

Schlussbericht

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff

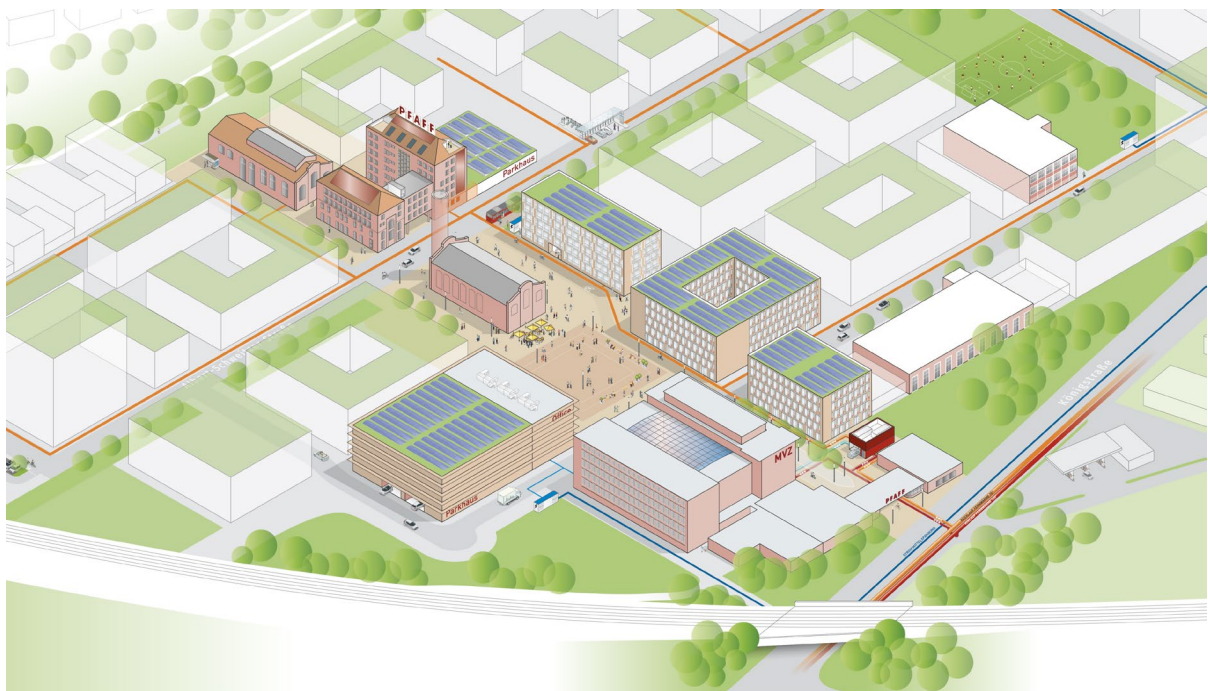
Teilvorhaben

IfaS Lebenszyklusbetrachtung

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern - Integrierte Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere“

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „IfaS Lebenszyklusbetrachtung“



Schlussbericht

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff

Teilvorhaben

IfaS Lebenszyklusbetrachtung

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern - Integrierte Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere“

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „IfaS Lebenszyklusbetrachtung“

Förderndes Ministerium:	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Projektträger:	Forschungszentrum Jülich GmbH
Förderkennzeichen:	03SBE112H
Projektlaufzeit:	01.10.2017 – 31.12.2024
Autoren:	Thomas Anton, Tim Buchhorn, Johannes Dietz, Nina Fetzner, Jens Frank, Patrick Huwig, Bernd Möller, Michael Müller, Manuel Schaubt, Sara Schierz
Ausführende Stelle:	Hochschule Trier - Trier University of Applied Sciences - Umwelt-Campus Birkenfeld - Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Veröffentlicht:	Juli 2025
Die Verantwortung der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.	

Das Verbundprojekt EnStadt:Pfaff wurde von 8 Partnern durchgeführt und als Leuchtturmprojekt gemeinsam gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Weitere Informationen zu EnStadt:Pfaff: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

Inhaltsverzeichnis

I.	KURZDARSTELLUNG DES GESAMTVORHABENS „ENSTADT:PF AFF“	5
I.1	ZUSAMMENFASSUNG	5
I.2	MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	6
I.2.1	<i>Herausforderungen bei der Entwicklung klimaneutraler Quartiere</i>	6
I.2.2	<i>Leuchtturmvorhaben EnStadt:Pfaff</i>	8
I.2.3	<i>Projektkonsortium</i>	8
I.3	ENTWICKLUNG PFAFF-QUARTIER	10
I.4	STRUKTUR DES VORHABENS ENSTADT:PF AFF	16
I.5	ERGEBNISSE DES VORHABENS ENSTADT:PF AFF	19
I.6	ERKENNTNISSE AUS DEM VORHABEN ENSTADT:PF AFF	24
I.6.1	<i>Erkenntnisse zur Bauleitplanung</i>	24
I.6.2	<i>Erkenntnisse zur Planung und Umsetzung des Quartiers-Energiekonzeptes</i>	25
I.6.3	<i>Erkenntnisse zur Planung sowie zur Sanierung und zum Neubau von Gebäuden</i>	28
I.6.4	<i>Erkenntnisse zur Gestaltung einer nachhaltigen Mobilitätslösung im Quartier</i>	30
I.6.5	<i>Erkenntnisse zur Digitalisierung</i>	31
I.6.6	<i>Erkenntnisse zu Prozessen der Entwicklung nachhaltiger Quartiere</i>	32
II.	EINGEHENDE DARSTELLUNG DES TEILVORHABENS IFAS „LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG“	36
II.1	ERGEBNISSE DES FORSCHUNGSPROJEKTES	36
II.1.1	<i>Projektkoordination und -kommunikation</i>	37
II.1.2	<i>AP 1.1.2 Quartiersenergiekonzept</i>	40
II.1.3	<i>AP 1.1.3 Mobilitätskonzept 2029</i>	73
II.1.4	<i>AP 1.2.2 Digitaler regionaler Wertschöpfungsrechner</i>	85
II.1.5	<i>AP 2.1.1 Maximierung der solar genutzten Gebäude- und öffentlichen Flächen</i>	122
II.1.6	<i>AP 2.2.3 Sanierung denkmalgeschützter Gebäude</i>	137
II.1.7	<i>AP 2.2.5 Lebenszyklusbetrachtungen, Materialdatenbank</i>	152

II.1.8	<i>AP 2.3.2 Innovative Mobilitätsangebote im Quartier</i>	185
II.1.9	<i>AP 2.4.2 Aktives Quartier</i>	196
II.1.10	<i>Zuarbeit bei anderen Partnern und Arbeitspaketen</i>	210
II.2	POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES.....	236
II.3	NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT	237
II.4	NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DES ERGEBNISSES IM SINNE DES FORTGESCHRIEBENEN VERWERTUNGSPLANS	239
II.4.1	<i>Wirtschaftliche Erfolgsaussichten</i>	239
II.4.2	<i>Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten</i>	240
II.4.3	<i>Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit</i>	242
II.5	FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS BEI ANDEREN STELLEN.....	244
II.6	ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DES ERGEBNISSES	244
III.	ERFOLGSKONTROLLBERICHT	247
III.1	BEITRAG DES ERGEBNISSES ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN	247
III.2	WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHES ERGEBNIS DES VORHABENS.....	247
III.3	FORTSCHREIBUNG DES VERWERTUNGSPLANS	247
III.4	ARBEITEN, DIE ZU KEINER LÖSUNG GEFÜHRT HABEN	247
III.5	PRÄSENTATIONSMÖGLICHKEITEN FÜR MÖGLICHE NUTZER	248
III.6	EINHALTUNG DER AUSGABEN- UND ZEITPLANUNG	248
IV.	TABELLENVERZEICHNIS	249
V.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	251
VI.	LITERATURVERZEICHNIS	255
VI.1	MONOGRAPHIEN	255
VI.2	ONLINE-QUELLEN	256

I. Kurzdarstellung des Gesamtvorhabens „EnStadt:Pfaff“

I.1 Zusammenfassung

Das Vorhaben EnStadt:Pfaff hat von Oktober 2017 bis Dezember 2024 in einem integrierten Ansatz technische Fragestellungen bei der Entwicklung klimaneutraler Quartiere in den Sektoren Energie, Mobilität und Digitalisierung untersucht und Lösungsansätze entwickelt, demonstriert und optimiert. Zusätzlich wurden ökonomische und soziale Fragestellungen bearbeitet, die eine wichtige Rolle bei der erfolgreichen Umsetzung von klimaneutralen Quartieren spielen. Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Vorhaben sollen einen Beitrag dazu leisten, die Entwicklung klimaneutraler Quartiere zu erleichtern und zu beschleunigen.

