettung in ein Quartier – in der Altersgruppe der unter 40-Jährigen am häufigsten genutzt [81]. Dabei zeigt sich, dass Männer mit einem höheren Bildungsniveau und überdurchschnittlichem Einkommen über alle Transportmittel hinweg die Hauptnutzengruppe darstellen. Allerdings findet sich im Bereich der Mikromobilität eine annähernd ausgeglichene Geschlechterverteilung [81–83]. Die typischen Nutzenden entsprechen den Charakteristika der Early Adopter, zeigen eine positive Einstellung zu Nachhaltigkeitsthemen, nutzen häufig multimodal eine Vielzahl an Verkehrsmitteln und sind neuen Transportoptionen gegenüber aufgeschlossen. Vor der Verfügbarkeit von Sharing-Angeboten hatte diese Nutzengruppe oft nur

begrenzten Zugang zu privaten PKWs und bevorzugte stattdessen den ÖPNV oder das Fahrrad. Während aktuell nur ein kleiner Teil der Gesellschaft die Angebote nutzt, werden diese jedoch insbesondere in Städten beliebter [84] und es ist bereits heute absehbar, dass durch das Hinauszögern von Kaufentscheidungen und den Verkauf von privaten PKWs ein Sharing-Fahrzeug, abhängig von Standort und Konzept, zwischen 7 und 13 Privat-PKWs ersetzen kann [68]. Neben den geringeren Kosten wird häufig auch die Zeitersparnis als Grund für den Wechsel zu Sharing-Angeboten genannt, wobei vor allem Mikromobilitäts-Angebote im Vergleich zum klassischen ÖPNV oder dem PKW signifikante Vorteile während der Hauptverkehrszeit bieten [81, 85, 86]. Es lässt sich zusammenfassen, dass Nutzende von Sharing-Angeboten einen geringeren Wert im Eigentum von Fahrzeugen sehen und vielmehr einen komfortablen sowie günstigen Zugang zu Mobilitätslösungen bevorzugen [87]. Hinsichtlich des Nutzungszwecks werden (E-)Bikes und Carsharing häufig für den Weg zur Arbeit oder für größere Einkäufe eingesetzt [86, 88, 89]. Im Kontrast dazu dienen E-Scooter überwiegend für Freizeitfahrten innerhalb der Stadt und zum Shopping [90]. Bezüglich der zurückgelegten Distanz legen Nutzende mit elektrisch unterstützten Mikromobilitäts-Mitteln durchschnittlich Strecken von etwa 2 km zurück, wobei E-Scooter tendenziell für noch kürzere Wege als E-Bikes genutzt werden [86]. Bei Fahrrädern mit rein physischem Antrieb sind verringerte Distanzen von 1 bis 1,6 km vorzufinden [91]. Beim Carsharing werden deutlich längere Strecken mit einem Schnitt von 33 km zurückgelegt [88]. Das aktuelle Nutzungsverhalten ist ein guter Indikator für die optimale Auslegung der Sharing-Angebote in Quartieren. Denn nur bei passender Auslegung sind die Angebote für Bewohnende, Arbeitende und Gäste so attraktiv, dass sich ein Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Quartieren ergibt.

### 5.1.3 Voraussetzungen, Geschäftsmodelle und Tarifstrukturen

Die Geschäftsmodelle von Sharing-Angeboten beruhen auf dem Prinzip der zugangsbasierten Dienstleistung [92, 93]. Dabei erhält man gegen eine Gebühr Zugang zu einem Produkt, in diesem Kontext ein Fahrzeug. Der Nutzende besitzt das Produkt für einen begrenzten Zeitraum, während Eigentum, sowie die Verantwortung für Sicherheit und Zulassung (bspw. regelmäßige Haupt- und Abgasuntersuchung) beim Anbieter verbleibt. Diese Angebote lassen sich in zwei Geschäftsmodellarten gliedern: Business-to-Customer (B2C) und Business-to-Business (B2B). Während die Endnutzung dieser Modelle übereinstimmt, besteht der Unterschied darin, dass im B2C-Modell der Endverbraucher auch der zahlende Kunde ist, während im B2B-Modell eine vermittelnde Organisation (z.B. ein Unternehmen oder ein Quartier) die Kosten übernimmt [92].

Für Betreiber von Sharing-Infrastruktur bietet der Quartierskontext den Vorteil, dass durch die Dichte an potenziellen Nutzenden eine höhere Auslastung der Fahrzeuge erreicht und somit ein wirtschaftlich tragfähiges Konzept umgesetzt werden kann. Für Quartiersbetreiber bietet es sich in der Regel an, Sharing-Angebote in Zusammenarbeit mit Mobilitätsdienstleistern umzusetzen, anstatt eigene Fahrzeuge anzuschaffen. Abhängig vom Typ des Quartiers eignen sich sowohl B2C- als auch B2B-Modelle, was die Attraktivität des Quartiers maßgeblich erhöhen kann. In weniger integrierten Quartieren, die beispielsweise lediglich durch eine gemeinsame Fernwärmeversorgung verbunden sind, steht die individuelle Nutzung im Vordergrund, passend zum B2C-Modell. Besteht hingegen eine starke Gemeinschaft oder ein reger Austausch zwischen den Quartiersbetreibern und den Nutzenden, kann ein B2B-Angebot sinnvoll sein, das beispielsweise in das Vermietungsangebot von Räumlichkeiten integriert ist. Trotz des höheren Aufwands sollten Carsharing-Angebote grundsätzlich mit anderen Mikromobilitäts-Optionen vor Ort vernetzt werden, damit das multimodale Gesamtangebot im Quartier eine bequem

nutzbare Alternative zum privaten PKW darstellt. Mögliche Kooperationspartner reichen hierbei von spezialisierten Anbietern für stationsbasiertes (E-)Carsharing, über Generaldienstleister, die Mobilitätsangebote aus einer Hand bieten (Fahrzeugpools wie E-Autos, E-Bikes und E-Scooter), bis hin zu Verkehrsunternehmen, welche Quartiersbetreibende als „Flächenpartner“ mit entsprechenden Angeboten ausstatten (meist in der Nähe von bestehenden ÖPNV-Haltestellen).

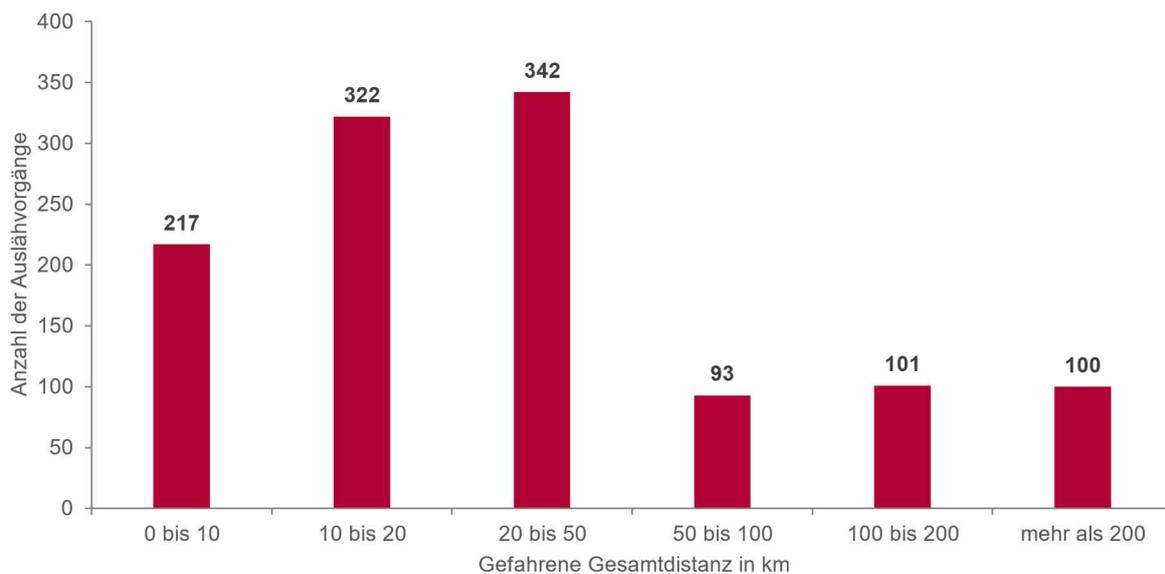
Für Sharing-Angebote gibt es verschiedene Tarifmodelle, die je nach Anbieter sowie Nutzungsmodell unterschiedlich ausgestaltet sind, um den individuellen Bedürfnissen der Nutzenden gerecht zu werden. Die häufigsten Tarifmodelle lassen sich hierbei in drei Kategorien einteilen: zeitbasierte Modelle, kilometerbasierte Modelle und Abo-Modelle. Bei zeit- und kilometerbasierten Modellen zahlen Kunden variabel in Abhängigkeit von der tatsächlichen Nutzung. Beim zeitbasierten Modell erfolgt die Abrechnung entweder minutengenau, stündlich oder für einen ganzen Tag. Bei kilometerbasierten Modellen wird eine Gebühr für die Nutzung des Fahrzeuges auf der Grundlage der gefahrenen Kilometer berechnet. Zusätzlich gibt es noch Abo-basierte Modelle, die ein relativ neues Tarifmodell im Sharing-Bereich darstellen. Hier zahlen Nutzende eine monatliche Gebühr, um Zugang zu den Fahrzeugen zu erhalten und können diese beliebig nutzen, wobei häufig eine maximale Nutzungsdauer oder Kilometeranzahl als Rahmenbedingung im Vertrag definiert wird. Häufig kommen noch Freischaltungs- oder Reservierungsgebühren hinzu, welche von der anschließenden gefahrenen Distanz unabhängig sind [94]. Darüber hinaus gibt es Überlegungen zur Einführung dynamischer Preise, um ein gewünschtes Nutzungsverhalten zu fördern und eine höhere Auslastung der Fahrzeugflotte zu erreichen [76]. Die Tarifmodelle werden häufig auch kombiniert, um einen spezifischen Anreiz für die gewünschte Nutzung zu setzen. Bei der Auswahl passender Tarifmodelle im Kontext eines Quartiers sollte sowohl die Perspektive des Betreibers als auch der Nutzenden eingenommen werden. Potenzielle Kunden neigen bei der Auswahl von Tarifen oft zu nutzungsbasierten Modellen, um ein Abonnement zu vermeiden und maximale Flexibilität zu gewährleisten. Dabei unterschätzen sie jedoch häufig ihren tatsächlichen Bedarf [95]. Bei der Entscheidung für ein Tarifmodell wird typischerweise die üblichen Reiseentfernungen sowie die Dauer und Häufigkeit der Ausleihe berücksichtigt. Auch die Verfügbarkeit und die Kosten für Parkplätze in der Nähe des Quartiers können die Zahlungsbereitschaft und die Bevorzugung bestimmter Tarifmodelle beeinflussen [96]. Generell gilt, dass kilometerbasierte Modelle bei langen Distanzen und relativ kurzen Standzeiten häufig weniger vorteilhaft im Vergleich zu zeitbasierten Modellen sind. Bei längeren Standzeiten, aber kurzen Strecken kann ein kilometerbasiertes Modell sinnvoll sein. Abonnementmodelle sind bei regelmäßiger Nutzung empfehlenswert, um Aktivierungsgebühren zu vermeiden. Eine endgültige Empfehlung kann jedoch nur anhand einer individuellen Analyse der Nutzungspräferenzen, der privaten Fahrzeugverfügbarkeit inkl. der Kosten sowie mit einem Vergleich konkreter Tarife erfolgen. Aus Betreiberperspektive sind neben den Faktoren wie Nutzungsverhalten oder die Verfügbarkeit und Kosten von Abstellmöglichkeiten zusätzlich noch das Zusammenspiel der gesamten Fahrzeugflotte relevant. Zusammenfassend sollten zukunftsfähige Geschäftsmodelle für Sharing-Angebote im Optimalfall bereits bei der Planung von Quartieren berücksichtigt werden. Multimodale Mobilitätsangebote sollten für Mitarbeitende, Mietende und Gäste möglichst von Anfang an zur Verfügung stehen. So kann bereits im Rahmen der Quartiers-Vermarktung der Bedarf für Sharing-Modelle ermittelt werden und ein Kundensegment adressiert werden, für das solche Dienstleistungen ein zentrales Kriterium bei der Wahl des Arbeits- oder Wohnorts sind. Die Fluktuation in der täglichen Fahrzeugnutzung sowie Veränderungen in der Lebensgestaltung ermöglichen jedoch auch ein sinnvolles Nachrüsten von Sharing-Angeboten in einem bestehenden Quartier, sofern das Sharing-Konzept auf die Personen vor Ort ausgerichtet wird.

### 5.1.4 Lernen: Erfahrungen aus dem Projekt ODH@Bochum

Im Rahmen des Projekts ODH@Bochum wurde die Integration von E-Carsharing-Angeboten in Wohnquartieren untersucht. Zur Bewertung der potenziellen Nutzung von E-Carsharing im Quartier in Bochum wurden Daten aus bereits bestehenden Wohnquartieren mit Carsharing-Infrastruktur herangezogen und übertragen. Zusätzlich wurde eine Umfrage unter den Bewohnenden des Quartiers durchgeführt, die sich mit Akzeptanz und Anreizmechanismen für E-Carsharing beschäftigte, um das zukünftige Angebot genau auf die Bedürfnisse und Wünsche der Bewohnenden abzustimmen.

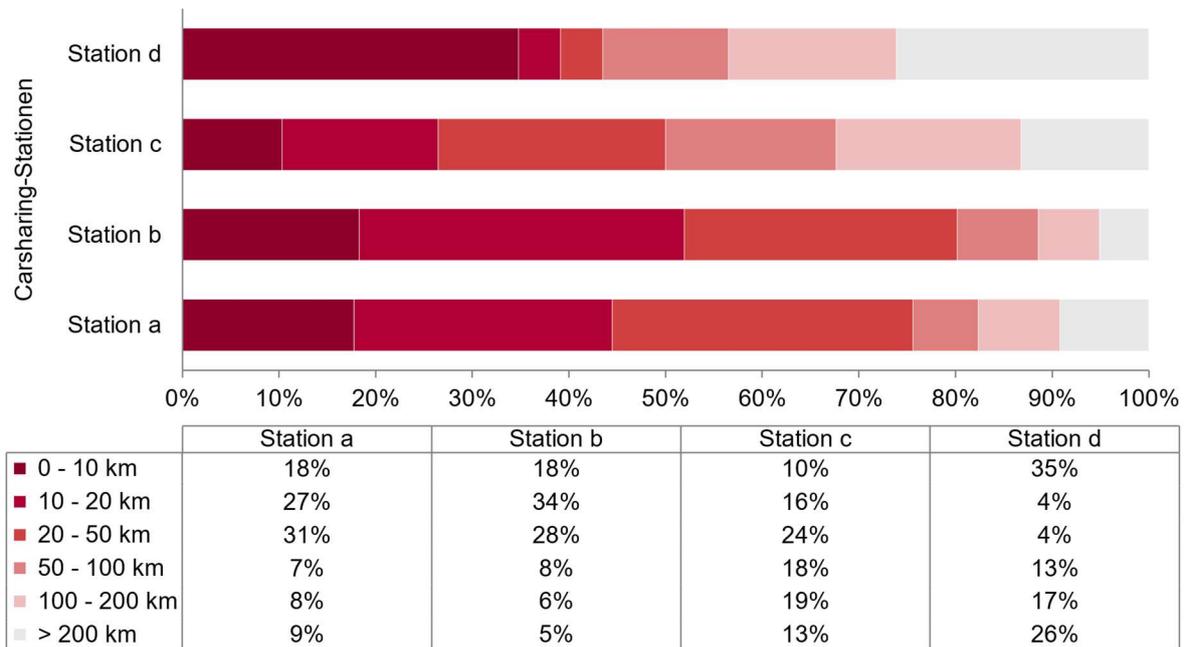
Die Analyse der E-Carsharing-Nutzung umfasste insgesamt 1.175 Ausleihvorgänge, die sich auf sechs Kleinwagen an vier unterschiedlichen Standorten über einen Zeitraum von anderthalb Jahren erstreckten (Dezember 2018 bis Juli 2020). Das untersuchte Carsharing-Modell basiert auf einem stationsgebundenen Konzept, bei dem jeder PKW fest einer Station zugeordnet ist und somit jeder abgeschlossene Trip einer Rundfahrt (A → A) entspricht. Die beiden am häufigsten genutzten Stationen (a, b) liegen nahe dem Stadtzentrum und sind gut an den öffentlichen Nahverkehr angebunden. Die am meisten frequentierte Station mit 744 Trips (a) ist hauptsächlich von Mehrfamilienhausblöcken umgeben, während das Gebiet um die am zweitmeisten genutzte Station mit 335 Trips (b) auch einige Einfamilienhäuser in Gehdistanz aufweist. Die dritte Station mit 70 Trips (c) liegt zwar noch innerhalb des Stadtgebiets, befindet sich jedoch etwas außerhalb des Zentrums. Die vierte Station mit lediglich 26 Trips in eineinhalb Jahren (d) ist in einem Gewerbegebiet angesiedelt, das zudem einen Campus mit großen Forschungsinstituten beherbergt.