EnStadt:Pfaff war als Reallabor konzipiert. Hierzu hat das Projektkonsortium die Entwicklung des in Kaiserslautern gelegenen Pfaff-Quartiers zu einem klimaneutralen Quartier aktiv begleitet und mit den lokalen Akteuren Lösungsansätze für die relevanten Fragestellungen entwickelt. Das 19 Hektar große ehemalige Fabrikgelände ist zentrumsnah gelegen und soll zum Mischgebiet mit Wohnungen, Dienstleistungen und Gewerbe werden (siehe Kap. 3). Die erste Phase des Vorhabens wurde parallel zur Erstellung des Bebauungsplans durchgeführt und diesen mitgestaltet. In der zweiten Phase wurden mehrere Bestandsgebäude saniert und ein Parkhaus mit Bürokopfbau erstellt, in denen im Rahmen des Vorhabens innovative Komponenten demonstriert und erprobt wurden. Weiter wurde im Rahmen des Vorhabens eine Energiezentrale gebaut, die neben einer Heizzentrale auch ein E-Mobil- und Batterielabor umfasst und als Demonstrator für eine innovative PV-Fassade dient. (siehe Kap. 4)

Die Ergebnisse von EnStadt:Pfaff sollen dazu beitragen, die Entwicklung klimaneutraler Quartiere zu erleichtern, weshalb mehrere Online-Berechnungswerkzeuge und Leitfäden erarbeitet wurden. Für die künftigen Bewohner:innen und Nutzer:innen des Quartiers wurden eine digitale Plattform und mehrere digitale Dienste entwickelt. Es wurden Untersuchungen zu künftigen Anforderungen an nachhaltige Quartiere durchgeführt und daraus Quartierstypologien abgeleitet. Um den Transfer der Ergebnisse zu ermöglichen, wurde ein Reallabor-Zentrum mit einer Ausstellung eingerichtet und verschiedene Bildungsformate mit Kindern durchgeführt. Die sozialwissenschaftliche Begleitung hat die Prozesse der Quartiersentwicklung untersucht und Erfolgsfaktoren ermittelt (siehe Kap. 5).

EnStadt:Pfaff wurde von einem Konsortium aus 8 Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft unter der Leitung der Stadt Kaiserslautern bearbeitet und im Energieforschungsprogramm im Rahmen der Förderinitiative »Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt« gemeinsam vom Bundesministerium für

Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als eines von sechs bundesdeutschen Leuchtturmprojekten gefördert (siehe Kap. 2).

Durch die Begleitung des Pfaff-Quartiers in der Konzeptionsphase konnten umfangreiche Erkenntnisse gewonnen werden, wie klimaneutrale Quartiere erfolgreich entwickelt werden können (siehe Kap. 6). Dabei wurde festgestellt, dass dies bislang kein selbstverständlicher Prozess ist. Die Bauleitplanung muss weiterentwickelt werden und Klimaschutz sowie Klimaanpassung müssen einen höheren Stellenwert erhalten. Dies sollte sich auch in der Organisation der Prozesse und den Verantwortlichkeiten niederschlagen. Innovative Technologien sind für die Umsetzung erforderlich, ein Weiterentwicklungsbedarf besteht für diese insbesondere in der Integration in effiziente Gesamtsysteme, der entsprechenden Planung und ihrem intelligenten Betrieb. Weiter ist eine kooperative und innovationsfreundliche Arbeits- und Planungskultur der Beteiligten Voraussetzung für eine erfolgreiche Quartiersentwicklung.

Der Schlussbericht zum Vorhaben besteht aus dem vorliegenden Bericht zum Gesamtvorhaben, der die Motivation und das Konzept sowie die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse des Vorhabens umfasst. Eine vertiefte Darstellung der bearbeiteten Themen und Fragestellungen erfolgt in den Schlussberichten der Teilvorhaben der einzelnen Projektpartner. Weitere Ergebnisse und Materialien, die im Rahmen des Vorhabens erarbeitet wurden, sind auf der Projektwebseite <https://pfaffquartier-klimaneutral.de> bereitgestellt.

I.2 Motivation und Zielsetzung

I.2.1 Herausforderungen bei der Entwicklung klimaneutraler Quartiere

Die Neuentwicklung oder Sanierung von Quartieren sollte heute schon die Klimaneutralität zum Ziel haben, um einen Beitrag zur nationalen Zielsetzung der Klimaneutralität im Jahr 2045 zu leisten. In der Praxis stellt die gezielte Entwicklung klimaneutraler Quartiere jedoch noch die Ausnahme dar. Als mögliche Gründe können u.a. folgende Herausforderungen identifiziert werden.

1. **Klimaneutrale Quartiere erfordern den Einsatz innovativer Technologien, die zu effizienten Gesamtsystemen zusammengefügt werden müssen.** Die notwendigen Technologien hierfür stehen grundsätzlich zur Verfügung, die Herausforderung besteht in der optimalen Kombination der Technologien zu einem effizienten und bezahlbaren Quartiersenergiesystem, das einen hohen Anteil lokaler Energieerzeugung aufweist. Weiter bedarf es moderner und intelligenter Steuerungen und Geschäftsmodellen für das Quartiersenergiesystem, damit dieses effizient und versorgungssicher betrieben werden kann und sich systemdienlich für das vorgelagerte Energiesystem verhält.

2. **Klimaneutrale Quartiere erfordern eine Weiterentwicklung der Planungspraxis.** Der Wandel vom traditionellen Quartiersenergiesystem, das bislang vornehmlich auf dem Import von fossilen Energien bzw. fossil erzeugten Energieträgern in die Quartiere basierte, hin zu erneuerbaren Energien mit einem hohen Anteil lokaler Erzeugung, erfordert Veränderungen bei den Flächennutzungen im Quartier. Diese werden in der städtebaulichen Planung festgesetzt, weshalb die Energieplanung künftig frühzeitig erfolgen und die Bauleitplanung die ermittelten Flächenbedarfe angemessen berücksichtigen muss, was bislang oftmals nicht der Fall ist.
3. **Die Klimaneutralität steht in Wechselwirkung mit anderen Zielen nachhaltiger und zukunftsorientierter Quartiere.** Dies erfordert eine interdisziplinäre und kooperative Quartiersentwicklung und eine fundierte Abwägung der Interessen bei Zielkonflikten. Neben der Klimaneutralität können zukunftsorientierte Quartiere beispielsweise eine umweltfreundliche Mobilität, eine ausgewogene Nutzung des öffentlichen Raums, die Klimawandelanpassung und Resilienz oder den gesellschaftlichen Zusammenhalt als Ziel oder Schwerpunkt verfolgen (vgl. Wéckel (2024)). Gute Quartierslösungen nutzen Synergien zwischen den Lösungen für die einzelnen Sektoren, diese müssen jedoch aktiv gesucht werden. Die Klimaneutralität ist als Ziel nicht verhandelbar, doch bei der Gestaltung des klimaneutralen Energiesystems können die Interessen anderer Sektoren berücksichtigt werden, wenn diese bekannt sind. Dies erfordert eine kooperative Planungspraxis und sektorübergreifende Abstimmung, die bislang noch selten erfolgt.

Die Entwicklung von Lösungsansätzen für klimaneutrale Quartiere geht somit weit über die Entwicklung von Innovationen in Einzeltechnologien hinaus und erfordert systemische Lösungen, interdisziplinäre Planungsweisen und kooperative Konzeptentwicklungen, die andere Sektoren und gesellschaftliche Interessen berücksichtigen. Klimaneutrale Quartiere und ihre Fragestellungen sind deshalb vielfach Gegenstand der Forschung (siehe z.B. Deutsche Energie-Agentur (2021)).

Vor dem Hintergrund der genannten und weiteren Herausforderungen ist es wichtig zu erforschen, wie die Entwicklung von klimaneutralen Quartieren erfolgreich in der Praxis umgesetzt werden kann. Aufgrund der Vielfalt der an der Quartiersentwicklung beteiligten Akteure und der Komplexität der systemischen Lösungen ist die Erforschung, Entwicklung und Erprobung von Lösungsansätzen für klimaneutrale Quartiere in der Theorie und in den Laboren von Universitäten und Forschungsinstituten allein nicht ausreichend. Zusätzlich bedarf es der Untersuchung und Erprobung von Lösungsansätzen in konkreten Quartiersprojekten, weshalb die Durchführung von Demonstrations- und Reallabor-Projekten zu klimaneutralen Quartieren erforderlich ist.

I.2.2 Leuchtturmvorhaben EnStadt:Pfaff

Um die Herausforderungen bei der Entwicklung klimaneutraler Quartiere zu untersuchen und Lösungsansätze zu deren Überwindung zu erarbeiten, wurde das **Vorhaben EnStadt:Pfaff** durchgeführt, **dass die Entwicklung des Pfaff-Quartiers in Kaiserslautern zu einem klimaneutralen Quartier begleitete**. Aufgrund der Komplexität nachhaltiger Quartiersentwicklungen wurde für das Vorhaben ein Reallabor-Ansatz gewählt, bei dem die Projektpartner gemeinsam mit den an der Quartiersentwicklung beteiligten Akteuren Konzepte zur Erreichung der Klimaneutralität entwickelt, innovative Technologien erarbeitet, demonstriert und optimiert sowie Randbedingungen für Quartiersentwicklungen und Prozesse zur Quartiersentwicklung untersucht haben.

Das Vorhaben EnStadt:Pfaff wurde im Energieforschungsprogramm im Rahmen der gemeinsamen Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ als eines von sechs Leuchtturmvorhaben gemeinsam vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Das Vorhaben begann am 1. Oktober 2017 und endete für die meisten Partner nach mehrmaliger Verlängerung aufgrund von Verzögerungen in der Quartiersentwicklung am 31. Dezember 2024. Um alle Baumaßnahmen des Vorhabens abschließen zu können, endet das Vorhaben für die Stadt Kaiserslautern am 30. November 2025. Das dreijährige Anschlussvorhaben EnStadtPfaff 2, das am 1. Januar 2025 startete, hat neben dem Monitoring des Betriebs die Optimierung einzelner Technologien und vor allem den Transfer der Ergebnisse zum Inhalt.

I.2.3 Projektkonsortium

Das Vorhaben EnStadt:Pfaff wurde von einem Konsortium von acht Partnern unter der Gesamtleitung der Stadt Kaiserslautern und der Beteiligung von Wirtschaft und Wissenschaft umgesetzt. Die wissenschaftliche Projektleitung lag beim Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Folgende Projektpartner waren an der Umsetzung des Vorhabens beteiligt.

Die **Stadt Kaiserslautern** hatte mit seinem Umweltreferat die Gesamtprojektleitung des Verbundvorhabens inne und war insbesondere für die Koordination der Partner und die Öffentlichkeitsarbeit zuständig. Sie vernetzte das Projekt mit dem Referat Stadtentwicklung und sonstigen Behörden und Beteiligten in der Stadt, unterstützte die Entwicklung des Energie- und Mobilitätskonzeptes und die Integration der Ergebnisse in die Bauleitplanung. Weiter koordinierte sie nach dem Projektausstieg der Stadtwerke die Entwicklung der Wärmeversorgung im Quartier, koordinierte die Umsetzung des Reallabor-Zentrums und war Bauherrin der Energiezentrale im Quartier. Das klimaneutrale Pfaff-Quartier ist ein wichtiger Baustein des Masterplans für ein klimaneutrales Kaiserslautern und hat Modellcharakter für weitere Quartiersentwicklungen in der Stadt.

Die **Pfaff-Areal-Entwicklungsgesellschaft mbH Kaiserslautern (PEG)** ist ein Tochterunternehmen der Stadt mit dem Auftrag der Baureifmachung und Entwicklung des Pfaff-Geländes. Im Vorhaben war die PEG insbesondere für die Entwicklung des neuen Kesselhauses zuständig, das als Ort des Reallabor-Zentrums vorgesehen war, sowie für die Planung und Umsetzung der smarten Lichtmasten im Quartier.

Die **Palatina Wohnbau GmbH** konzipiert und realisiert Immobilienprojekte in den Kernbereichen Projektentwicklung, Bauträgertätigkeit und der Immobilienwirtschaft. Im Projekt EnStadt:Pfaff vertritt die Palatina die Investorengemeinschaften des alten und des neuen Verwaltungsgebäudes, die als Demonstratoren für innovative Technologien im Vorhaben EnStadt:Pfaff genutzt wurden. Hierzu hat sie Energiekonzepte für die Gebäude entwickelt und war für die Integration der innovativen Technologien als Demonstratoren in die Gebäude verantwortlich.

Die Fraunhofer-Gesellschaft war mit zwei Instituten am Vorhaben beteiligt. Das **Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)** in Freiburg hatte die wissenschaftliche Leitung inne. Acht Forschungsgruppen des Instituts waren an der Erforschung, Entwicklung, Demonstration und Optimierung von innovativen Technologien mit dem Schwerpunkt der Energieversorgung und der Ladung von E-Mobilen beteiligt. Weiter wurden Planungsprozesse sozialwissenschaftlich begleitet. Das **Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE)** erarbeitete das IKT-Konzept und entwickelte im Vorhaben eine digitale Quartiersplattform, auf der unterschiedliche digitale Dienste in den Bereichen Energie, Mobilität und auch Smart Home für die künftigen Bewohner:innen und Nutzer:innen im Quartier bereitgestellt werden können.

Das **Institut für angewandtes Stoffstrommanagement IfaS** ist ein In-Institut der Hochschule Trier mit Sitz am Umwelt-Campus Birkenfeld. Das IfaS analysiert systemisch in nationalen und internationalen Projekten Stoff- und Energieströme auf regionaler, kommunaler und betrieblicher Ebene. Im Rahmen des Vorhabens entwickelte es u.a. das Mobilitätskonzept und führte Untersuchungen für das Energiekonzept durch. Es hat die Möglichkeiten zur umfassenden Nutzung der Solarpotenziale im Quartier evaluiert, Konzepte für die Sanierung denkmalgeschützter Gebäude entwickelt, Werkzeuge zur Berechnung der Grauen Energie sowie der regionalen Wertschöpfung erarbeitet und Beteiligungsformate für Kinder und Jugendliche vor Ort durchgeführt.

Die **Hochschule Kaiserslautern** war mit ihrem Institut für nachhaltiges Bauen und Gestalten INBG, das seit dem Jahr 2010 zum Thema Nachhaltigkeit im Bereich der Architektur auf Gebäude und Stadtebene forscht, am Vorhaben beteiligt. Dabei untersuchte es den Einfluss neuer Technologien auf die Gebäudetypologie und die Quartiere der Zukunft. Daraus wurden Empfehlungen für die Gestaltung des Quartiers abgeleitet. Weiter entwickelte sie im Rahmen des Vorhabens das Design für das Reallabor-Zentrum und mit einer Ausstellung zu klimaneutralen Quartieren, die die Augmented Reality-Technik nutzt.

Die **Universität Bayreuth** hat aufgrund des Wechsels des Teilprojektleiters im Laufe des Vorhabens die Arbeiten der zuvor beteiligten Fresenius Hochschule übernommen. Im Vorhaben hat sie evaluiert, inwieweit die Blockchain neue Freiheitsgrade für Prosumer schaffen und damit Peer-to-Peer Stromhandel, Mieterstrom und eine neue Art der Marktkommunikation ermöglichen kann. Weiter wurden Konzepte für die Nutzung der Blockchain Technologie in einem agentenbasierten Quartiers-Energiemanagementsystem und bei der Integration von Elektrofahrzeugen mit bidirektionaler Ladefunktion in das Energie- und Lastmanagement des Quartiers untersucht und entwickelt.