Die Auswertung der Fahrdistanzen über alle Stationen hinweg (vgl. Abbildung 27) zeigt, dass bei 75 Prozent der Ausleihvorgänge hauptsächlich Kurzstrecken (unter 10 km) oder Mittelstrecken (10 bis 50 km) gefahren wurden. Bei fast der Hälfte aller Vorgänge blieb die zurückgelegte Gesamtdistanz sogar unter 20 km. Nur ein kleiner Anteil von 17 Prozent der Ausleihen betraf Fahrten mit einer Gesamtdistanz von mehr als 100 km. Die Präferenz für kürzere Distanzen wird auch bei der Betrachtung der Ausleihdauer deutlich: In mehr als der Hälfte der Fälle wurden die E-Fahrzeuge für weniger als 3 Stunden genutzt. Besonders in den Sommermonaten waren allerdings einige längere Fahrten sowohl in Bezug auf die Zeit als auch auf die Kilometer zu verzeichnen.



**Abbildung 27** Häufigkeit der Ausleihvorgänge nach gefahrener Gesamtdistanz.

Die detaillierte Analyse der gefahrenen Gesamtdistanzen, aufgeschlüsselt nach Station bzw. Quartier offenbart zusätzliche Einblicke (vgl. Abbildung 28). Insbesondere die beiden zentrumsnahen und am intensivsten genutzten Stationen (a, b) prägen den Trend zu kürzeren Fahrten deutlich: Rund achtzig Prozent der dortigen Ausleihvorgänge umfassen Strecken bis maximal 50 km. Die Station etwas außerhalb des Stadtzentrums (c) zeigt eine vielfältigere Nutzung mit einer breiteren Streuung der Distanzen, einschließlich Fahrten zwischen 50 und über 200 km. Obwohl die Station im Gewerbegebiet (d) nur eine geringe Anzahl an Fahrten umfasst, zeichnet sich hier ein spannendes Muster ab: Die Fahrten sind entweder sehr kurz, unter 10 km, und bleiben im nahen Umkreis oder umfassen sehr lange Strecken.



Gefahrene Distanz der Ausleihvorgänge nach Ausleihstation (anteilig)

**Abbildung 28** Gefahrene Distanz aufgeschlüsselt nach Ausleihort.

Die Nutzungsmuster der Sharing-Fahrzeuge folgen deutlich dem Tagesrhythmus. Markante Spitzen in der Auslastung sind zu Beginn und am Ende der Arbeitszeiten (um ca. 7 Uhr morgens und 17 Uhr abends) zu verzeichnen. Zusätzlich zeigt sich eine erhöhte Nutzung vormittags und nachmittags (um ca. 10 Uhr und 15 Uhr) sowie am frühen Abend (um ca. 20 Uhr). Rund um die Mittag- und Abendessenszeiten lässt sich jeweils ein Rückgang der Ausleihvorgänge feststellen, obwohl weiterhin E-Fahrzeuge entliehen werden. In den Nachtstunden werden Ausleihen nur sehr selten initiiert. Die Mehrheit der Fahrten wird im Voraus gebucht, wobei fast die Hälfte aller Buchungen weniger als 60 Minuten und etwa 30 Prozent sogar weniger als 15 Minuten vor dem geplanten Fahrtbeginn erfolgen. Dies deutet auf eine Präferenz für kurzfristige Buchungen hin, um sicherzustellen, dass das E-Fahrzeug verfügbar ist, und weniger auf langfristige Planung. Aus den historischen Daten kann für ein intelligentes Lademanagementsystem der E-Carsharing-Fahrzeuge typische Nutzungsmuster abgeleitet werden. Allerdings beschränkt die häufig kurzfristige Buchung die Menge und Qualität zukunftsorientierter Daten, die für die Optimierung herangezogen werden können.

Bei der Analyse der monatlichen Nutzungsmuster von Sharing-Fahrzeugen, mit dem Ziel, mögliche Jahrestrends abzuleiten, wird ausschließlich das Jahr 2019 betrachtet, um Verzerrungen durch die Covid-19-Pandemie auszuschließen. In der ersten Jahreshälfte zeichnen sich die Monate März und Mai durch besonders hohe Nutzungszahlen aus. Mit einem Tief im Juli ist dann ein stetiger Anstieg der Nutzung bis in den November hinein zu beobachten, was vor allem auf die verstärkte Inanspruchnahme der am zweithäufigst genutzten Station (b) zurückzuführen ist (vgl. Abbildung 29). Betrachtet man die durchschnittlich pro Monat gefahrenen Kilometer, liegt der Schnitt bei 74 km, allerdings mit starken Schwankungen zwischen den Monaten. Besonders auffällig ist der Juli, in dem die durchschnittliche Distanz auf 132 km ansteigt, was auf einige längere Ausflugs-Fahrten in diesem Monat hinweist (vgl. Abbildung 30).

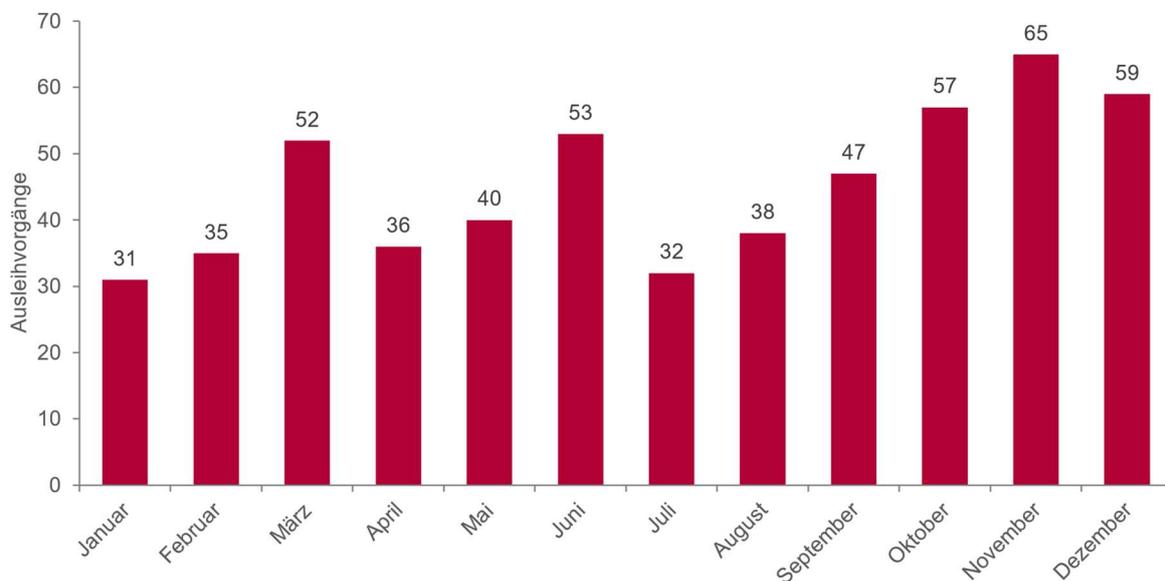


Abbildung 29 Ausleihvorgänge je Monat.

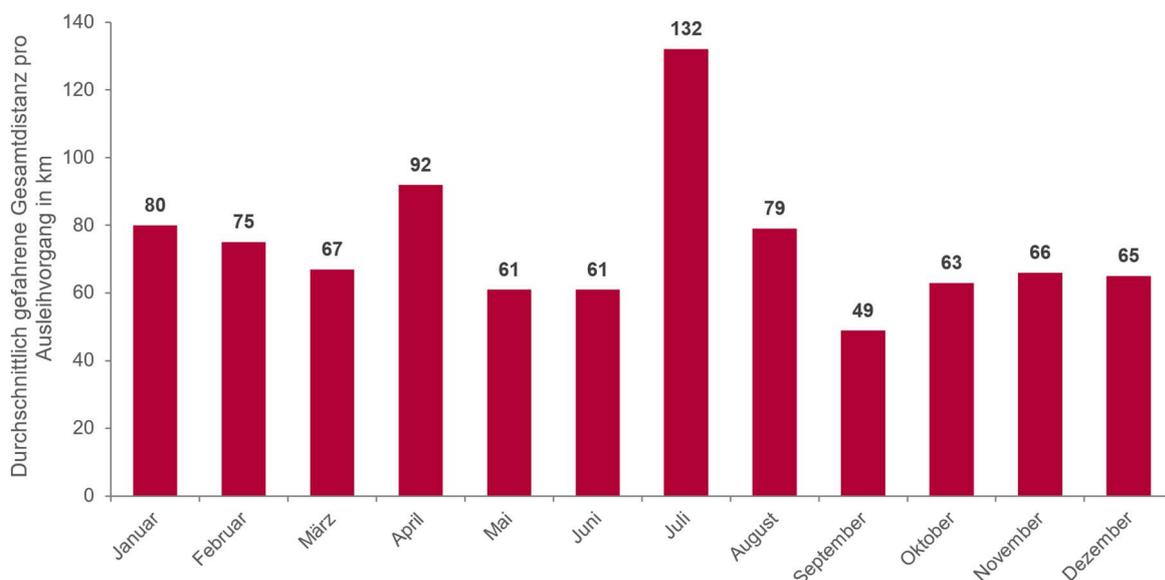


Abbildung 30 Durchschnittlich gefahrene Kilometer pro Ausleihvorgang je Monat.

Die tarifliche Gestaltung spielt eine entscheidende Rolle in der Nutzungsanalyse von E-Carsharing-Modellen, da sie wesentlich zur Anreizbildung beiträgt und die Wahl zwischen diesem Angebot und alternativen Optionen, wie etwa der Nutzung eines klassischen Mietwagens, beeinflusst. In dem betrachteten Carsharing-Modell existieren sowohl zeit- als auch distanzbasierte Begrenzungen. Angeboten werden ein Stundentarif zu 5 EUR inklusive zwanzig Freikilometern, ein 3-Stunden-Tarif für 15 EUR sowie ein Tagestarif für 30 EUR mit jeweils verlängerten Freikilometern. Die Nutzung der Fahrzeuge über die inkludierten Freikilometer hinaus ist möglich, jedoch fallen zusätzliche Kosten an. Die vorangegangene Datenanalyse zeigt, dass die tarifliche Gestaltung eine deutliche Auswirkung auf das Nutzungsverhalten hat: Passend zu den Tarifen dauerten die Hälfte der Fahrten weniger als 3 Stunden, 90 Prozent der Fahrten waren kürzer als 24 Stunden und nur selten wurden überdurchschnittliche Reichweiten zurückgelegt. Die Erkenntnisse aus den Daten decken sich mit der Umfrage, dass insbesondere monetäre Anreize einen Nutzungsanreiz schaffen.

Zusammenfassend erweist sich das E-Carsharing-Angebot für kurze Erledigungen als besonders preiswert und benutzerfreundlich, da nach einer einmaligen Registrierung die E-Fahrzeuge ohne weiteren administrativen Aufwand genutzt werden können. Bei zeitlich oder distanzmäßig längeren Reisen könnte jedoch ein klassisches Mietwagenangebot wirtschaftlicher sein, denn bei längerer Nutzungsdauer relativiert sich der anfängliche Mehraufwand für die Anmietung. Angesichts der überwiegend kurzen Distanzen der Fahrten muss die Batterie der Sharing-Fahrzeuge nicht notwendigerweise zu Beginn jedes Ausleihvorgangs vollständig geladen sein. Eine Mindestladung ist jedoch erforderlich, besonders wegen der oft kurzfristigen Buchungen. Trotzdem können aus den Mustern der Ausleihzeiten nützliche Erkenntnisse für ein optimiertes Lademanagement gezogen werden. Während der Schulferien ist eine geringere Anzahl an Ausleihen zu beobachten, die dafür zurückgelegten Distanzen für Reisen und Ausflüge sind jedoch größer. In den Winter- und Herbstmonaten nimmt hingegen die Nachfrage nach Fahrten über kürzere Distanzen zu. Die Bereitstellung von E-Carsharing in Wohnquartieren stößt sowohl in der tatsächlichen Nutzung als auch in der durchgeführten Umfrage auf eine positive Resonanz und unterstützt effektiv das Ziel einer nachhaltigeren Mobilität sowie die Reduzierung privater PKWs.

## 5.2 Integration von Elektrofahrzeugen in Quartieren

Die in diesem Whitepaper vorgestellten geteilten Mobilitätsangebote können die Notwendigkeit eines privaten PKWs, insbesondere in urbanen Räumen, verringern. Oftmals lässt sich dadurch der Erwerb eines Zweit- oder Drittwagens vermeiden. Dennoch werden individuelle Mobilitätslösungen auch zukünftig eine hohe Priorität behalten, da derzeit 87 Prozent aller Haushalte in Deutschland mindestens ein Fahrzeug besitzen, mit weiterhin steigender Tendenz [97]. Hier bieten E-Fahrzeuge eine Möglichkeit, die Abhängigkeit von Diesel und Benzin zu eliminieren und die assoziierten Emissionen zu reduzieren. Im Zuge der fortschreitenden Energiewende wird die Stromerzeugung in Deutschland und Europa zunehmend durch erneuerbare Energien bestimmt. Die Elektrifizierung von Fahrzeugen ermöglicht die Sektorenkopplung von Energie und Mobilität, was die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Transportsektor signifikant reduzieren kann [67, 98]. Ein intelligentes Lademanagement ermöglicht die optimale Nutzung lokal erzeugter, erneuerbarer Energie von PV-Anlagen und gewinnt auch im Kontext von Quartieren zunehmend an Bedeutung. Dies führt zu einem doppelt positiven Effekt: Die E-Fahrzeuge werden möglichst emissionsneutral genutzt, und die Netzbelastung kann reduziert werden. Für die Integration von intelligenten Lademanagementsystemen in Quartieren werden nachfolgend die wichtigsten Konzepte zum

intelligenten Laden eingeführt (Kapitel 5.2.1), Erkenntnisse aus dem Quartier Weitblick vorgestellt (Kapitel 5.2.2) und die Potenziale auf das Quartier Hochzoll-Mitte übertragen (Kapitel 5.2.3).