I.3 Entwicklung Pfaff-Quartier

Das Pfaff-Quartier ist eine Industriebrache in der Nähe des Zentrums von Kaiserslautern. Das Traditionsunternehmen Pfaff produzierte auf dem Gelände annähernd 150 Jahre lang Nähmaschinen. Nachdem sich das Unternehmen in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts zu einem Weltkonzern entwickelt hatte, geriet es gegen Ende des Jahrhunderts zunehmend in wirtschaftliche Schwierigkeiten und wechselte mehrfach den Besitzer. Im Jahr 2009 wurde die Produktion am Standort eingestellt. Abbildung I-1 zeigt das Gelände im September 2020.

Im Jahr 2014 erwarb die Stadt Kaiserslautern 17 Hektar der Gesamtfläche von rund 19 Hektar, um das Quartier zu entwickeln. Der größte Teil des Geländes war mit eingeschossigen Produktionsgebäuden bebaut, die abgerissen wurden bzw. werden, um Platz für eine Neubebauung zu machen. Einige Funktionsgebäude wie das alte und das neue Verwaltungsgebäude, die Pforte und das alte Kesselhaus wurden saniert und sind seit dem Jahr 2024 wieder in Nutzung. Auch der ehemalige Speisesaal, das neue Kesselhaus sowie das sogenannte Hansa-Gebäude sollen erhalten bleiben und saniert werden (siehe Abbildung I-2). Die Baureifmachung des Geländes erfordert eine Grundwasser- und Bodensanierung, um Altlasten aus der Industrieproduktion zu entfernen. Weiter muss das Gelände auf Kampfmittelreste untersucht werden, was die Entwicklung verzögerte.



Abbildung I-1: Pfaff-Gelände mit neuem Kesselhaus (Mitte), altem Verwaltungsgebäude (dahinter) und den einstöckigen Produktionsgebäuden (rechts), vorne ist Bodenaushub zur Bodensanierung zu sehen (September 2020) – © EnStadt:Pfaff / ISE

Ein erster Beschluss zur Aufstellung eines Bebauungsplans für das ehemalige Pfaff-Fabrikgelände erfolgte bereits im Jahr 2007. Allerdings konnte lange Zeit keine Lösung für die Sanierung der Altlasten und die Finanzierung der Quartiersentwicklung gefunden werden. Nachdem die Stadt Kaiserslautern im Jahr 2014 Eigentümerin des Geländes wurde und das Land Rheinland-Pfalz Fördermittel für die Altlastensanierung und die städtebauliche Entwicklung des Geländes bereitstellte, wurden die Stadtplanungsbüros ASTOC und MESS mit der Entwicklung eines städtebaulichen Rahmenplans beauftragt. Dieser wurde vom Stadtrat im Februar 2017 verabschiedet und im Jahr 2018 fortgeschrieben (siehe Abbildung I-3).



Abbildung I-2: Bestandsgebäude im Pfaff-Quartier – © ASTOC MESS, Rahmenplan 2017¹

OPTION 3 BLICK VON SÜDEN



ASTOC
ARCHITECTS AND PLANNERS

MESS
CONSTRUCTION MANAGEMENT

Abbildung I-3: Blick auf das Pfaff-Quartier – © ASTOC MESS, Rahmenplan 2. Fortschreibung (Juli 2018)

¹ Vgl. Astoc Mess (2017).

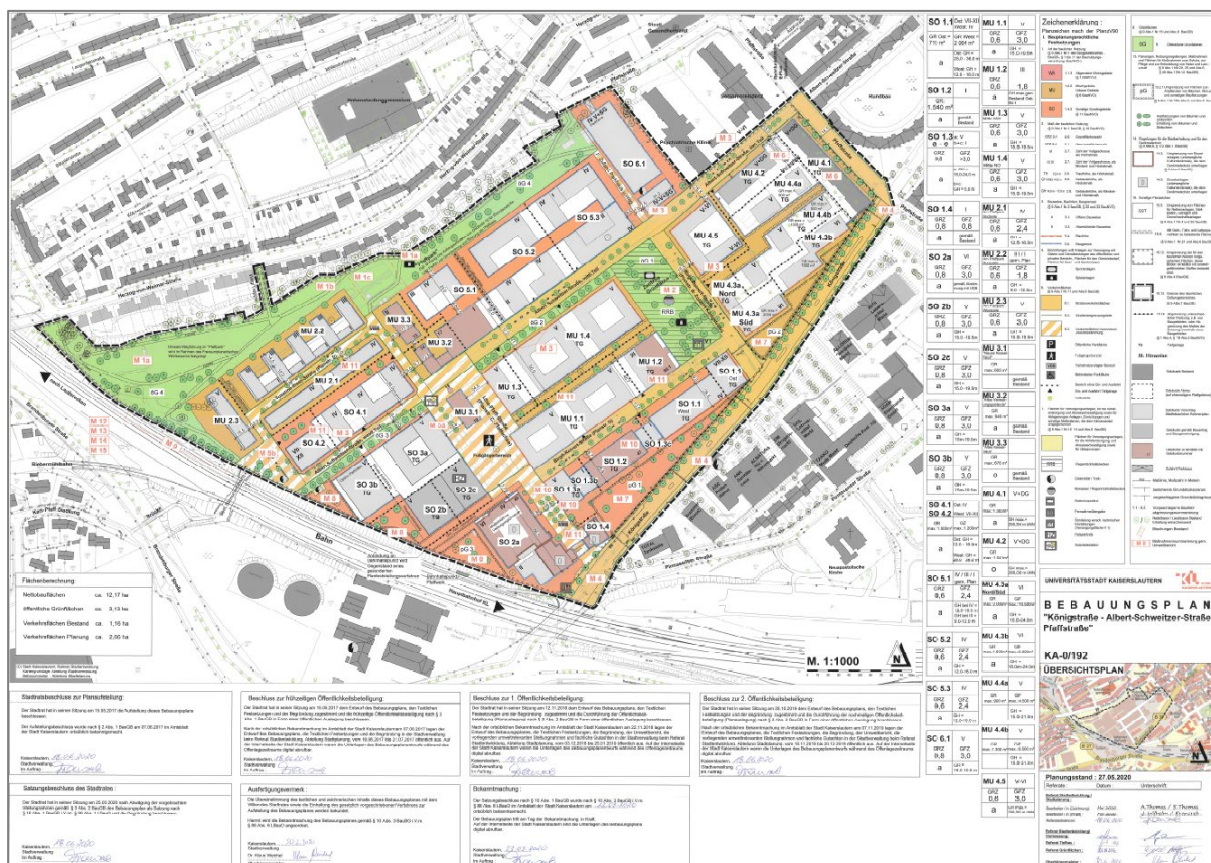


Abbildung I-4: Rechtskräftiger Bebauungsplan für das Pfaff-Gelände (September 2020) – © Stadt Kaiserslautern²

Auf der Basis des Rahmenplans wurde vom Stadtrat im Mai 2017 erneut die Aufstellung eines Bebauungsplans für das Pfaff-Gelände beschlossen. Der Planentwurf wurde im Dezember 2018 und ein zweites Mal im November 2019 offengelegt. Im Mai 2020 wurde der Bebauungsplan vom Stadtrat verabschiedet, der im September 2020 in Kraft trat (siehe Abbildung I-4).³ Eine Chronologie des Bauleitplanungsprozesses ist auf der Webseite von EnStadt:Pfaff dargestellt.⁴

Der Bebauungsplan weist eine Gesamtfläche des Quartiers von 19,12 ha und eine Nettobaupläche von 12,17 ha aus (siehe nachstehende Tabelle).⁵

² Vgl. Stadt Kaiserslautern (2020).

³ Vgl. ebd.

⁴ Vgl. EnStadt:Pfaff (2025).

⁵ Vgl. Stadt Kaiserslautern (2020).

Tabelle I-1: Flächenberechnung Pfaff-Quartier – © Bebauungsplan (September 2020), Stadt Kaiserslautern⁶

Nettobaufflächen	ca. 12,17 ha	63,7 %
Öffentlicher Freiraum	ca. 3,13 ha	16,4 %
Verkehrsflächen Bestand	ca. 1,16 ha	6,0 %
Verkehrsflächen Planung	ca. 2,66 ha	13,9 %
Gesamtfläche	ca. 19,12 ha	100,0 %

Die Gebäude weisen laut Rahmenplan (2. Fortschreibung) eine Bruttogeschossfläche (BGF) von 218.300 m² auf (siehe nachstehende Tabelle) und die Parkhäuser zusätzlich nochmals 30.300 m² ⁷.