### 5.2.1 Gesteuertes, intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen

Ladeinfrastruktur kann anhand der Ladegeschwindigkeit und der Standorte unterschieden werden [99]. Level-1-Laden erfolgt über eine übliche Steckdose mit Wechselstrom und ermöglicht geringe Ladeleistungen bis zu 2,3 kW. Diese Methode, die meist zu Hause über Nacht genutzt wird, bietet nur geringe Möglichkeiten für ein Lademanagementsystem und eignet sich nur bedingt, um die inzwischen großen Batteriekapazitäten bis zu 100 kWh in überschaubarem Zeitaufwand zu laden.

Level-2-Laden hingegen verwendet spezifische Ladevorrichtungen, sogenannte Wallboxen, die mit bis zu 22 kW laden können, wobei die meisten E-Fahrzeuge nur 11 kW unterstützen. Einfache Wallboxen sind inklusive Installation bereits ab 1000 EUR erhältlich [100]. Diese Ladeoption eignet sich für private Haushalte, Wohn- und Gewerbequartiere sowie öffentliche Ladestationen, insbesondere an Standorten, an denen Fahrzeuge regelmäßig und über längere Zeiträume parken. Durch die Integration eines Energiemanagementsystems, das eine PV-Anlage und Batteriespeicher mit einer oder mehreren Wallboxen kombiniert, können die Ladevorgänge intelligent gesteuert werden. Das System passt die Level-2-Ladevorgänge an die lokale PV-Stromerzeugung an und maximiert den Eigenverbrauch [101]. Neben der Optimierung des Eigenverbrauchs ist auch eine preissensitive Steuerung möglich, die die Nutzung von günstigem Strom in Zeiten geringen Verbrauchs, jedoch hoher Erzeugung ermöglicht [102]. Eine Erweiterung dieses Konzepts durch bidirektionales Laden, bei dem die Batterien der E-Fahrzeuge als Energiespeicher dienen, steigert die Effizienz des gesteuerten Ladens weiter [103]. Die gesteuerte Ladeinfrastruktur kann auf verschiedene Weisen realisiert werden: Entweder durch zentrale Ladestationen, die von den Bewohnern des Quartiers genutzt werden, oder durch eine Kombination mit E-Carsharing-Angeboten, bei denen die E-Fahrzeuge während der Standzeiten intelligent geladen werden. Eine Herausforderung bei der Umsetzung in Quartieren besteht in der Planung und Realisierung der notwendigen Ladeinfrastruktur. Es müssen ausreichend viele Ladepunkte vorhanden sein, um den Bedarf zu decken, während die Installation und der benötigte Netzanschluss wirtschaftlich finanzierbar bleiben müssen.

Level-3-Laden ermöglicht das Schnellladen mit Gleichstrom bis zu 350 kW und ist hauptsächlich in öffentlichen Bereichen sowie in der Nähe von Autobahnen und Landstraßen zu finden. Es dient dazu, die Ladezeiten auf längeren Reisen zu minimieren. Mit den hohen Ladeleistungen und assoziierten höheren Kosten ist dieses Konzept im Vergleich zu Level-2-Laden für die meisten Quartiere nicht geeignet, insbesondere da aufgrund der längeren Standzeiten der Ladebedarf auch mit Level-2-Laden gedeckt werden kann.

### 5.2.2 Lernen: Elektromobilität im Quartier Weitblick

Das Gewerbequartier Weitblick ist mit 14 Ladesäulen ausgestattet, die über eine maximale Ladeleistung von 22 kW verfügen. Obwohl eine PV-Anlage im Quartier verfügbar ist, werden die Ladevorgänge derzeit noch nicht intelligent gesteuert. Im Folgenden werden sowohl die nicht gesteuerten Ladevorgänge aus dem Jahr 2022 analysiert als auch das bestehende Potenzial einer Eigenverbrauchsmaximierung mithilfe einer Simulationsanalyse evaluiert.

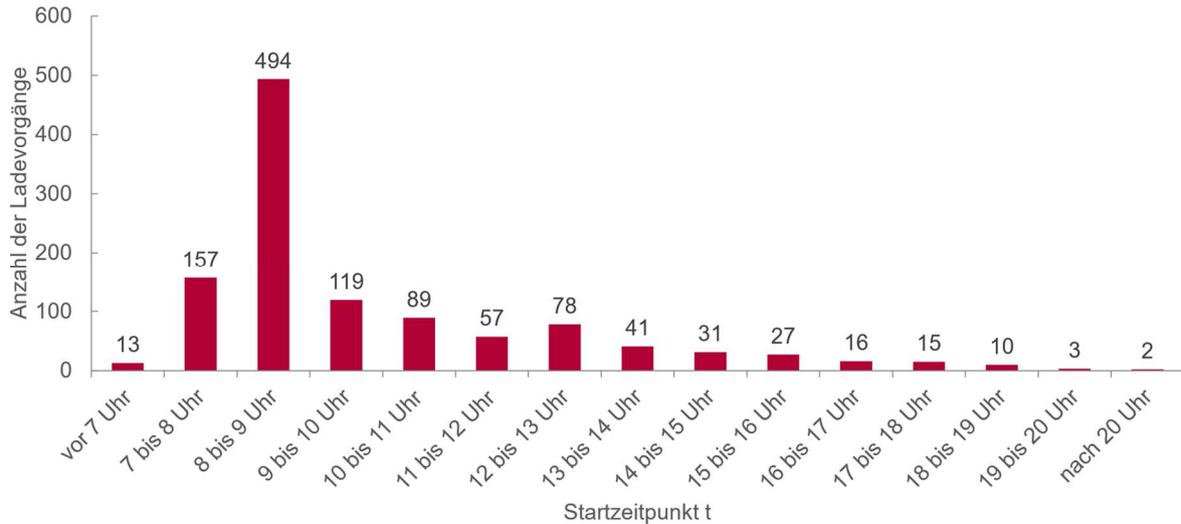
## Analyse der ungesteuerten Ladevorgänge

Über das Jahr 2022 fanden 1.152 ungesteuerte Ladevorgänge statt, die kumuliert einen Stromverbrauch von 13,2 MWh aufwiesen. Dabei wurde an 263 Tagen und somit 72 Prozent der Tage im Jahr 2022 geladen. Entsprechend der Erwartungen für ein Gewerbequartier ereigneten sich die meisten Ladevorgänge an Werktagen von Montag bis Freitag, wobei die Auslastung der Ladesäulen an den Dinstagen und Freitagen etwas geringer ausfiel (vgl. Tabelle 7). Eine signifikante Reduktion der Ladevorgänge war am Wochenende zu verzeichnen, an welchem insgesamt nur 3 Prozent aller Ladevorgänge stattfanden. Ebenso an Feiertagen wurde nur ein einziger Ladevorgang am 01.01.2022 initiiert. Diese Verteilung der Ladevorgänge deutet darauf hin, dass die Ladesäulen primär von den Mitarbeitenden des Quartiers unter der Woche genutzt werden, während eine Nutzung durch mögliche Anwohnende der angrenzenden Gebiete nicht zu beobachten ist. Diese Nutzungsverteilung passt dazu, dass auch im erweiterten Gebiet um das Quartier Weitblick nur vereinzelt weitere Gewerbebauten bzw. in kurzer Entfernung die Universität Augsburg vorzufinden ist.

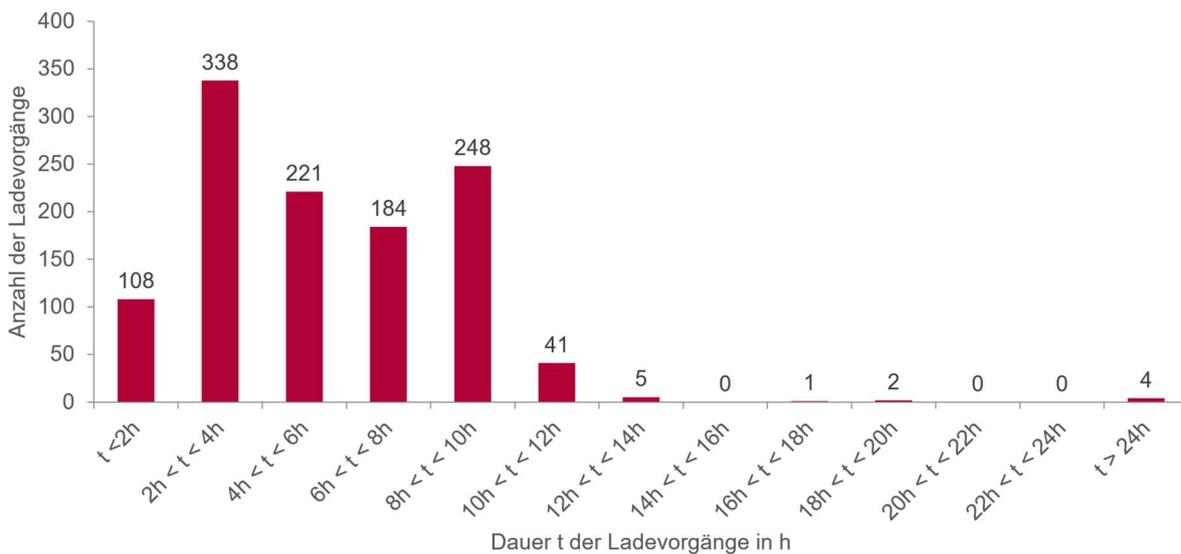
**Tabelle 7** Verteilung der Ladevorgänge im Quartier Weitblick im Jahr 2022 innerhalb der Woche.

Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
237	193	255	264	176	18	9
21%	17%	22%	23%	15%	2%	1%

Neben der Verteilung auf die Wochentage bietet auch die zeitliche Nutzungsverteilung innerhalb eines Tages Einblick, ob ein intelligentes Energiemanagementsystem den Eigenverbrauch steigern kann. Hierfür sind in Abbildung 31 die Startzeitpunkte der Ladevorgänge nach ihrer Häufigkeit aufgetragen, während in Abbildung 32 die Gesamtdauer der Ladevorgänge dargestellt sind. Abbildung 31 veranschaulicht, dass ein Großteil der Ladevorgänge früh am Tag beginnt. Fast ein Drittel aller Ladevorgänge wird vor 10 Uhr morgens gestartet, wobei der Zeitraum zwischen acht und neun Uhr morgens besonders hervorsticht. In dieser Stunde wurden insgesamt 494 Ladevorgänge initiiert, was fast der Hälfte aller Ladevorgänge (43%) entspricht. Nach 10 Uhr nimmt die Zahl der Ladevorgänge mit einem absteigenden Trend weiter ab, ohne dass ein weiterer Spitzenwert erreicht wird. In der Nacht werden keine weiteren Ladevorgänge initiiert. Abbildung 32 veranschaulicht die Verteilung der Ladedauer aller Ladevorgänge, welche im Schnitt sechs Stunden umfassen. Diese Gesamtdauer der Ladevorgänge zeigt dabei lediglich an, über welchen Zeitraum ein E-Fahrzeug angesteckt war, gibt jedoch keine Auskunft darüber, wie lange der aktive Ladeprozess gedauert hat – dies kann in Zusammenhang mit der Ladeleistung berechnet werden. 95 Prozent der Ladevorgänge überschreiten nicht die Dauer eines Tages und sind kürzer als 10 Stunden. Die häufigste Ladedauer liegt zwischen zwei und vier Stunden, mit insgesamt 338 Ladevorgängen. Fast 40 Prozent aller Ladevorgänge dauern weniger als 4 Stunden, während 35 Prozent der Vorgänge zwischen vier und acht Stunden andauern. In der Analyse der Ladevorgänge zeigt sich deutlich der Charakter des Quartiers. Da das Quartier zum größten Teil aus Büroflächen besteht, sind die Nutzenden der Ladeinfrastruktur auch zumeist Mitarbeitende, die morgens den Ladevorgang mit der Ankunft im Büro beginnen und abhängig von der individuellen Arbeitszeit wieder beenden. Als zweite Nutzengruppe können die Besucher genannt werden, welche meist nur über kürzere Zeiträume laden und den Ladevorgang über den Tag verteilt starten.

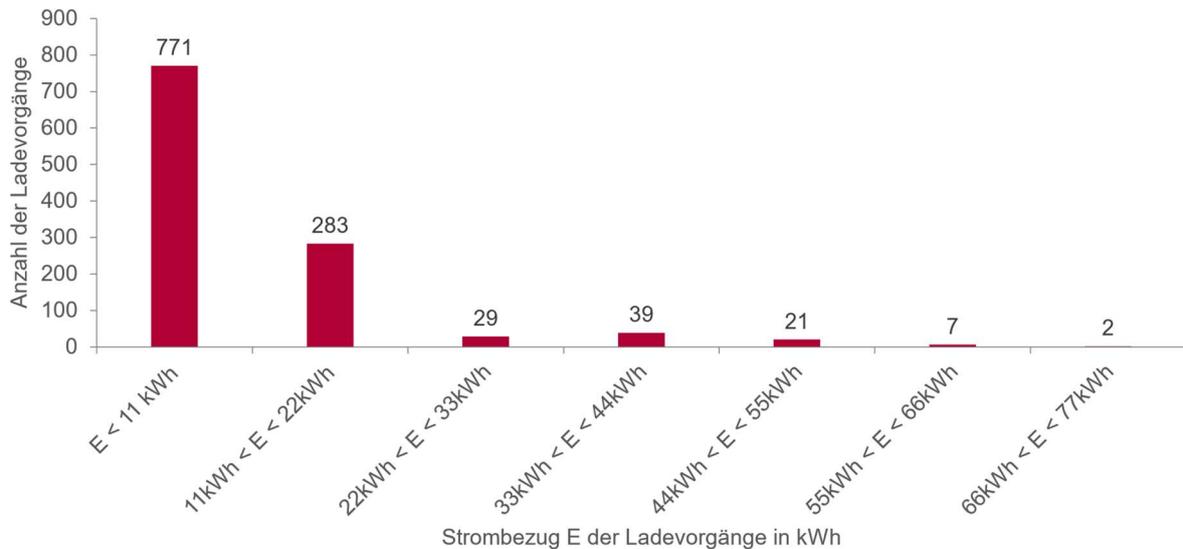


**Abbildung 31** Startzeitpunkt der Ladevorgänge nach Häufigkeit im Quartier Weitblick im Jahr 2022.

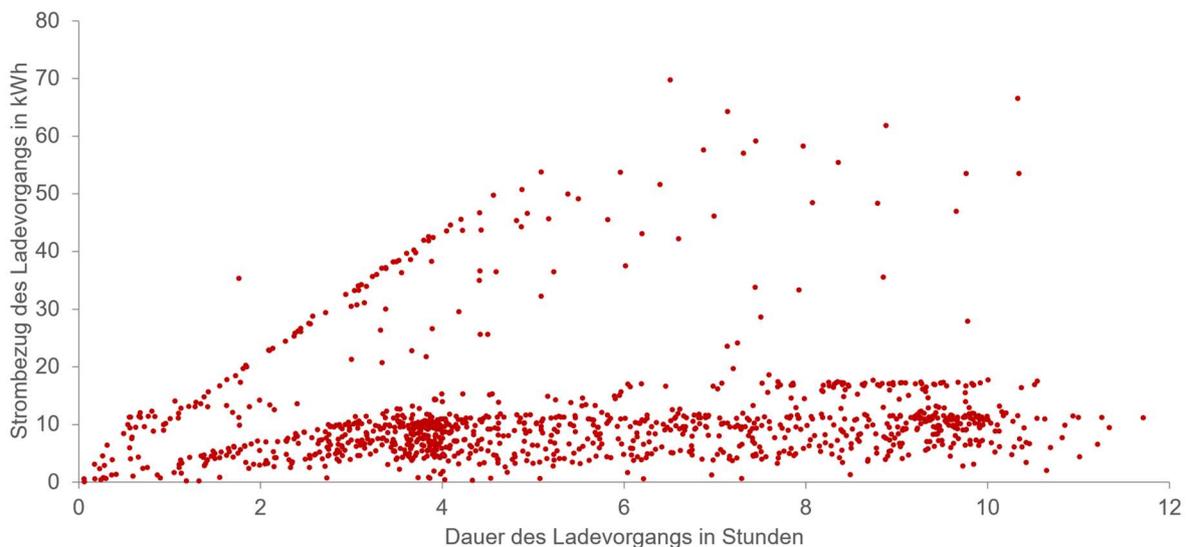


**Abbildung 32** Gesamtdauer der Ladevorgänge nach Häufigkeit im Quartier Weitblick im Jahr 2022.

Neben Startzeitpunkt und Dauer der Ladevorgänge ist der Strombezug für die Bewertung des Flexibilitätspotenzials zur Verschiebung von Ladeprozessen entscheidend. Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen den Strombezug der Ladevorgänge, einmal nach Häufigkeit und einmal in Bezug zur Gesamtdauer. Zwei Drittel der Ladevorgänge (771) verzeichnen einen Strombezug von unter 11 kWh, während weitere 25% (283) zwischen 11 und 22 kWh liegen. Somit bleiben 95 Prozent aller Ladevorgänge unter einem Gesamtstrombezug von 22 kWh. Da viele E-Fahrzeuge auf eine Ladeleistung von 11 kW begrenzt sind, dauern viele Ladevorgänge effektiv nur bis zu zwei Stunden. Diese Erkenntnis wird durch Abbildung 33 unterstrichen. Die Analyse des Strombezugs im Verhältnis zur Gesamtdauer des Ladevorgangs ermöglicht weitere Rückschlüsse auf die effektive Ladedauer. Einige Ladevorgänge zeigen einen proportionalen Strombezug zur Ladedauer, was bedeutet, dass die E-Fahrzeuge während des gesamten Ladevorgangs effektiv laden. Die Mehrheit der Ladevorgänge weist jedoch einen Verbrauch von weniger als 22 kWh auf, was darauf hindeutet, dass diese maximal zwei Stunden effektiv laden, unabhängig von der tatsächlichen Standzeit.



**Abbildung 33** Strombezug der Ladevorgänge nach Häufigkeit im Quartier Weitblick im Jahr 2022.



**Abbildung 34** Darstellung der Abhängigkeit der Gesamtdauer und des Strombezugs der Lastgänge im Quartier Weitblick im Jahr 2022.

Das Ladeverhalten hängt nicht nur von der zurückgelegten Distanz und den typischen Arbeitszeiten ab, sondern kann auch vom Ladetarif beeinflusst werden. Im Quartier Weitblick sind von insgesamt 14 Ladesäulen lediglich zwei öffentlich zugänglich. Die restlichen zwölf Säulen sind ausschließlich für Mitarbeitende und autorisierte Gäste des Quartiers bestimmt. Für die Nutzung aller Ladesäulen wird neben einer monatlichen Grundgebühr (6,90 EUR) ein verbrauchsabhängiger Preis erhoben: An den öffentlichen Ladesäulen beträgt dieser 55 Cent pro kWh, während für die nicht-öffentlichen Ladesäulen ein Rabatt von 5 Cent gewährt wird, sodass hier nur 50 Cent pro kWh berechnet werden. Insgesamt haben 132 der Ladevorgänge an den beiden öffentlichen Ladesäulen stattgefunden und 1.020 an den nicht-öffentlichen Säulen. Betrachtet man die Ladevorgänge je Ladesäule, gibt es mit 85 Ladevorgängen je

nicht-öffentlicher Säule eine leichte Präferenz gegenüber den öffentlichen Säulen mit 66 Ladevorgängen je Säule. Darüber hinaus erfolgt jedoch keine Incentivierung eines gewünschten Ladeverhaltens, da keine zusätzlichen Kosten oder Begrenzungen in Abhängigkeit von der Ladedauer oder -menge bestehen. Zusammenfassend lassen die ersten Analysen erkennen, dass die Ladeprozesse Flexibilität zur Verschiebung bieten und eine aktive Steuerung den Eigenverbrauch maximieren sowie die Kosten senken könnte. Zur weiteren Überprüfung dieser Hypothese wird im Folgenden eine Simulationsanalyse durchgeführt.

### Evaluation der Eigenverbrauchsmaximierung mittels gesteuertem Laden

Aktuell wird die Ladeinfrastruktur im Quartier Weitblick nicht intelligent betrieben. Die Ladevorgänge werden nach dem Start mit der verfügbaren Leistung bedient, bis der Ladevorgang unterbrochen oder die Batterie des E-Fahrzeugs vollgeladen ist. Da im Jahr 2022 die PV-Anlage 211 MWh an Strom erzeugt, von dem 38 MWh in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden, besteht die Möglichkeit, durch das gesteuerte Laden überschüssige PV-Erzeugung für den Betrieb der Ladesäulen zu nutzen. Mit der Implementierung einer Steuerung für intelligentes Laden kann sowohl die Nutzung des lokal im Quartier generierten grünen PV-Stroms gesteigert als auch Kosten reduziert werden.

In der durchgeführten Simulationsanalyse werden die Ladevorgänge des Quartiers im Jahr 2022 intelligent gesteuert, um den Eigenverbrauch des lokal erzeugten PV-Stroms zu maximieren. Aufgrund der perfekten Voraussicht des Modells stellt die Analyse das theoretische Potenzial einer intelligenten Steuerung dar. Wie in Tabelle 8 dargestellt, kann durch das gesteuerte Laden im Jahr 2022 1,9 MWh mehr PV-Strom im Quartier genutzt werden und somit der Strombezug aus dem öffentlichen Netz zur Versorgung der Ladevorgänge gesenkt werden. Hierdurch werden anstatt 23 Prozent des Strombezugs der Ladevorgänge nun 38 Prozent des Stroms für Ladevorgänge mit PV-Strom des Quartiers gedeckt. Legt man die stündliche Emissionsbelastung des Strommixes in Deutschland für das Jahr 2022 dem Strombezug zur Deckung des Stromverbrauchs der Ladeinfrastruktur zugrunde, können durch die zusätzliche Integration von quartierseigenem PV-Strom 0,76 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden – dies entspricht einer Einsparung von 23 Prozent.

**Tabelle 8** Emissionsreduktion durch gesteuertes Laden im Quartier Weitblick

		Ungesteuertes Laden	Gesteuertes Laden
<b>Deckung des Strombedarfs der Ladevorgänge</b>	• PV	3,0 MWh	4,9 MWh
	• Netzstrom	10,1 MWh	8,2 MWh
<b>Anteil der Deckung der Ladevorgänge durch PV</b>		23 %	38 %
<b>Emissionsreduktion</b> durch die intelligente Ladesteuerung		<b>- 0,76 tCO<sub>2</sub></b> (entspricht einer Reduktion um 23 %)	

Die Steigerung des Eigenverbrauchs führt nicht nur zu einer Reduktion von Emissionen, sondern hat auch wirtschaftliche Auswirkungen. Während die Einnahmen aus der Vermarktung von PV-Strom aufgrund der verringerten Einspeisung sinken, können gleichzeitig durch den reduzierten Netzbezug Strombezugskosten eingespart werden. In der folgenden Analyse stellen wir eine Gesamtbilanz auf und bewerten, wie sich die Reduktion der Einspeisung und die Senkung der Netzkosten insgesamt auf die Wirtschaftlichkeit auswirken.

Die im Quartier Weitblick betrachtete PV-Anlage mit 227 kWp unterliegt aufgrund ihrer Größe der Direktvermarktung. Aufgrund des hohen Eigenverbrauchs fallen die Einnahmen durch die Vermarktung der Einspeisung daher gering aus. Jedoch können die gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Quartiere mit überschüssiger Stromerzeugung übertragen werden, um den Eigenverbrauch zu steigern. Aufgrund der in Kapitel 4.3.3 erläuterten Einnahmeunterschiede im Jahr 2022 werden als Vergleich für die Wirtschaftlichkeitsanalyse sowohl die Berechnungen mit der Direktvermarktung als auch mit der festen Einspeisevergütung von 6,04 ct/kWh [104] angestellt. Wie in Tabelle 9 dargestellt, sinken die Einnahmen aus der Einspeisung durch die Steigerung des Eigenverbrauchs – im Fall der festen Einspeisevergütung um 116 EUR/Jahr und bei Direktvermarktung um 525 EUR/Jahr. Dem gegenüber steht eine Reduktion der Strombezugskosten durch erhöhten Eigenverbrauch (hier positiv dargestellt). Für die Berechnungen wird zum Vergleich sowohl ein stündlich dynamischer Stromtarif sowie ein fixer Stromtarif angesetzt. Der dynamische Stromtarif setzt sich aus den stündlichen Day-Ahead Marktpreisen zusammen mit einem Aufschlag für die Stromsteuer (2,05 ct/kWh), Netzentgelten (9,52 ct/kWh) und weiteren Abgaben (3,03 ct/kWh) [105]. Im Sinne der Vergleichbarkeit wird für den fixen Stromtarif der Durchschnitt von 38,15 ct/kWh aus dem dynamischen Stromtarif angesetzt. Im Falle des fixen Stromtarifes kann mithilfe des intelligenten Ladens eine Kostenreduktion von 731 EUR/Jahr im Jahr 2022 erzielt werden und bei einem dynamischen Stromtarif eine Kostenreduktion von 967 EUR/Jahr. Für den durchschnittlichen Ladevorgang mit festem Stromtarif bedeutet das Kosten von 3,36 EUR im ungesteuerten Fall sowie 2,72 EUR im Fall einer intelligenten Ladesteuerung. In der Gesamtbetrachtung ermöglicht das intelligente Laden, abhängig von der Kombination aus Einspeiseerlös und Tarifstruktur, Zusatzeinnahmen zwischen 206 EUR und 851 EUR im Jahr 2022.

**Tabelle 9** Wirtschaftliche Auswirkungen von gesteuertem Laden im Quartier Weitblick 2022.

<b>Reduktion der Einnahmen</b> reduzierte Einspeisung	• feste Einspeisevergütung (6,04 ct/kWh)	- 116 EUR
	• Direktvermarktung	- 525 EUR
<b>Reduktion der Kosten</b> gesunkener Netzbezug	• fixer Stromtarif	+ 731 EUR
	• dynamischer Stromtarif	+ 967 EUR
<b>Erhöhte Gesamteinnahmen</b>	• feste Einspeisevergütung & fixer Stromtarif	+ 615 EUR
	• feste Einspeisevergütung & dynam. Stromtarif	+ 851 EUR
	• Direktvermarktung & fixer Stromtarif	+ 206 EUR
	• Direktvermarktung & dynam. Stromtarif	+ 442 EUR

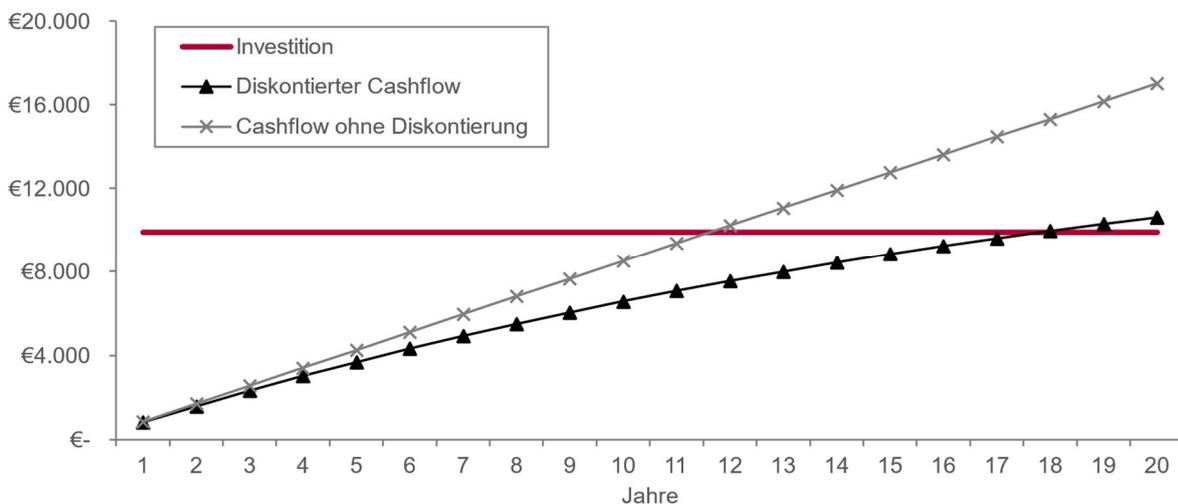
Die Implementierung eines intelligenten Lademanagementsystems erfordert jedoch über die vorhandene PV-Anlage und Ladesäulen hinaus zusätzliche Investitionen in Hardware und Software. Diese zusätzlichen Kosten können den in Tabelle 9 aufgeführten Einnahmen gegenübergestellt und mithilfe einer Wirtschaftlichkeitsanalyse die Rentabilität berechnet werden. Eines der führenden Systeme zur Ergänzung eines intelligenten Lademanagementsystems an bestehende Infrastruktur ist ChargePilot vom Hersteller The Mobility House [106]. Für die Wirtschaftlichkeitsauswertung des analysierten intelligenten Ladesystems nehmen wir an, 6 der 14 Ladesäulen mit dem ChargePilot System auszustatten, welches der maximalen Anzahl parallel ladender E-Fahrzeuge im Jahr 2022 entspricht. Bei Einzelkosten von 1.665 EUR pro Ladesäule ergibt sich eine Gesamtinvestition von 9.900 EUR. Die durch das intelligente Lademanagement generierten Mehreinnahmen (vgl. Tabelle 9) ermöglichen die in Tabelle 10 aufgeführten Kapitalwerte und Amortisationszeiten, wobei wir annehmen, in allen darauffolgenden Jahren diese Einnahmen zu erzielen. Die signifikante Differenz zwischen dem dynamischen und fixen

Stromtarif unterstreicht die Bedeutung der Auswahl eines angemessenen Stromtarifs angesichts der zunehmenden Preisvolatilität durch erneuerbare Energien. Die negativen Kapitalwerte, die bei der Direktvermarktung berechnet wurden, lassen sich auf die außergewöhnlich hohen Strombörsenpreise im Jahr 2022 zurückführen. Diese führten zu einem signifikanten Anstieg der entgangenen Einnahmen durch die Reduktion der Einspeisung. Vor dem Hintergrund, dass in normalen Jahren die Einspeisevergütung annähernd der Direktvermarktung entspricht, kann in Anbetracht des positiven Kapitalwertes von 2.295 EUR bzw. 7.009 EUR mit einer Amortisationszeit von knapp 12 Jahren (vgl. Abbildung 35) die Investition eindeutig empfohlen werden. Die zu erwartende Zunahme der Ladevorgänge birgt das Potenzial, die Wirtschaftlichkeit eines intelligenten Lademanagementsystems weiter zu steigern und die Amortisationsdauer zu verkürzen. Dies ermöglicht die wirtschaftliche Ausstattung aller 14 Ladesäulen mit einem intelligenten Lademanagementsystem. Bei einer Neuinstallation von Ladesäulen ist hingegen dringend zu empfehlen, ein ganzheitliches Paket aus steuerbaren Ladesäulen und Sensorik inklusive Energie- und Lademanagementsystem zu priorisieren, um potenzielle Schnittstellenprobleme zwischen Produkten unterschiedlicher Hersteller zu vermeiden und die Gesamtkosten zu reduzieren.