Tabelle I-2: Flächennutzung u. Eckdaten Pfaff-Quartier – © Rahmenplan (2. Fortschreibung Sept. 2018), ASTOC MESS⁸

<i>Angestrebte Flächennutzung</i>		
Wohnen	ca. 30 %	ca. 65.500 m ²
Büro/Dienstleistung/Forschung/Entwicklung/Kultur	ca. 60 %	ca. 131.000 m ²
Gewerbe	ca. 10 %	ca. 21.800 m ²
Bruttogeschossfläche gesamt (ohne Parkhäuser)	100 %	218.300 m ²
<i>Eckdaten</i>		
Anzahl Einwohner:innen	ca. 1.400	
Anzahl Arbeitsplätze	ca. 3.200	

Im Oktober 2017 und damit in der Frühphase der Erarbeitung des Bebauungsplans, startete das Forschungsprojekt EnStadt:Pfaff. Im ersten Jahr wurden im Vorhaben die Energie-, Mobilitäts- und IKT-Konzepte erarbeitet. Auf dieser Basis konnte im Rahmen der ersten Offenlegung des Bebauungsplans Änderungsvorschläge eingereicht werden, die dazu beitragen sollten, die Klimaneutralität zu erreichen. Diese umfassten vor allem den Vorschlag, eine Pflicht zur Installation von Solaranlagen in Kombination mit Gründächern aufzunehmen. Weiter wurde angeregt, die Installation von farblich angepassten Solarmodulen in Gebäudefassaden zuzulassen, die im ersten Entwurf aus gestalterischen Gründen

⁶ Vgl. ebd.

⁷ Vgl. Astoc Mess (2018).

⁸ Vgl. ebd.

ausgeschlossen waren. Beide Anregungen wurden in den Bebauungsplan übernommen. Weitere Vorschläge des Konsortiums wurden in Form der Stellplatzsatzung und des Leitbildes Teil des Bebauungsplans.

Parallel zur Erarbeitung des Bebauungsplans wurde im Jahr 2017 mit dem Rückbau der einstöckigen Produktionsgebäude und der Sanierung von Bestandsgebäuden begonnen. Mitte 2024 gingen das alte Verwaltungsgebäude, das nun als Büro- und Wohnhaus genutzt wird, das unter Denkmalschutz stehende neue Verwaltungsgebäude, das nun als Medizinisches Versorgungszentrum (MVZ) dient, und das alte Kesselhaus, das nun ein Architekturbüro beherbergt, in Betrieb. Bereits ein Jahr früher wurde die denkmalgeschützte Pforte als Bürogebäude in Betrieb genommen. Als erster Neubau auf dem Gelände wurde ein Parkhaus in Holzbauweise mit Bürokopfbau neben dem MVZ erstellt, das ebenfalls Mitte 2004 in Betrieb ging. Im zweiten Halbjahr 2024 wurde auch die Sanierung und Erschließung erster Baufelder abgeschlossen, so dass die Vermarktung von weiteren Grundstücksflächen aufgenommen werden konnte. Den Entwicklungsstand des Quartiers im Oktober 2024 zeigt Abbildung I-5.



Abbildung I-5: Luftbild des Pfaff-Quartiers mit dem sanierten alten Verwaltungsgebäude (Mitte) und dem alten Kesselhaus (links) und dahinter liegenden ehemaligen einstöckigen Produktionsgebäuden, die Flächen unten und Mitte rechts wurden saniert und werden für die Vermarktung erschlossen (Oktober 2024) – © Triolog / EnStadt:Pfaff

I.4 Struktur des Vorhabens EnStadt:Pfaff

Das Vorhaben EnStadt:Paff verfolgte einen breiten Ansatz, um die verschiedenen Aspekte einer klimaneutralen Quartiersentwicklung im Reallabor-Konzept zu berücksichtigen. Da das Vorhaben im Rahmen des Energieforschungsprogramms gefördert wurde, lag der Schwerpunkt allerdings auf der Energieversorgung und damit verbundenen technischen Themen wie der Mobilität und der Digitalisierung sowie sozialwissenschaftlichen Fragen, die im Zusammenhang der Nutzung dieser Technologien im Quartier stehen. Weitere Dimensionen der Quartiersentwicklung, wie z.B. die städtebauliche Qualität, die Gestaltung des Freiraums und der blau-grünen Infrastruktur sowie soziale und wirtschaftliche Fragen waren nicht Gegenstand des Vorhabens, sind aber ebenfalls wichtige Aspekte einer nachhaltigen und zukunftsweisenden Quartiersentwicklung.

Aus diesem Ansatz leiteten sich die Bausteine des Forschungsvorhabens ab, von denen die Wichtigsten im Folgenden aufgelistet sind.

- Für das Gesamtquartier wurden in einer ersten Phase Energie-, Mobilitäts- und IKT-Konzepte (Informations- und Kommunikationstechnologie) erarbeitet.
- Die Entwicklung der Bauleitplanung und der Stellplatzsatzung wurde aktiv unterstützt u.a. durch Konzepte für eine Solar Gründachpflicht, für alternative Mobilitätsangebote wie z.B. Mobilitätsstationen, die durch eine Stellplatzabläse finanziert werden sowie durch die Entwicklung eines Leitbildes.
- Im Reallabor-Bereich, der sogenannten Pfaff-Achse zwischen Pforte und Altem Verwaltungsgebäude wurden im Rahmen der Bestandssanierung unterschiedliche innovative Gebäudetechnologien demonstriert, wie z.B. 4-Scheiben verglaste Fenster mit Jalousien im Glaszwischenraum für das denkmalgeschützte MVZ, fensterintegrierte Lüftungen, farbige PV-Fassaden, ein regelbarer Ortsnetztrafo, Smart Home Technologie und kontrollierte und bidirektionale Ladepunkte für E-Fahrzeuge (siehe Abbildung I-6).