**Tabelle 10** Kapitalwert und Amortisationsdauer eines intelligenten Lademanagementsystems.

	Einspeisevergütung & fixer Stromtarif	Einspeisevergütung & dynam. Stromtarif	Direktvermarktung & fixer Stromtarif	Direktvermarktung & dynam. Stromtarif
Kapitalwert*	2.295 EUR	7.009 EUR	- 5.887 EUR	- 1.174 EUR
Amortisation	16 Jahre	12 Jahre	49 Jahre	23 Jahre

\*Kapitalwertberechnung mit Zins von 5% und Laufzeit über 20 Jahre



**Abbildung 35** Amortisationsdauer der intelligenten Ladesteuerung.

### 5.2.3 Übertragung: Ladestationen im Gewerbequartier Hochzoll-Mitte

Die im Quartier Weitblick gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auf weitere Quartiere übertragen. Ein geeignetes Beispiel hierfür ist das Gewerbequartier Hochzoll-Mitte, das über zwei PV-Anlagen verfügt, welche 72 Prozent ihrer Erzeugung ins öffentliche Netz einspeisen, sowie ein BHKW, das 63 Prozent seiner Stromerzeugung einspeist. Der nicht eingespeiste Strom wird derzeit für den Eigenverbrauch der allgemeinen Anlagen im Quartier verwendet, in welchen die Ladeinfrastruktur integriert werden könnte.

Zur Untersuchung einer möglichen Ladeinfrastruktur im Quartier Hochzoll-Mitte wurden passende Ladevorgänge aus dem Quartier Weitblick ausgewählt und übertragen.

Die Auswahl erfolgt anhand der nachfolgenden Kriterien:

- Ladedauer geringer als 8 Stunden Dauer
- Durchschnittliche Ladeleistung von maximal 11 kW
- Startzeitpunkt des Ladevorgangs zwischen 7 und 19 Uhr

Auf Basis dieser Kriterien wurden 764 Ladevorgänge auf das Quartier Hochzoll-Mitte übertragen. Im nächsten Schritt erfolgten die Integration und Analyse dieser Ladevorgänge, sowohl ungesteuert als auch mit intelligenter Steuerung.

### Analyse der ungesteuerten Ladevorgänge

Die simulative Integration der Ladeinfrastruktur im Quartier Hochzoll-Mitte wird anhand von vier Szenarien untersucht. Ziel ist es im Zuge der Integration zu untersuchen, inwiefern der im Quartier erzeugte Strom, der im Status Quo zu einem großen Teil (68 Prozent) eingespeist wird und nicht im Quartier genutzt wird, integriert werden kann. In den ersten drei Szenarien wird der lokal erzeugte Strom weiterhin ausschließlich zur Deckung des Strombedarfs der allgemeinen Anlagen verwendet. Konkret wird für die Ladeinfrastruktur in Szenario 1 nur der überschüssige Strom der PV-Anlage, in Szenario 2 der überschüssige Strom von dem BHKW, und in Szenario 3 der überschüssige Strom sowohl von der PV-Anlage als auch dem BHKW eingesetzt. Szenario 4 unterscheidet sich dadurch, dass der gesamte, lokal verfügbare Strom zunächst zur Deckung des Strombedarfs der Allgemeinanlagen und der Mietenden genutzt wird, sowie in zweiter Priorität für die Deckung des Stromverbrauchs der Ladeinfrastruktur. Ziel ist es zu analysieren, ob die überschüssige Stromerzeugung sinnvoll für die Deckung des Stromverbrauchs der Ladeinfrastruktur im Quartier eingesetzt werden kann. Da im Quartier kein feingranularer Lastgang des Stromverbrauchs vorliegt, wird zur Analyse von Szenario 4 das Standardlastprofil für Gewerbe G0 [44] herangezogen und mit dem Gesamtstromverbrauch skaliert.

In Tabelle 11 werden die Szenarienergebnisse gegenübergestellt. Die Tabelle enthält die verfügbare Strommenge aus der Eigenerzeugung durch die PV-Anlage und des BHKWs, den Strombedarf der Ladevorgänge sowie die resultierende Strombedarfsdeckung der ungesteuerten Ladevorgänge aufgeteilt nach Netzbezug und lokaler Eigenerzeugung. Trotz den vergleichsweise hohen verfügbaren Strommengen aus Eigenerzeugung in den Szenarien eins bis drei und des geringen Strombedarfs der Ladevorgänge können diese nicht vollständig durch die vorhandene Eigenerzeugung im Quartier gedeckt werden. In Szenario eins können 72 Prozent, in Szenario zwei 39 Prozent und in Szenario drei 88 Prozent des Strombedarfs der Ladevorgänge durch Eigenerzeugung gedeckt werden. In Szenario 4 können dagegen nur 0,3 MWh und damit 4 Prozent des Strombedarfs der Ladeinfrastruktur aus Eigenerzeugung gedeckt werden. Dies weist darauf hin, dass die überschüssige Stromerzeugung im Quartier nach Deckung des Eigenverbrauchs der Allgemeinanlagen und der Mietenden zeitlich nicht mit den Charakteristika der Ladevorgänge im Quartier übereinstimmt und somit der Stromverbrauch der Ladeinfrastruktur zum größten Teil mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt werden muss.

Tabelle 11: Ungesteuerte Strombedarfsdeckung der Ladevorgänge im Quartier Hochzoll-Mitte.

		Szenario 1 ungesteuert PV-Strom für Ladeinfrastruktur	Szenario 2 ungesteuert BHKW-Strom für Ladeinfrastruktur	Szenario 3 ungesteuert PV- u. BHKW- Strom für Lade- infrastruktur	Szenario 4 ungesteuert PV- u. BHKW- Strom in zweiter Prio für Lade- infrastruktur
<b>Verfügbarer Strom für Ladeinfrastruktur</b>	• BHKW	115 MWh	-	115 MWh	
	• PV	-	57 MWh	57 MWh	
	• Gesamt	115 MWh	57 MWh	172 MWh	6,2 MWh
<b>Strombedarf der Ladevorgänge</b>		8,1 MWh	8,1 MWh	8,1 MWh	8,1 MWh
<b>Strombedarfsdeckung der Ladevorgänge</b>	• PV / BHKW	5,8 MWh	3,2 MWh	7,1 MWh	0,3 MWh
	• Netzstrom	2,3 MWh	4,9 MWh	1,0 MWh	7,8 MWh
<b>Anteil der Strombedarfsdeckung der Ladeinfrastruktur mittels Eigenerzeugung</b>		72 %	39 %	88 %	4 %
<b>Emissionen durch die Nutzung von Netzstrom zur Deckung des Strombedarfs der Ladeinfrastruktur</b>		0,93 tCO <sub>2</sub>	1,79 tCO <sub>2</sub>	0,38 tCO <sub>2</sub>	2,96 tCO <sub>2</sub>

Abbildung 36 zeigt die Lastkurve der Ladevorgänge aus Szenario eins, aufgeteilt nach Netzbezug und Versorgung durch PV-Strom. Der Jahresverlauf der PV-Erzeugung ist erkennbar, wobei insbesondere im Sommer der Stromverbrauch weitgehend durch die PV-Anlagen gedeckt werden kann. In den Wintermonaten und zu Randzeiten muss jedoch auf Strom aus dem öffentlichen Netz zurückgegriffen werden. In Szenario drei ergänzt die Stromerzeugung des BHKWs die der PV-Anlagen während der Wintermonate, was eine höhere Deckung des Stromverbrauchs durch Eigenerzeugung ermöglicht. Zusammenfassend zeigt die Analyse, dass analog zum Quartier Weitblick auch in Hochzoll-Mitte noch Potenzial zur Eigenverbrauchsmaximierung durch zeitliche Verschiebung der Ladevorgänge besteht.

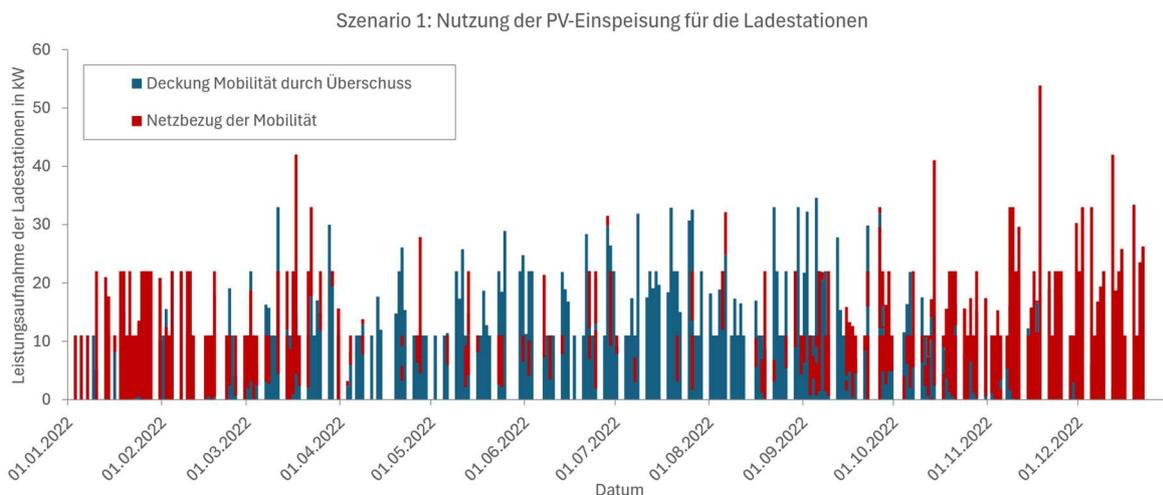


Abbildung 36 Lastkurve der Ladevorgänge in Szenario 1 im Quartier Hochzoll-Mitte.

## Evaluation der Eigenverbrauchsmaximierung mittels gesteuertem Laden

Für die Potenzialanalyse der Eigenverbrauchsmaximierung werden analog zum Quartier Weitblick die Ladevorgänge im Quartier Hochzoll-Mitte nach der Verfügbarkeit des eigenerzeugten Stroms optimiert. Die Ergebnisse für die gesteuerten Ladevorgänge sind für alle vier Szenarien in Tabelle 12 dargestellt. In Szenario 1 ermöglicht das gesteuerte Laden, dass 89 Prozent des Stromverbrauchs der Ladevorgänge durch quartierseigenen PV-Strom gedeckt werden, was einer Steigerung um 17 Prozent im Vergleich zum ungesteuerten Laden entspricht. Hierdurch lassen sich knapp 500 EUR an Stromkosten einsparen, während der Quartiersbetreibende auf Erlöse von fast 80 EUR im Falle der Einspeisevergütung bzw. 266 EUR bei Direktvermarktung verzichten muss. Im Szenario 2, bei dem ausschließlich der Strom des BHKWs genutzt wird, führt die intelligente Steuerung zu der höchsten Steigerung des Eigenverbrauchs um 27 Prozent auf insgesamt 66 Prozent und infolgedessen zur höchsten Kostenreduktion durch den verringerten Netzbezug zur Deckung des Strombedarfs der Ladevorgänge. Die Stromkosteneinsparungen belaufen sich in Szenario 2 auf 831 EUR während auf Erlöse von 132 EUR bzw. 542 EUR verzichtet werden muss. In Szenario 3 kann fast der gesamte Strombedarf der Ladevorgänge (97 Prozent) durch die Kombination von BHKW und PV-Anlagen gedeckt werden, was zu einer erheblichen Reduktion des aus dem öffentlichen Netz bezogenen Stroms zur Deckung des Strombedarfs der Ladeinfrastruktur und damit einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 90 Prozent führt. Durch die intelligente Steuerung der Ladevorgänge sinken die Strombezugskosten um 332 EUR. Der Quartiersbetreiber verzichtet jedoch auf Erlöse in Höhe von 53 EUR aus der Einspeisevergütung bzw. 165 EUR bei der Direktvermarktung. Szenario 4 zeigt, dass trotz intelligenter Steuerung der Ladevorgänge nur 1,0 MWh der verfügbaren 6,2 MWh durch die Eigenerzeugung gedeckt werden können, was einer Emissionsreduktion von lediglich neun Prozent entspricht. Der Stromverbrauch der Ladeinfrastruktur kann somit nur zu einem sehr geringen Anteil in die Zeitpunkte überschüssiger Stromerzeugung verschoben werden. Es ist jedoch zu beachten, dass der eigenerzeugte Strom in diesem Szenario vorrangig für die Mietenden und die Allgemeinanlagen verwendet wird, was insgesamt zu einer höheren Emissionsreduktion im gesamten Quartier führt. Die intelligente Ladesteuerung reduziert die Strombezugskosten um 262 EUR, während Erlöse in der Höhe von 41 EUR durch die Einspeisevergütung bzw. 180 EUR im Falle der Direktvermarktung ausbleiben.