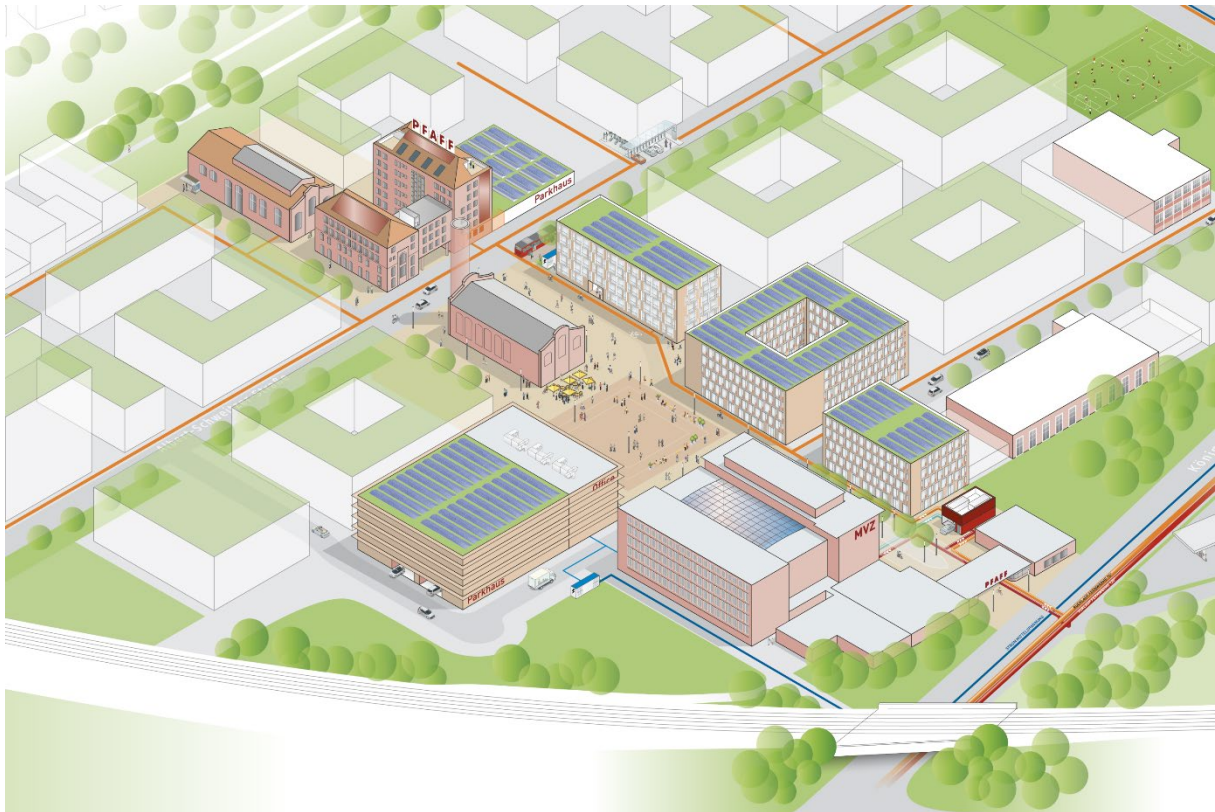


Abbildung I-6: Reallabor EnStadt:Pfaff in der Pfaff-Achse von der Pforte bis zum alten Verwaltungsgebäude – © Triolog / EnStadt:Pfaff

- Für die Wärmeversorgung im Quartier wurde ein Konzept erarbeitet mit Umsetzung eines Niedertemperatur-Wärmenetzes (Vorlauftemperatur 60 – 65 °C), das aus dem Rücklauf der städtischen Fernwärme versorgt wird. Zusätzlich wird die Abwärme einer Kältemaschine eingespeist. Hierfür wurde im Rahmen des Vorhabens eine Energiezentrale errichtet.
- Zur Untersuchung des Beitrags des bidirektionalen Ladens zur Stabilisierung der Quartiersenergieversorgung wurde ein E-Mobil- und Batterielabor in der Energiezentrale eingerichtet.
- Als Beitrag zur effizienten Quartiersinfrastruktur wurden smarte Lichtmasten implementiert.
- Die Organisation und Prozesse der Quartiersentwicklung wurden evaluiert.
- Die künftigen Veränderungen in der Nutzung von Quartieren wurden untersucht und Quartiers-typologien entwickelt.
- Webbasierte Werkzeuge zur Berechnung und Bewertung der Grauen Energie von Gebäudekonstruktionen sowie von den Beiträgen der Bauvorhaben zur regionalen Wertschöpfung wurden entwickelt.

- Eine digitale Plattform zur Bereitstellung von digitalen Dienstleistungen für die künftigen Bewohner:innen und Nutzer:innen des Quartiers wurde entwickelt.
- Ein Reallabor-Zentrum als Anlaufstelle zur Information, Beratung, Weiterbildung und zum Austausch von Akteuren zum Thema klimaneutrale Quartiere wurde konzipiert und umgesetzt. Dieses umfasst eine Ausstellung zu klimaneutralen Quartieren auf Basis von Augmented Reality Technologie, ein Computer-Quartiersspiel und eine Quartierswerkstatt und einen Vortragsraum, die im Rahmen des Monitoring- und Transferprojektes genutzt werden.
- Im Bildungsbereich wurden Kinderklimaschutzkonferenzen und Jugendforen durchgeführt, um die junge Generation an der Entwicklung zu beteiligen.

Die bearbeiteten Themen gegliedert nach den Themenfeldern Energie, Gebäudetechnik, Mobilität, Digitalisierung, Quartiersentwicklung und Transfer sind in der folgenden Übersicht aufgelistet. Eine Erläuterung, welche Inhalte in den einzelnen Themen erarbeitet wurden, finden sich auf der Webseite <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/innovationen> sowie in den Schlussberichten der Projektpartner.

Bearbeitete Themen im Vorhaben EnStadt:Pfaff

Energie

- Quartiersenergiekonzept
- Energiezentrale
- Nahwärmeversorgung
- E-Mobil- und Batterielabor
- Lebensdauer Batterietechnik
- Agentenbasiertes Energiemanagement
- Kundenanlage und Ortsnetztrafo
- Solargründach-Pflicht
- Solarleitfaden
- Energie- und Treibhausbilanz

Gebäudetechnik

- Sanierung Altes Verwaltungsgebäude
- Sanierung Neues Verwaltungsgebäude / MVZ
- Parkhaus in Holzbauweise
- Holzintegralfenster
- Gebäudeintegrierte PV
- Fensterintegrierte Lüftung
- Morphocolor® PV-Fassade
- LifeCycle Analysis (LCA) Software
- Leitfaden Sanierung Denkmalschutz
- Anforderungen an Neubauten

Mobilität

- Mobilitätskonzept und Mobilitätsstationen
- Bidirektionales Laden von E-Fahrzeugen
- Ladeinfrastruktur im MVZ-Parkhaus

Digitales

- IKT-Konzept
- Digitale Services für Quartiere
- Smart Home
- Smarte Lichtmasten

Quartiersentwicklung

- Leitbild Pfaff-Quartier
- Integrale Planung Klimaneutralität
- Projektsteuerung
- Rechner regionale Wertschöpfung
- Quartierstypologien
- Monitoring Klimaneutralität
- Infrastruktur und öffentlicher Raum
- Chronologie Bauleitplanung

Transfer

- Reallabor-Zentrum
- Bildungsformate für Kinder und Jugendliche

I.5 Ergebnisse des Vorhabens EnStadt:Pfaff

Im Vorhaben EnStadt:Pfaff wurde eine Vielzahl von einzelnen Themen und Forschungsfragen bearbeitet, Herausforderungen und Erfolgsfaktoren untersucht und Lösungsansätze entwickelt und demonstriert. Da eine Quartiersentwicklung ein komplexer und interdisziplinärer Prozess mit einer Vielzahl von Akteuren und Interessen ist, wurden dabei verschiedene Sektoren wie Energie, Mobilität und Digitalisierung betrachtet, technische, ökonomische und soziale Dimensionen berücksichtigt sowie Prozesse in der Konzeption, Planung und Umsetzung sowie deren Organisation betrachtet. Dabei wurden für die einzelnen Themen Lösungsansätze entwickelt und gleichzeitig die Vernetzung der Einzelthemen im Quartierssystem berücksichtigt.

Im Folgenden sind wichtige Ergebnisse der erfolgten Arbeiten im Überblick dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der bearbeiteten Themen und deren Ergebnisse ist den Schlussberichten der Partner zu entnehmen und auf der Webseite des Vorhabens dargestellt.

- Mit der Aufnahme der **Solargründachpflicht** in den Bebauungsplan wurde die Voraussetzung dafür geschaffen, dass alle Gebäude Solarenergie verbindlich nutzen und das lokale Solarenergie-Potenzial weitgehend ausgeschöpft wird.
- Durch die Verabschiedung der **Stellplatzsatzung** als Teil des Bebauungsplans wurde ein innovatives Konzept zur Bereitstellung alternativer Mobilitätsangebote ermöglicht, die dazu beitragen, den motorisierten Individualverkehr (MIV) im Quartier zu reduzieren. Die Stellplatzsatzung basiert auf dem Mobilitätskonzept von EnStadt:Pfaff. Mit den Erlösen aus der Stellplatzablöse werden u.a. im Quartier Mobilitätsstationen finanziert (siehe Abbildung I-7).