**Tabelle 12** Gesteuerte Strombedarfsdeckung der Ladevorgänge im Quartier Hochzoll-Mitte (Szenario 1 und 2).

		<b>Szenario 1 gesteuert</b> PV-Strom für Ladeinfrastruktur	<b>Szenario 2 gesteuert</b> BHKW-Strom für Ladeinfrastruktur	<b>Szenario 3 gesteuert</b> PV- u. BHKW-Strom für Ladeinfrastruktur	<b>Szenario 4 gesteuert</b> PV- u. BHKW-Strom in zweiter Prio für Ladeinfrastruktur
<b>Strombedarfsdeckung der Ladevorgänge</b>	• PV / BHKW	7,1 MWh	5,3 MWh	8,0 MWh	1,0 MWh
	• Netzstrom	0,9 MWh	2,7 MWh	0,1 MWh	7,1 MWh
<b>Anteil der Strombedarfsdeckung der Ladeinfrastruktur mittels Eigenerzeugung</b>		89 % (+17%)	66 % (+27%)	97 % (+9%)	12 % (+9%)
<b>Emissionen durch die Nutzung von Netzstrom zur Deckung des Strombedarfs der Ladeinfrastruktur</b>		0,41 tCO <sub>2</sub> (- 55 %)	0,96 tCO <sub>2</sub> (- 46 %)	0,04 tCO <sub>2</sub> (- 90 %)	2,70 tCO <sub>2</sub> (- 9 %)
<b>Reduktion Einnahmen</b> reduzierte Einspeisung	• feste Einspeisevergütung	- 79 EUR	- 132 EUR	- 53 EUR	- 41 EUR
	• Direktvermarktung	- 266 EUR	- 542 EUR	- 165 EUR	- 180 EUR
<b>Reduktion der Kosten</b> gesunkener Netzbezug	• fixer Stromtarif	+ 498 EUR	+ 831 EUR	+ 332 EUR	+ 262 EUR
<b>Erhöhte Gesamteinnahmen</b>	• feste Einspeisevergütung & fixer Stromtarif	+ 419 EUR	+ 699 EUR	+ 279 EUR	+ 221 EUR
	• Direktvermarktung & fixer Stromtarif	+ 232 EUR	+ 289 EUR	+ 167 EUR	+ 82 EUR

Betrachtet man die Gesamteinnahmen, die sich aus den reduzierten Einspeiseeinnahmen und den gesunkenen Netzbezugskosten zusammensetzen, zeigt sich eine durchweg positive Bilanz über alle Szenarien. Die geringste Gesamteinnahmensteigerung findet sich in Szenario 4 mit nur 81 EUR/Jahr bei Direktvermarktung und fixem Stromtarif. Hier wird der eigenerzeugte Strom bereits anderweitig im Quartier verwendet. Szenario 2 verzeichnet mit einer Steigerung von 699 EUR/Jahr die höchsten Einnahmen aufgrund der größten Veränderung in der Strombedarfsdeckung. Diese Wirtschaftlichkeitsberechnungen verdeutlichen jedoch lediglich den Unterschied zwischen ungesteuertem und gesteuertem Laden. Um die Strombedarfsdeckung durch Eigenerzeugung zu maximieren, ist eindeutig Szenario 3 zu empfehlen, welches einen Netzbezug von nur noch 3 Prozent mit einer Emissionsreduktion von 90 Prozent ermöglicht. Die erzielten Einsparungen durch gesteuertes Laden fallen im Vergleich zu Gesamtstromkosten im Quartier gering aus. Die Analysen zeigen jedoch, dass durch gesteuertes Laden eine Steigerung des Eigenverbrauchs und dadurch die Reduktion von benötigtem Netzstrom erzielt werden kann. Die Anzahl der Ladesäulen und Ladevorgänge spielen dabei eine entscheidende Rolle. In Quartieren

mit entsprechend größerer Ladeinfrastruktur steigt folglich die verschiebbare Strommenge und damit das Potenzial der Eigenverbrauchsmaximierung.

### 5.3 Empfehlung zur Konzeptionierung nachhaltiger Mobilitätslösungen

Die nachhaltige Transformation des Gebäudesektors umfasst auch die fortschreitende Elektrifizierung und die Integration nachhaltiger Mobilitätslösungen, um lokal erzeugte Energie optimal zu nutzen. Bei der angestrebten Sektorenkopplung sollten alle Mobilitätsformen, von Sharing-Angeboten für Mikromobilität und E-Carsharing bis hin zur Individualmobilität mit privaten E-Fahrzeugen, ganzheitlich betrachtet werden.

Bei der Auswahl und Konzeption geeigneter Sharing-Modelle für ein Quartier müssen die lokalen Gegebenheiten des Quartiers und die typischen Nutzendenprofile berücksichtigt werden. In städtischen Wohnquartieren wie dem Prinz-Karl-Viertel, Hochzoll-Mitte oder Kissing, die Angebote für den täglichen Bedarf im nahen Umkreis bieten, ist geteilte Mikromobilität besonders vorteilhaft. Diese ermöglicht häufig eine Zeitersparnis im Vergleich zum ÖPNV, erspart die Parkplatzsuche und überbrückt als Direktverbindung die letzte Meile. Darüber hinaus sind Stauraum für private Fahrräder und Scooter in städtischen Quartieren häufig knapp und bergen Konfliktpotential, welches mit Sharing-Angeboten vermieden werden kann. Wichtig ist jedoch, dass die umliegende Infrastruktur fahrradfreundlich gestaltet ist, damit Hemmnisse wie ein erhöhtes Unfallrisiko nicht aufkommen. Ergänzend zur Mikromobilität kann (E-)Carsharing sowohl in dicht bebauten urbanen Gebieten als auch in lockerer gestalteten Vorstadtgebieten den Bedarf an privaten PKWs reduzieren. Bei Vorhandensein einer PV-Anlage im Quartier ist stationsbasiertes E-Carsharing empfehlenswert, um mithilfe eines Energiemanagementsystems die Stromerzeugung mit der Mobilität zu koppeln. Existieren bereits öffentlich verfügbare, stationsbasierte (E-)Carsharing-Angebote in der Nähe, wie im Quartier Hochzoll-Mitte oder Prinz-Karl-Viertel, kann eine Kooperation mit dem Anbieter, inklusive Vergünstigungen für die Quartiersbewohnenden, die Nutzung und die Attraktivität des Quartiers steigern [79]. Die tarifliche Gestaltung sollte wie im Quartier ODH@Bochum das gewünschte Nutzungsverhalten fördern und mit den Bedarfen der Nutzenden übereinstimmen. So sind in Quartieren, die in der Nähe oder innerhalb eines Stadtzentrums liegen, vorrangig sehr kurze Fahrten oder längere Tagesausflüge zu Erholungsgebieten relevant. Um die benötigte Anzahl an PKWs möglichst gering zu halten, sollten kurze Nutzungszeiten mittels zeitlicher oder distanzbasierter Limitierungen angestrebt und durch attraktive Angebote für Ganztagesnutzungen ergänzt werden. In Quartieren etwas außerhalb können diese Limitierungen gelockert werden, da dort auch längere Strecken üblich sind. In Gewerbe- oder Industriequartieren wie dem Toni-Park, BCM oder Weitblick stehen leicht andere Mobilitätspräferenzen im Vordergrund. Mikromobilität kann auf dem Gelände oder auch als Direktverbindung zu den nächsten ÖPNV-Anschlüssen eingesetzt werden, jedoch sind elektrisch unterstützte Fahrzeuge besonders gefragt, um frisch und erholt bei anstehenden Terminen anzukommen. Im E-Carsharing soll ähnlich wie in Wohnquartieren bevorzugt mit lokal erzeugtem PV-Strom geladen werden. Hier gewinnen Free-Floating Angebote, die Abstellmöglichkeiten sowohl am Arbeitsplatz als auch am nächsten ÖPNV-Anschluss oder dem Wohnviertel haben, an Bedeutung, um die Fahrzeuge für Pendelstrecken zu nutzen und nicht den gesamten Tag wie bei stationsbasierten Konzepten buchen zu müssen.

Für eine ganzheitlichen Transformation zu nachhaltiger Mobilität bedarf es neben Sharing-Angeboten auch Lösungen für eine nachhaltige Individualmobilität. E-Fahrzeuge bieten einen vielversprechenden

Ansatz, jedoch müssen insbesondere in urbanen Räumen komfortable Lösungen für das Laden gefunden werden. Über alle Quartiersarten hinweg ist dafür die Installation von Ladestationen dringend zu empfehlen, insbesondere wenn diese mit lokaler Stromerzeugung kombiniert werden. Die häufig langen Standzeiten an Wohn- und Arbeitsort ermöglichen durch Verschiebung der Ladevorgänge eine Eigenverbrauchsmaximierung, wie im Quartier Weitblick und Hochzoll-Mitte gezeigt. Darüber hinaus steigert die Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten im bestehenden Alltag die Akzeptanz und beschleunigt die Verbreitung der E-Mobilität. In allen Quartieren, sowohl in Gewerbe- als auch in Wohnquartieren, sollte ein intelligentes Lademanagementsystem zur Maximierung des Eigenverbrauchs in Betracht gezogen werden. Die typischen Ankunftszeiten der E-Fahrzeuge fallen oft nicht mit der Verfügbarkeit des lokal erzeugten Stroms zusammen. Eine intelligente Steuerung der Ladeprozesse kann durch die Verschiebung der Ladevorgänge sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile bieten und die Netzbelastung reduzieren. Um eine solche Optimierung realisieren zu können, sollten idealerweise die benötigten Ladekapazitäten und geplanten Abfahrtszeiten der E-Fahrzeuge bekannt sein. Dies ermöglicht eine faire Priorisierung der Ladevorgänge. Nutzende können beispielsweise über eine App oder einen Touchscreen an der Ladestation in den Prozess eingebunden werden. Falls eine direkte Nutzendeneinbindung nicht möglich ist, können alternative Strategien wie eine gleichmäßige Verteilung der verfügbaren Leistung über alle E-Fahrzeuge verteilt oder ein First-Come-First-Serve-Prinzip angewendet werden. Hier werden Ladevorgänge bis zur Verfügbarkeit von eigenerzeugtem Strom verschoben und nur in Ausnahmefällen sollte eine Sonderaktivierung für das Laden über Netzstrom möglich sein. Zusätzlich zur Eigenverbrauchsoptimierung und -steuerung können durch differenzierte Tarifgestaltung gewünschte Verhaltensweisen incentiviert werden. Vergünstigungen während der Mittagszeit können das Laden zu diesem Zeitpunkt attraktiver machen, während höhere Preise bei steigender Gesamtlademenge die Lademenge bei knapper Verfügbarkeit von PV-Strom begrenzen können. Bei einer knappen Ladesäulenzahl sind Blockiergebühren ein beliebtes Mittel, um die Effizienz der Ladeinfrastruktur zu steigern. In Wohnquartieren sind die Bewohnenden jedoch tagsüber häufig abwesend und der Stromverbrauch steigt erst abends an. Hier ist die Installation von Batteriespeichern zu empfehlen, um den tagsüber erzeugten PV-Strom zu speichern und effektiv während der Spitzenlast am Abend und über Nacht mittels Entladung im Quartier zu nutzen. Die fortschreitende Entwicklung bidirektionaler E-Fahrzeuge und Ladesäulen eröffnet weitere Möglichkeiten. Diese Technologien ermöglichen es, dass E-Fahrzeuge nicht nur geladen, sondern auch entladen werden können, wodurch sie als mobile Energiespeicher dienen. Dies ist besonders in Wohnquartieren relevant, damit Bewohnende tagsüber am Arbeitsplatz ihr Auto mit PV-Strom laden, um nachts mittels Entladung zur Grundversorgung des Quartiers beizutragen. Für Gewerbequartiere wurde bereits im BüroCenter Messe gezeigt, dass vor allem Flottenfahrzeuge sich für bidirektionale Ladesysteme eignen. Abhängig vom variierenden Arbeitsalltag und Reisebedarf sind diese E-Fahrzeuge regelmäßig nicht voll ausgelastet und dienen so als zusätzliche Speicher. Zusammenfassend kann und soll die Quartiersgestaltung aktiv die nachhaltige Mobilitätstransformation unterstützen und die Sektorenkopplung am Beispiel der Mobilität realisieren.

---

### Weiterführende Literatur:

- Baumgarte, Felix; Keller, Robert; Röhrich, Felix; Valett, Lynne; Zinsbacher, Daniela (2022): Revealing Influences on Carsharing Users' Trip Distance in Small Urban Areas. In Transportation Research Part D: Transport and Environment 105 - 103252.  
DOI: 10.1016/j.trd.2022.103252.
  - Baumgarte, Felix; Eiser, Niklas; Kaiser, Matthias; Langer, Kilian; Keller, Robert (2022): Smart Electric Vehicle Charging considering Discounts for Customer Flexibility. In Proceedings of the 28th Americas Conference on Information Systems (AMCIS), 2022.
  - Baumgarte, Felix; Brandt, Tobias; Keller, Robert; Röhrich, Felix; Schmidt, Lukas (2021): You'll Never Share Alone: Analyzing Carsharing User Group Behavior. In Transportation Research Part D: Transport and Environment 93 – 102754.  
DOI: 10.1016/j.trd.2021.102754.
  - Baumgarte, Felix; Dombetzki, Luca; Kecht, Christoph; Wolf, Linda; Keller, Robert (2021): AI-based Decision Support for Sustainable Operation of Electric Vehicle Charging Parks. In Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2021. ISBN: 978-0-9981331-4-0.
  - Hegele, Theresa; Markgraf, Moritz; Preißler, Carina; Baumgarte, Felix (2020): Intelligentes Entscheidungsunterstützungssystem für Ladevorgänge an Stromtankstellen. In Proceedings of the 15th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI), 2020.  
DOI: [https://doi.org/10.30844/wi\\_2020\\_r4-hegele](https://doi.org/10.30844/wi_2020_r4-hegele)
-

## 6 Best Practices für zukünftige Quartiersprojekte

Die im Zuge des Whitepapers dargestellten Inhalte zeigen, wie Quartiere zu einer kostengünstigen, klimafreundlichen und sozialverträglichen Zukunft beitragen können. Dabei beschränkt sich ihr Potenzial nicht nur auf den Wohnbereich, sondern erstreckt sich auch auf Gewerbe und Industrie sowie auf gemischte Nutzungsformen.

Die in diesem Dokument präsentierten Erkenntnisse basieren auf den Quartieren und Projekten, die in Kapitel 2 vorgestellt wurden und die ein breites Spektrum innovativer nachhaltiger Lösungen umfassen. Die Erkenntnisse aus den Quartieren wurden in drei Fokusthemen aufgeteilt und in drei Kapiteln präsentiert. Kapitel 3 zeigt, wie Anreizsysteme die Quartiersnutzenden durch verschiedene Interventions-typen hin zu einem energieeffizienten Verhalten beeinflussen können und zeigt beispielhaft, wie eine Quartiers-App mithilfe eines Home-Energy-Reports Quartiersnutzende zum Energiesparen durch Monitoring und Feedback anreizen kann (vgl. Kapitel 3.2). Kapitel 4 widmet sich den ökonomischen und ökologischen Vorteilen durch gemeinsame Energieversorgungssysteme und zeigt, wie Energieinfrastruktur in Quartieren so geplant, erweitert und optimiert werden kann, dass Vorteile für die Quartiersnutzenden sowie die Betreiber realisiert werden können (vgl. Kapitel 4.2). Die Investitionsentscheidungen müssen dabei insbesondere in Niedrigzinszeiträumen mit Blick auf die zukünftigen möglichen (Preis-)Entwicklungen und deren Risiken getätigt werden (vgl. Kapitel 4.1). Modelle wie Mieterstrom können zusätzliche Anreize bieten, indem eine sozialverträgliche und kostengünstige Stromversorgung für Mietende und zusätzliche Erlöse für Quartiersbetreiber realisiert werden können (vgl. Kapitel 4.3). Die Analysen in Kapitel 5 im Hinblick auf die Sektorenkopplung am Beispiel der Mobilität zeigen, dass Synergieeffekte in Quartieren realisiert werden können, um eine effiziente und kostengünstige Elektromobilität sicherzustellen. Das Angebot von Mobilitätslösungen, wie Carsharing oder Sharing von Mikromobilität, in Quartieren kann zur Reduktion von Individualmobilität und damit zur Schaffung von Freiräumen durch die Reduktion von Parkplätzen führen. Zusätzlich könne lange Standzeiten von Sharing-Fahrzeugen oder Fahrzeugen der Quartiersnutzenden genutzt werden, um Ladevorgänge intelligent zu steuern und nach der Verfügbarkeit von lokal erzeugter Energie auszurichten (vgl. Kapitel 5.2). Weitere (zukünftige) Entwicklungen hinsichtlich digitaler Technologien ermöglichen in Zukunft eine noch bessere Abstimmung der Energieflüsse und Nutzung der Energieinfrastruktur.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus Quartiersprojekten und bereits etablierten Quartieren können Best Practices für zukünftige Quartiersprojekte abgeleitet werden:

- **Quartiere als wichtiges Instrument für nachhaltiges Wohnen und Arbeiten:** Quartiersprojekte bieten die Möglichkeit, Skalen- und Synergieeffekte zu nutzen, um Energiekosten zu senken, Preisvolatilität zu reduzieren und gleichzeitig Emissionen zu reduzieren. Damit stellen sie ein wichtiges Werkzeug hin zur nachhaltigen Transformation des Wohnens und Arbeitens dar. Es existieren bereits zahlreiche Projekte, die diese Vorteile nutzen und zeigen, jedoch finden Quartiere noch keine breite Anwendung. Durch geeignete Informationsvermittlung der realistischen Potenziale, Vorteile und auch verschiedene Ansätze von Quartieren können diese in Zukunft noch weiterverbreitet werden.
- **Berücksichtigung individueller Gegebenheiten:** Bei der Entwicklung von Quartieren müssen stets individuelle Lösungen entwickelt werden, welche die lokalen Gegebenheiten, die Nutzung des Quartiers und die vorhandene (Energie-)Infrastruktur berücksichtigen. Dies erfordert eine

sorgfältige Voranalyse, um Ansätze zu entwickeln, die individuell die Effizienz und Nachhaltigkeit maximieren sowie durch intelligente Steuerungsansätze und Sektorenkopplung erweitert werden können. Dabei gibt es keine „One size fits all“-Lösungen, jedoch übertragbare innovative Ideen und Konzepte, welche angepasst jeweils verwendet werden können.

- **Frühzeitige Investitionen für langfristige Vorteile:** Die hohen Investitionen sind oft eine Hürde für die Realisierung von Quartiersprojekten. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, dass – je niedriger das Zinsniveau, desto mehr – möglichst frühzeitig Investitionen in Quartiersansätze getätigt werden müssen, um mittel- bis langfristig die Energiekosten zu senken, die Resilienz gegenüber steigenden Energiepreisen und Preisschwankungen zu stärken und Emissionen zu reduzieren. Vor allem vor dem Hintergrund steigender Baukosten und globaler Risiken müssen diese jetzt, flankiert durch geeignete Fördermechanismen, umgesetzt werden.
- **Nutzung von Flexibilität und intelligenter Steuerung:** Die Nutzung von Flexibilität, beispielsweise durch gesteuertes Laden von Elektrofahrzeugen oder mit Energiespeichern, kann zusätzliche Einsparungen ermöglichen, indem der Stromverbrauch und die lokale Stromerzeugung im Quartier besser aufeinander abgestimmt werden. Zudem können geeignete Prognosetools genutzt werden, um den Verbrauch und die Erzeugung auf Basis historischer Daten genauer vorhersagen zu können. Diese Konzepte wurden bereits breit erforscht und finden in Pilotprojekten bereits Anwendung. Unterstützt durch geeignete Fördermaßnahmen müssen diese jetzt in die Praxis übertragen werden.

## 7 Literatur

- [1] J. Rogelj et al., “Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C” (eng), *Nature*, Jg. 534, Nr. 7609, S. 631–639, 2016, DOI: 10.1038/nature18307.
- [2] Umweltbundesamt, Energiesparende Gebäude. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebaeude#Heizung> (Zugriff am: 16. April 2024).
- [3] Umweltbundesamt, Klimaemissionen sinken 2023 um 10,1 Prozent - größter Rückgang seit 1990.
- [4] Statistisches Bundesamt, Großstadtregionen im Wandel. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/Aspekte/demografie-grossstadtregionen.html> (Zugriff am: 16. April 2024).
- [5] S. Bouton, D. Newsome und J. Woetzel, “Building the cities of the future with green districts”. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/Building%20the%20cities%20of%20the%20future%20with%20green%20districts/Building%20the%20cities%20of%20the%20future%20with%20green%20districts.pdf>. Zugriff am: 16. April 2024.
- [6] R. Keller, F. Röhrich, L. Schmidt und G. Fridgen, “Sustainability’s Coming Home: Preliminary Design Principles for the Sustainable Smart District” in Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik.
- [7] V. Graf-Drasch, R. Keller, O. Meindl und F. Röhrich, “The Design of Citizen-Centric Green IS in Sustainable Smart Districts”, *Bus Inf Syst Eng*, Jg. 65, Nr. 5, S. 521–538, 2023, DOI: 10.1007/s12599-023-00821-y.
- [8] V. Z. Gjorgievski, S. Cundeva und G. E. Georghiou, “Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review”, *Renewable Energy*, Jg. 169, S. 1138–1156, 2021, DOI: 10.1016/j.renene.2021.01.078.
- [9] A. Thingvad, P. B. Andersen, T. Unterluggauer, C. Træholt und M. Marinelli, “Electrification of personal vehicle travels in cities - Quantifying the public charging demand”, *eTransportation*, Jg. 9, S. 100125, 2021, DOI: 10.1016/j.etrans.2021.100125.
- [10] M. Featherman, S. Jia, C. B. Califf und N. Hajli, “The impact of new technologies on consumers beliefs: Reducing the perceived risks of electric vehicle adoption”, *Technological Forecasting and Social Change*, Jg. 169, S. 120847, 2021, DOI: 10.1016/j.techfore.2021.120847.
- [11] H. Becker, M. Balac, F. Ciari und K. W. Axhausen, “Assessing the welfare impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS)”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Jg. 131, S. 228–243, 2020, DOI: 10.1016/j.tra.2019.09.027.
- [12] L. Sioui, C. Morency und M. Trépanier, “How Carsharing Affects the Travel Behavior of Households: A Case Study of Montréal, Canada”, *International Journal of Sustainable Transportation*, Jg. 7, Nr. 1, S. 52–69, 2013, DOI: 10.1080/15568318.2012.660109.
- [13] © OpenStreetMap contributors, OpenStreetMap. Verfügbar unter: <https://www.openstreetmap.de/>.

- [14] S. Calließ, „Wie hoch ist der Energieverbrauch im Haus einer Durchschnittsfamilie?“, Thermondo GmbH, 4. Aug. 2020, 2020. . Verfügbar unter: <https://www.thermondo.de/info/rat/hei-zen/energieverbrauch-durchschnittsfamilie/>. Zugriff am: 21. April 2024.
- [15] Gasag, „So viel Strom verbraucht 1 Person“, GASAG AG, 26. Apr. 2023, 2023. Verfügbar unter: <https://www.gasag.de/magazin/neudenken/stromverbrauch-ein-personen-haushalt>. Zugriff am: 23. April 2024.
- [16] Umweltbundesamt, Wohnfläche. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#wohnflache-pro-kopf-gestiegen> (Zugriff am: 23. April 2024).
- [17] „Stromsparen – das funktioniert auch im Unternehmen“, GASAG AG, 2. Mai 2023, 2023. . Verfügbar unter: <https://www.gasag.de/magazin/energiesparen/stromverbrauch-unternehmen>. Zugriff am: 21. April 2024.
- [18] M.-A. Triebel, A. Steingrube, G. Stryi-Hipp und P. Reggentin, „Modellierung Sektorintegrierter Energieversorgung im Quartier“. Verfügbar unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/STUDIE\\_Modellierung\\_sektorintegrierter\\_Energieversorgung\\_im\\_Quartier.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/STUDIE_Modellierung_sektorintegrierter_Energieversorgung_im_Quartier.pdf)
- [19] Augsburg Innovations Park, Augsburg Innovationspark - Augsburg Innovations Park. Verfügbar unter: <https://www.augsburg-innovationspark.com/augsburg-innovationspark/> (Zugriff am: 21. April 2024).
- [20] Statistisches Bundesamt, EU-Vergleich: Deutschland ist Mieterland Nr. 1 in der EU. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Bevoelkerung-Arbeit-Soziales/Soziales-Lebensbedingungen/Mieteranteil.html> (Zugriff am: 23. April 2024).
- [21] IPCC, „Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change“, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022.
- [22] H. Spada, Umweltbewusstsein: Einstellung und Verhalten, 1990. Verfügbar unter: [https://scholar.google.com/citations?user=3ika\\_yaaaaaj&hl=de&oi=sra](https://scholar.google.com/citations?user=3ika_yaaaaaj&hl=de&oi=sra)
- [23] P. E. Griffiths, „Review: Unto Others: The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior“, Mind, Jg. 111, Nr. 441, S. 178–182, 2002, DOI: 10.1093/mind/111.441.178.
- [24] M. Lopes, C. H. Antunes und K. B. Janda, Hg., Energy and behaviour: Towards a low carbon future. London, United Kingdom, San Diego, CA: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2020.
- [25] W. Abrahamse und G. Schuitema, „Psychology and energy conservation: Contributions from theory and practice“ in Energy and behaviour: Towards a low carbon future, M. Lopes, C. H. Antunes und K. B. Janda, Hg., London, United Kingdom, San Diego, CA: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2020, S. 19–44, DOI: 10.1016/B978-0-12-818567-4.00001-6.
- [26] V. Graf-Drasch, L. Arnold, A. Roser und K. Schakib-Ekbatan, „Entwicklung eines zeitgruppenspezifischen Bonussystems: Erstellt im Verbundvorhaben STADTQUARTIER 2050 im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“ aus dem 6. Energieforschungsprogramm“, 2021.
- [27] T. AISkaif, I. Lampropoulos, M. van den Broek und W. van Sark, „Gamification-based framework for engagement of residential customers in energy applications“, Energy Research & Social Science, Jg. 44, S. 187–195, 2018, DOI: 10.1016/j.erss.2018.04.043.

- [28] G. Comodi, A. Bartolini, F. Carducci, B. Nagaranjan und A. Romagnoli, "Achieving low carbon local energy communities in hot climates by exploiting networks synergies in multi energy systems", 0306-2619, Jg. 256, S. 113901, 2019, DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.113901.
- [29] A. Fleischhacker, G. Lettner, D. Schwabeneder und H. Auer, "Portfolio optimization of energy communities to meet reductions in costs and emissions", Energy, Jg. 173, S. 1092–1105, 2019, DOI: 10.1016/j.energy.2019.02.104.
- [30] P. D’Orazio und P. Löwenstein, "Mobilising investments in renewable energy in Germany: which role for public investment banks?" (EN), Journal of Sustainable Finance & Investment, Jg. 12, Nr. 2, S. 451–474, 2022, DOI: 10.1080/20430795.2020.1777062.
- [31] H. U. Buhl und J. Rockstuhl, „Falsche Kommunikation gefährdet das Gelingen der Wärmewende“ (de), Tagesspiegel Background Energie & Klima, 2024. Verfügbar unter: <https://background.tagesspiegel.de/energie-klima/falsche-kommunikation-gefaehrdet-das-gelingen-der-waermewende>
- [32] ENTSO-E, Transparency Platform. Verfügbar unter: <https://transparency.entsoe.eu/>.
- [33] Die Bundesregierung, So läuft der Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/ausbau-erneuerbare-energien-2225808> (Zugriff am: 17. April 2024).
- [34] P. Wang, P. Yu, L. Huang und Y. Zhang, "An integrated technical, economic, and environmental framework for evaluating the rooftop photovoltaic potential of old residential buildings" (eng), Journal of environmental management, Jg. 317, S. 115296, 2022, DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115296.
- [35] R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson und J. Palm, "Photovoltaic self-consumption in buildings: A review", Applied Energy, Jg. 142, S. 80–94, 2015, DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.12.028.
- [36] E. Ferreira, M. M. Sequeira und J. P. Gouveia, "Sharing Is Caring: Exploring Distributed Solar Photovoltaics and Local Electricity Consumption through a Renewable Energy Community", Sustainability, Jg. 16, Nr. 7, S. 2777, 2024, DOI: 10.3390/su16072777.
- [37] E. O’Shaughnessy, D. Cutler, K. Ardani und R. Margolis, "Solar plus: Optimization of distributed solar PV through battery storage and dispatchable load in residential buildings", Applied Energy, Jg. 213, S. 11–21, 2018, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.12.118.
- [38] H. Wu et al., "Impact of model predictive control-enabled home energy management on large-scale distribution systems with photovoltaics", Advances in Applied Energy, Jg. 6, S. 100094, 2022, DOI: 10.1016/j.adapen.2022.100094.
- [39] L. Burtscher, Erneuerbare Energien: Bayern nur im Mittelfeld. Verfügbar unter: <https://umweltinstitut.org/energie-und-klima/meldungen/erneuerbare-energien-bayern/#:~:text=Moderne%20Windkraftanlagen%20an%20Land%20haben,mehr%2C%20im%20Norden%20etwas%20weniger.> (Zugriff am: 27. Februar 2024).
- [40] Fraunhofer IWES, Abschätzung der ökonomischen Wirkung einer Verteilung von Wind- und PV-Anlagen über Deutschland im Rahmen der „Selbstvermarktung“. Verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/KurzStud\\_Frauenhofer\\_IWES\\_Verteilung\\_EEG-Anlagen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/KurzStud_Frauenhofer_IWES_Verteilung_EEG-Anlagen.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (Zugriff am: 27. Februar 2024).

- [41] Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, Maximierung solarer Erträge. Verfügbar unter: <https://pfaff-reallabor.de/maximierung-solarer-ertraege/> (Zugriff am: 17. April 2024).
- [42] Wegatech, Die richtige Ausrichtung einer Photovoltaikanlage. Verfügbar unter: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/planung-und-installation/ausrichtung/> (Zugriff am: 17. April 2024).
- [43] Solarenergie: Informationen zu Photovoltaik und mehr, Alles über eine Ost-West-Ausrichtung von Photovoltaikanlagen. Verfügbar unter: <https://solarenergie.de/photovoltaikanlage/aufbau-photovoltaikanlage/standort-und-ausrichtung/ost-west-anlage> (Zugriff am: 17. April 2024).
- [44] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Standardlastprofile Strom. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/>.
- [45] Verband kommunaler Unternehmen e.V., „Vom Mieterstrom zur Quartiersversorgung: Energiekonzepte vor Ort umsetzen“, Verband kommunaler Unternehmen e.V., 2018.
- [46] P. Carstens, „Klimaanlagen: Warnung vor explodierendem Stromverbrauch“, geo.de, 13. Juli 2023, 2023. Verfügbar unter: <https://www.geo.de/natur/nachhaltigkeit/klimaanlagen--warnung-vor-explodierendem-stromverbrauch-33646068.html>. Zugriff am: 21. April 2024.
- [47] R. Thygesen und B. Karlsson, „Simulation and analysis of a solar assisted heat pump system with two different storage types for high levels of PV electricity self-consumption“, Solar Energy, Jg. 103, S. 19–27, 2014, DOI: 10.1016/j.solener.2014.02.013.
- [48] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Sicher in die Zukunft mit Erneuerbaren!. Verfügbar unter: <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Navigation/DE/Energiewechsel/Erneuerbare-Energien/erneuerbare-energien> (Zugriff am: 17. April 2024).
- [49] Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz): EnWG, 2024. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/enwg\\_2005/index.html](https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/index.html)
- [50] node.energy, Solarpaket 1: Gemeinschaftliche Gebäudeversorgung für Mieterstrom. Verfügbar unter: <https://www.node.energy/blog/solarpaket-1-gemeinschaftliche-gebaeudeversorgung-mieterstrom> (Zugriff am: 21. April 2024).
- [51] Bundesnetzagentur, EEG-Förderung und -Fördersätze. Verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG\\_Foerderung/start.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG_Foerderung/start.html) (Zugriff am: 12. März 2024).
- [52] M. Linnemann, Energiewirtschaft für (Quer-)Einsteiger: Einmaleins der Stromwirtschaft. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [53] Bundesnetzagentur, Mieterstrom: Mieterstrommodelle sind keine neuen Konzepte. Sie werden bereits seit einigen Jahren angeboten. Verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/Energie/Vertragsarten/Mieterstrom/start.html> (Zugriff am: 7. März 2023).
- [54] Vattenfall, Mieterstrom: Auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft. Verfügbar unter: <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/mieterstrom> (Zugriff am: 8. März 2023).
- [55] Deutscher Bundestag, „Mieterstrombericht nach § 99 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2017“, 19. Sep. 2019. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/19/134/1913430.pdf>. Zugriff am: 17. April 2024.