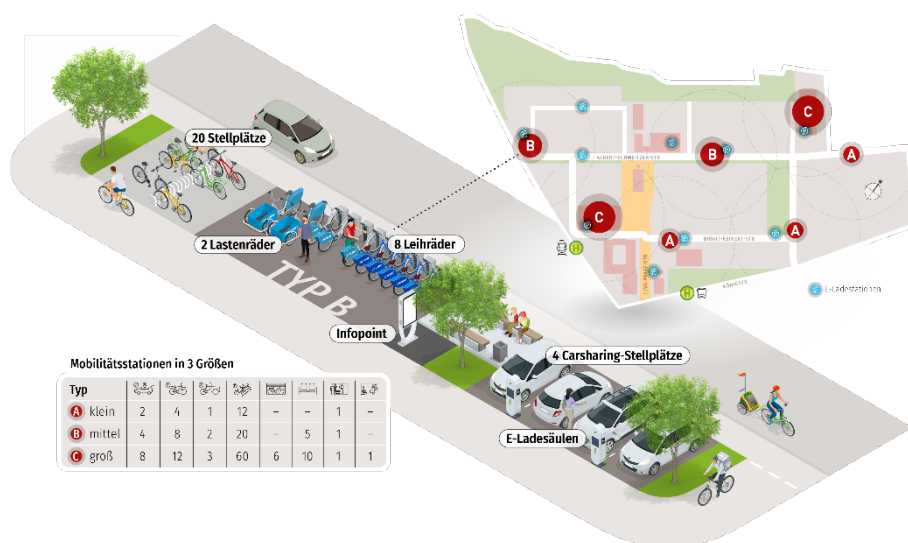


Abbildung I-7: Mögliches Design einer Mobilitätsstation im Pfaff-Quartier – © Triolog / EnStadt:Pfaff

- Durch Entwicklung eines **Leitbildes** und dessen Verabschiedung als Teil des Bebauungsplans wurden die Zielsetzungen des Quartiers konkretisiert und für alle Akteure transparent gemacht.⁹ Für die künftigen Investoren wurde damit eine wichtige Orientierung bei der Umsetzung ihrer Gebäude gegeben.
- Mit der **energetischen Sanierung** des alten Verwaltungsgebäudes auf den KfW Effizienzhausstandard 55 (siehe Abbildung I-8) sowie des denkmalgeschützten neuen Verwaltungsgebäudes auf den KfW-70 Standard wurde gezeigt, wie die Energiebedarfe von Bestandsgebäuden signifikant reduziert werden können und damit auch Bestandsquartiere energieeffizient und klimaneutral werden können.

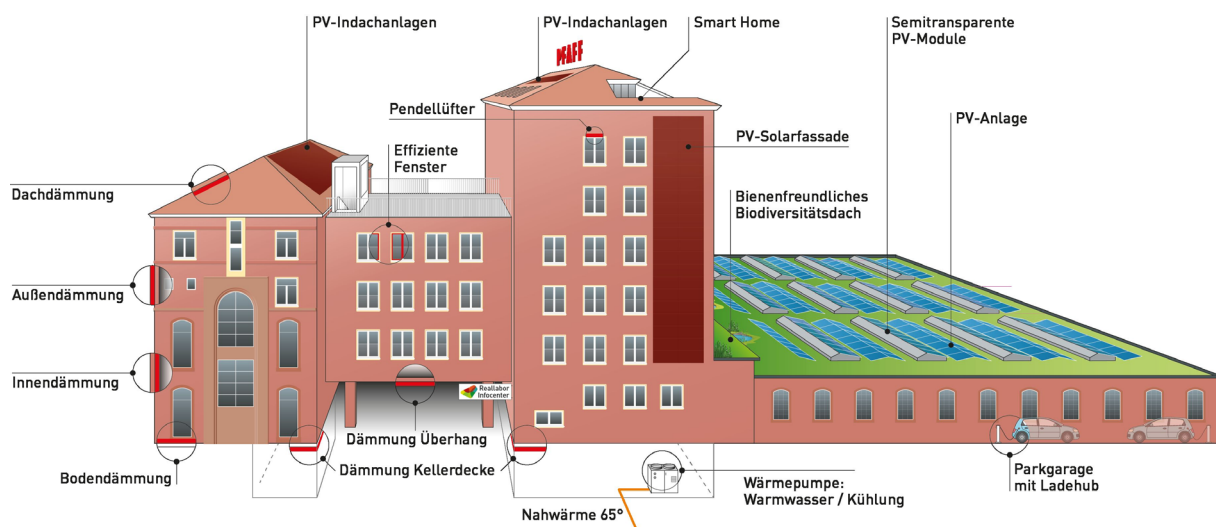


Abbildung I-8: Altes Verwaltungsgebäude mit den im Rahmen von EnStadt:Pfaff installierten Technologien – © Triolog / EnStadt:Pfaff

- Die Erstellung eines **Solarleitfadens** und die Untersuchungen zur Maximierung der **Nutzung der lokalen Solarpotenziale** auch im Freiraum von Quartieren unterstützen die Planenden, die Kommunen und die Investierenden dabei, die Solarenergie als wichtigste erneuerbare Energiequelle im Quartier möglichst umfangreich zu nutzen.
- Durch die **Demonstration von innovativen technischen Komponenten** wie 4-Scheibenverglasung mit Jalousien in den Scheibenzwischenräumen für das denkmalgeschützte MVZ sowie einem regelbaren Ortsnetztrafo zur Umsetzung eines Kundenanlage von MVZ und dem benachbarten Parkhaus (siehe Abbildung I-9), von Fensterrahmen-integrierten Lüftungsgeräten, von Smart Home Lösungen, von farbigen PV-Modulen auf dem Dach und in der Fassade des alten

⁹ Vgl. Stadt Kaiserslautern (2020).

Verwaltungsgebäudes, von einer PV-Fassade mit farbiger Morphocolor-Beschichtung in der Energiezentrale, von E-Ladepunkten zur kontrollierten oder bidirektionaler Ladung etc. wurden Erfahrungen bei der Integration von innovativen Technologien in Gebäude gemacht.

- Durch die Entwicklung eines **agentenbasierten Energiemanagements** auf Basis von Blockchain-Technologie wurde eine Lösung für die Implementierung von neuen Energiemanagement- und Geschäftsmodelllösungen entwickelt. Diese konnte allerdings nicht demonstriert werden, da das regulative Umfeld dies aktuell nicht zulässt (Energieaustausch zwischen Verbrauchern/Erzeugern in unterschiedlichen Gebäuden ist bislang nicht erlaubt).
- Die Entwicklung der **Nahwärmeversorgung** erforderte mehrere Anläufe. Zuerst wurden alle Versorgungsoptionen geprüft mit dem Ergebnis, die Abwärme einer 400 m entfernten Gießerei zu nutzen. Nach einer längeren Planungsphase dieser Versorgungsvariante hatte sich jedoch gezeigt, dass die verfügbaren Wärmemengen geringer waren als erwartet und dadurch die Wärmekosten aufgrund der Fixkosten zu hoch gewesen wären. Somit wurde die Änderung des Konzeptes erforderlich und ein Niedertemperaturwärmenetz umgesetzt, das aus dem Rücklauf der städtischen Fernwärme und der Abwärme eine Kälteanlage gespeist wird. Die Abwärmenutzung der Kälteanlage dient auch zur Erforschung, welche Beiträge dezentraler Wärmeeinspeiser zur Wärmeversorgung im Quartier liefern können. Die Erfahrung zeigt, dass die Wärmeversorgungsoptionen sehr systematisch und gründlich untersucht und die Zielsetzungen der Wärmeversorgung klar definiert werden müssen, um die beste Lösung für ein konkretes Quartier zu entwickeln.

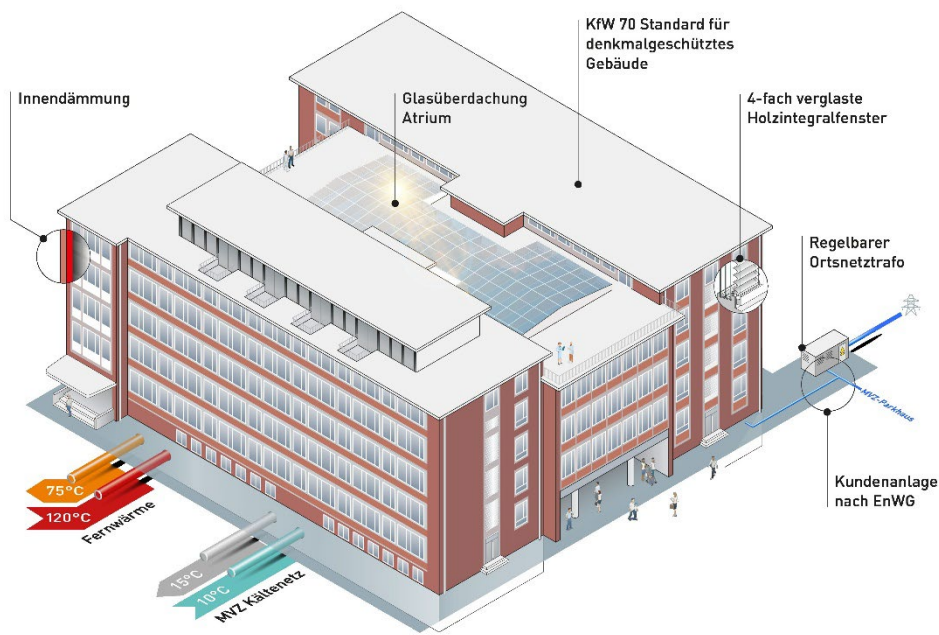


Abbildung I-9: Neues Verwaltungsgebäude, das nun als Medizinisches Versorgungszentrum (MVZ) genutzt wird mit den demonstrierten Technologien – © Triolog / EnStadt:Pfaff