- [56] S. Harder und A. Durmaz, „Wohnungswirtschaft 2.0 – Transformation vom Vermieter zum integrierten dezentralen Versorger“ in Realisierung Utility 4.0 Band 2: Praxis der digitalen Energiewirtschaft vom Vertrieb bis zu innovativen Energy Services, O. D. Doleski, Hg., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020, S. 829–853, DOI: 10.1007/978-3-658-25589-3\_55.
- [57] M. Koepp, L. Krampe, M. Wünsch und H. Schalle, „Mieterstrom: Rechtliche Einordnung, Organisationsformen, Potenziale und Wirtschaftlichkeit von Mieterstrommodellen (MSM)“. Verfügbar unter: [https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20170124\\_prognos\\_schlussbericht\\_mieterstrom.pdf](https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20170124_prognos_schlussbericht_mieterstrom.pdf)
- [58] G. Fridgen, M. Kahlen, W. Ketter, A. Rieger und M. Thimmel, “One rate does not fit all: An empirical analysis of electricity tariffs for residential microgrids”, Applied Energy, Jg. 210, S. 800–814, 2018, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.08.138.
- [59] E. Dütscke, M. Unterländer und M. Wietschel, „Variable Stromtarife aus Kundensicht – Akzeptanzstudie auf Basis einer Conjoint-Analyse“, Nr. 1, 2012. Verfügbar unter: [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2012/WP01-2012\\_Dynamische-Stromtarife\\_final\\_v1.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2012/WP01-2012_Dynamische-Stromtarife_final_v1.pdf)
- [60] C. Schlereth, B. Skiera und F. Schulz, “Why do consumers prefer static instead of dynamic pricing plans? An empirical study for a better understanding of the low preferences for time-variant pricing plans”, European Journal of Operational Research, Jg. 269, Nr. 3, S. 1165–1179, 2018, DOI: 10.1016/j.ejor.2018.03.033.
- [61] forsa im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverbands, „Akzeptanz von variablen Stromtarifen: | Umfrage von forsa im Auftrag des vzbv | November 2015“, 2015. Verfügbar unter: [https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Akzeptanz-variable-Stromtarife\\_Umfrage-Forsa-vzbv-November-2015.pdf](https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Akzeptanz-variable-Stromtarife_Umfrage-Forsa-vzbv-November-2015.pdf). Zugriff am: 14. Juni 2021.
- [62] P. Würth, Gewerbesteuerkürzung bei Mieterstrom-Projekten beachten. Verfügbar unter: <https://www.node.energy/blog/mieterstrom-anspruch-gewerbesteuerkürzung#kurz-und-knappdie-gekürzte-gewerbesteuer-fur-mietobjekte> (Zugriff am: 30. April 2024).
- [63] Wegatech, Steuererklärung bei einer Photovoltaikanlage | Wegatech. Verfügbar unter: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/foerderung-finanzierung/versteuerung-photovoltaikanlagen/> (Zugriff am: 30. April 2024).
- [64] B. Nykvist und L. Whitmarsh, “A multi-level analysis of sustainable mobility transitions: Niche development in the UK and Sweden”, Technological Forecasting and Social Change, Jg. 75, Nr. 9, S. 1373–1387, 2008, DOI: 10.1016/j.techfore.2008.05.006.
- [65] S. A. Shaheen und A. P. Cohen, “Carsharing and Personal Vehicle Services: Worldwide Market Developments and Emerging Trends”, International Journal of Sustainable Transportation, Jg. 7, Nr. 1, S. 5–34, 2013, DOI: 10.1080/15568318.2012.660103.
- [66] R. L. Abduljabbar, S. Liyanage und H. Dia, “The role of micro-mobility in shaping sustainable cities: A systematic literature review”, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Jg. 92, S. 102734, 2021, DOI: 10.1016/j.trd.2021.102734.
- [67] N. C. Onat und M. Kucukvar, “A systematic review on sustainability assessment of electric vehicles: Knowledge gaps and future perspectives”, Environmental Impact Assessment Review, Jg. 97, S. 106867, 2022, DOI: 10.1016/j.eiar.2022.106867.

- [68] S. Shaheen, A. Cohen, N. Chan und A. Bansal, "Sharing strategies: carsharing, shared micro-mobility (bikesharing and scooter sharing), transportation network companies, microtransit, and other innovative mobility modes" in *Transportation, Land Use, and Environmental Planning*, Elsevier, 2020, S. 237–262, DOI: 10.1016/B978-0-12-815167-9.00013-X.
- [69] S. Shaheen und N. Chan, "Mobility and the Sharing Economy: Potential to Facilitate the First- and Last-Mile Public Transit Connections", *built environ*, Jg. 42, Nr. 4, S. 573–588, 2016, DOI: 10.2148/benv.42.4.573.
- [70] McKinsey & Company, "Micromobility: Industry progress, and a closer look at the case of Munich". Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Micromobility%20industry%20progress%20and%20a%20closer%20look%20at%20the%20case%20of%20Munich/Micromobility-industry-progress-and-a-closer-look-vf2.pdf>
- [71] J. Johan de Hartog, H. Boogaard, H. Nijland und G. Hoek, "Do the health benefits of cycling outweigh the risks?" (eng), *Environmental health perspectives*, Jg. 118, Nr. 8, S. 1109–1116, 2010, DOI: 10.1289/ehp.0901747.
- [72] S. Shahee und M. Christensen, "Shared-Use Mobility Summit". Verfügbar unter: <https://innovativemobility.org/wp-content/uploads/2015/04/Shared-Use-Mobility-Summit-White-Paper-1.pdf>. Zugriff am: 22. April 2024.
- [73] H. Nijland und J. van Meerkerk, "Mobility and environmental impacts of car sharing in the Netherlands", *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Jg. 23, S. 84–91, 2017, DOI: 10.1016/j.eist.2017.02.001.
- [74] E. W. Martin und S. A. Shaheen, "Greenhouse Gas Emission Impacts of Carsharing in North America", *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.*, Jg. 12, Nr. 4, S. 1074–1086, 2011, DOI: 10.1109/TITS.2011.2158539.
- [75] L. Amatuni, J. Ottelin, B. Steubing und J. M. Mogollón, "Does car sharing reduce greenhouse gas emissions? Assessing the modal shift and lifetime shift rebound effects from a life cycle perspective", *Journal of Cleaner Production*, Jg. 266, S. 121869, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121869.
- [76] F. Ferrero, G. Perboli, M. Rosano und A. Vesco, "Car-sharing services: An annotated review", *Sustainable Cities and Society*, Jg. 37, S. 501–518, 2018, DOI: 10.1016/j.scs.2017.09.020.
- [77] F. Ciari, B. Bock und M. Balmer, "Modeling Station-Based and Free-Floating Carsharing Demand", *Transportation Research Record*, Jg. 2416, Nr. 1, S. 37–47, 2014, DOI: 10.3141/2416-05.
- [78] KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, „Carsharing im öffentlichen Raum“. Verfügbar unter: [https://www.kea-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Carsharing\\_im\\_o\\_\\_ffentlichen\\_Raum\\_10-2022\\_bf.pdf](https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Carsharing_im_o__ffentlichen_Raum_10-2022_bf.pdf)
- [79] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Elektromobilität im Carsharing: Status Quo, Potenziale und Erfolgsfaktoren“. Verfügbar unter: [https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/now\\_handbuch\\_e-carsharing\\_web\\_2.ueberarb.-aufl.pdf#page=8.58](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/now_handbuch_e-carsharing_web_2.ueberarb.-aufl.pdf#page=8.58)
- [80] Bundesverband CarSharing, „CarSharing-Statistik 2019“. Verfügbar unter: [https://carsharing.de/sites/default/files/uploads/pm\\_carsharing-statistik\\_2019\\_0.pdf](https://carsharing.de/sites/default/files/uploads/pm_carsharing-statistik_2019_0.pdf)

- [81] F. Liao und G. Correia, "Electric carsharing and micromobility: A literature review on their usage pattern, demand, and potential impacts", *International Journal of Sustainable Transportation*, Jg. 16, Nr. 3, S. 269–286, 2022, DOI: 10.1080/15568318.2020.1861394.
- [82] A. Munkácsy und A. Monzón, "Impacts of Smart Configuration in Pedelec-Sharing: Evidence from a Panel Survey in Madrid", *Journal of Advanced Transportation*, Jg. 2017, S. 1–11, 2017, DOI: 10.1155/2017/4720627.
- [83] S. Becker und C. Rudolf, "Exploring the Potential of Free Cargo-Bikesharing for Sustainable Mobility", *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, Jg. 27, Nr. 1, S. 156–164, 2018, DOI: 10.14512/gaia.27.1.11.
- [84] Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, „Mobilität in Deutschland 2017 - Ergebnisbericht“. Verfügbar unter: [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?__blob=publicationFile)
- [85] W. Yang et al., "Shared E-Scooter User Characteristics and Usage Patterns across Four U.S. Cities", *Transportation Research Record*, 2023, Art. no. 03611981231194626, DOI: 10.1177/03611981231194626.
- [86] S. Guidon, H. Becker, H. Dediu und K. W. Axhausen, "Electric Bicycle-Sharing: A New Competitor in the Urban Transportation Market? An Empirical Analysis of Transaction Data", *Transportation Research Record*, Jg. 2673, Nr. 4, S. 15–26, 2019, DOI: 10.1177/0361198119836762.
- [87] S. Hazée, C. Delcourt und Y. van Vaerenbergh, "Burdens of Access", *Journal of Service Research*, Jg. 20, Nr. 4, S. 441–456, 2017, DOI: 10.1177/1094670517712877.
- [88] F. Baumgarte, T. Brandt, R. Keller, F. Röhrich und L. Schmidt, "You'll never share alone: Analyzing carsharing user group behavior", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Jg. 93, S. 102754, 2021, DOI: 10.1016/j.trd.2021.102754.
- [89] G. Romanillos, B. Moya-Gómez, M. Zaltz-Austwick und P. J. Lamíquiz-Daudén, "The pulse of the cycling city: visualising Madrid bike share system GPS routes and cycling flow", *Journal of Maps*, Jg. 14, Nr. 1, S. 34–43, 2018, DOI: 10.1080/17445647.2018.1438932.
- [90] G. McKenzie, "Spatiotemporal comparative analysis of scooter-share and bike-share usage patterns in Washington, D.C.", *Journal of Transport Geography*, Jg. 78, S. 19–28, 2019, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.05.007.
- [91] Y. Shen, X. Zhang und J. Zhao, "Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore", *International Journal of Sustainable Transportation*, Jg. 12, Nr. 9, S. 686–700, 2018, DOI: 10.1080/15568318.2018.1429696.
- [92] B. Nansubuga und C. Kowalkowski, "Carsharing: a systematic literature review and research agenda", *JOSM*, Jg. 32, Nr. 6, S. 55–91, 2021, DOI: 10.1108/JOSM-10-2020-0344.
- [93] F. Bardhi und G. M. Eckhardt, "Access-Based Consumption: The Case of Car Sharing: Table 1", *J Consum Res*, Jg. 39, Nr. 4, S. 881–898, 2012, DOI: 10.1086/666376.
- [94] M. Kagerbauer et al., „Wirkungen neuer Mobilitätsformen auf das Verkehrsverhalten“. Verfügbar unter: [https://fops.de/wp-content/uploads/2022/11/70-968-Schlussbericht\\_Wirkungen\\_neuer\\_Mobilitaetsformen\\_inkl\\_Steckbriefe.pdf#page=35.33](https://fops.de/wp-content/uploads/2022/11/70-968-Schlussbericht_Wirkungen_neuer_Mobilitaetsformen_inkl_Steckbriefe.pdf#page=35.33)

- [95] K. Dowling, P. Manchanda und M. Spann, "The existence and persistence of the pay-per-use bias in car sharing services", *International Journal of Research in Marketing*, Jg. 38, Nr. 2, S. 329–342, 2021, DOI: 10.1016/j.ijresmar.2020.09.008.
- [96] M. Balac, F. Ciari und K. W. Axhausen, "Modeling the impact of parking price policy on free-floating carsharing: Case study for Zurich, Switzerland", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Jg. 77, S. 207–225, 2017, DOI: 10.1016/j.trc.2017.01.022.
- [97] Statistisches Bundesamt, Pkw-Dichte im Jahr 2022 erneut auf Rekordhoch. Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/09/PD23\\_N048\\_46.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/09/PD23_N048_46.html) (Zugriff am: 22. April 2024).
- [98] P. Plötz et al., "Greenhouse gas emission budgets and policies for zero-Carbon road transport in Europe", *Climate Policy*, Jg. 23, Nr. 3, S. 343–354, 2023, DOI: 10.1080/14693062.2023.2185585.
- [99] J. H. Lee, D. Chakraborty, S. J. Hardman und G. Tal, "Exploring electric vehicle charging patterns: Mixed usage of charging infrastructure", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Jg. 79, S. 102249, 2020, DOI: 10.1016/j.trd.2020.102249.
- [100] H. Meyer, „Wallbox: Kosten für die Installation einer Ladestation“, ADAC, 30. März 2023, 2023. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/wallbox-kosten/#wallbox-preise-fuer-die-installation>. Zugriff am: 22. April 2024.
- [101] M. Castillo-Cagigal et al., "PV self-consumption optimization with storage and Active DSM for the residential sector", *Solar Energy*, Jg. 85, Nr. 9, S. 2338–2348, 2011, DOI: 10.1016/j.solener.2011.06.028.
- [102] S. Limmer, "Dynamic Pricing for Electric Vehicle Charging – A Literature Review", *Energies*, Jg. 12, Nr. 18, S. 3574, 2019, DOI: 10.3390/en12183574.
- [103] A. Ostermann, M. Mueller und S. Faller, "Bidirectional Charging Management – Developing a measurement concept for pilot operation in Germany" in NEIS 2020; Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems.
- [104] Bundesnetzagentur, Archivierte EEG-Vergütungssätze. Verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG\\_Foerderung/Archiv\\_VergSaetze/start.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG_Foerderung/Archiv_VergSaetze/start.html).
- [105] Strom-Report, Gewerbestrompreis: Günstiger Strompreis für Gewerbe. Verfügbar unter: <https://strom-report.com/strompreis-gewerbe/> (Zugriff am: 22. April 2024).
- [106] The Mobility House, ChargePilot Lade- und Energiemanagement. Verfügbar unter: [https://www.mobilityhouse.com/de\\_de/lade-und-energiemanagement-paket-core.html](https://www.mobilityhouse.com/de_de/lade-und-energiemanagement-paket-core.html).