- Nachdem das Gebäude des neuen Kesselhauses aufgrund unzureichender Bausubstanz nicht mehr für das Reallabor-Zentrum zur Verfügung stand und damit auch der geplante Solar-Carport und das E-Mobil- und Batterielabor keine Heimat mehr hatten, wurde beschlossen, eine **Energiezentrale** zu bauen, die neben der Heizzentrale für die Nahwärme auch das E-Mobil- und Batterielabor mit Ladepunkt für die Erforschung des Bidirektionalen Ladens sowie eine PV-Fassade mit hocheffizienter farbiger Morphocolor-Beschichtung sowie dem Raum für die Installation von zwei Kältemaschinen bereitstellt (siehe Abbildung I-10). Für die Energiezentrale musste ein neuer Standort gesucht werden, da der im Bebauungsplan vorgesehene Standort für diese Lösung nicht geeignet war. Dies zeigt, dass bei der Planung von Infrastrukturkomponenten eine Risikoanalyse sinnvoll ist und eine Flexibilität zur Änderung von Plänen vorhanden sein sollte.
- Mit der Software LCA BAU wurde ein **webbasiertes Berechnungstool für Umweltindikatoren** erarbeitet, das die Bewertung von Baukonstruktionen unter Berücksichtigung der gebundenen grauen Energie der Bauteile erlaubt. Die Vielzahl der bereitgestellten Datensätze und die große Zahl der bereitgestellten Parameter zeigen, wie komplex die ganzheitliche energetische Bewertung von Bauvorhaben ist. Mit dem Werkzeug können Planende ihre Konstruktionen selbst bewerten.
- Mit der **Software KLARA Regional Wertschöpfung** wurde eine webbasierte Anwendung erarbeitet, die es den Akteuren erlaubt, die Auswirkungen von Bauvorhaben auf die regionale Wirtschaft zu berechnen. Dies hilft der Lokalpolitik bei der Entscheidungsfindung.

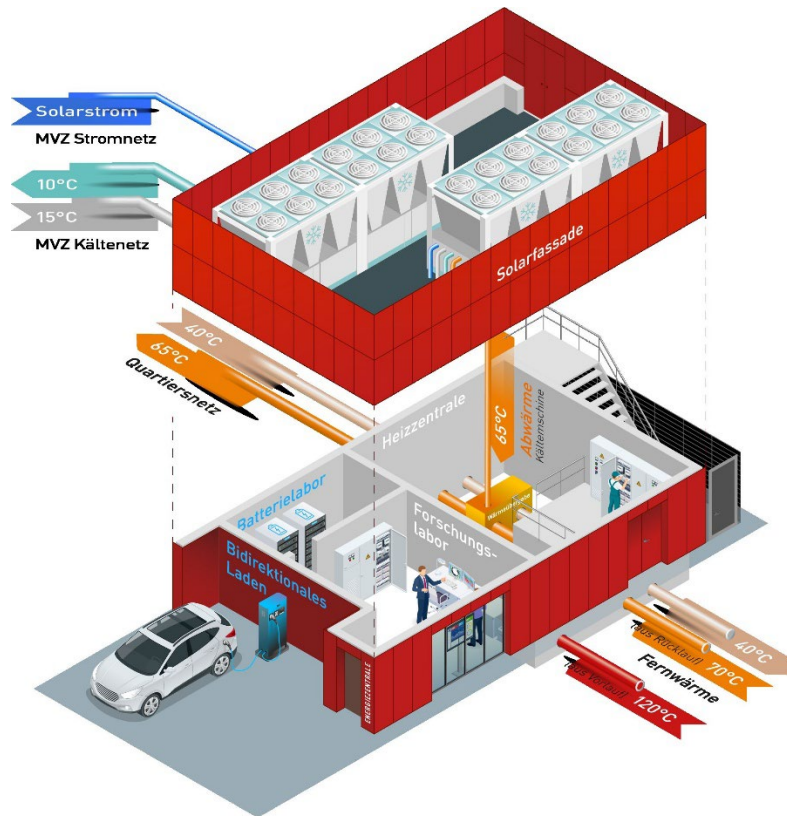


Abbildung I-10: Energiezentrale mit Heizzentrale und E-Mobil- und Batterie-Forschungslabor – © Triolog / EnStadt:Pfaff

- Die Arbeiten im Bereich der Digitalisierung belegen, dass **digitale Dienste** für die Bewohner:innen und Nutzer:innen von Quartieren zur Erreichung der Klimaneutralität beitragen können. Hierzu wurde eine **digitale Plattform** mit mehreren **digitalen Diensten** entwickelt, die die Vielfalt und Bedeutung digitaler Lösungen zeigen. Da sich die Entwicklung und damit die Nutzung des Quartiers verzögert hat, konnten die digitalen Dienste nicht mit den künftigen Nutzenden erprobt werden, auf Basis der vorliegenden Erfahrungen und digitalen Lösungen können künftig jedoch zielgerichtet digitale Dienste weiterentwickelt und bereitgestellt werden.
- Die Entwicklung von **Quartierstypologien** der Energieeffizienten Stadt trägt dazu bei, das Spannungsverhältnis von neuen Arbeitsweisen und Energieeffizienz produktiv in eine klimaneutrale Gestaltung unserer Lebens- und Arbeitswelt zu überführen. Die Arbeit gibt Hinweise, wie Nutzerbedürfnisse und sozialwissenschaftliche Daten stärker in die Quartiersplanung integriert werden können. Die Typologien zeigen Lösungsansätze für nachhaltige Quartiere auf.
- Die Analyse einzelner Phasen des **Entwicklungsprozesses** des Pfaff-Quartiers erbrachte wichtige Erkenntnisse zu den beteiligten Akteuren und ihren Rollen (siehe Abbildung I-11). Ein besseres Verständnis der Prozesse und der Voraussetzungen für eine erfolgreiche Transformation von Quartieren von der fossilen zu einer klimaneutralen Energieversorgung ist eine wichtige Grundlage für die erfolgreiche Entwicklung klimaneutraler Quartiere.

Akteure der klimaneutralen Quartiersentwicklung im Pfaff-Quartier

		Planung & Rahmensetzung → Rahmenplan → Bebauungsplan → Leitbild → Stellplatzsatzung → Solargründachpflicht → Anschlusspflicht Nahwärme	Baureifmachung & Vermarktung → Gebäudeabriss → Altlastensanierung → Grundstücksvermarktung	Erschließung & Infrastruktur → Energie & Daten → Wasser & Abwasser → Straßenbau → Beleuchtung → Mobilitätsstationen → Freiraumgestaltung	Bau & Sanierung → Sanierung von Bestandsgebäuden → Neubau von Gebäuden
 PFAFFQUARTIER KLIMANEUTRAL Das Reallaborquartier in der Pfaff	EnStadt:Pfaff Stadtverwaltung, Wissenschaft, Gebäudeeigentümer	Konzeptentwicklung erstellen Konzepte zur Klimaneutralität, prüfen innovative Lösungen		Demonstration & Erprobung innovativer Lösungen demonstrieren innovative Technologien, planen und bauen Energiezentrale, Reallabor-Zentrum und smarte Lichtmasten	
	Kommune				
	Stadtrat	beschließt	beschließt	beschließt	
	Verwaltung	koordiniert und plant, beauftragt Projektentwickler	koordiniert und investiert	begleitet	genehmigt
	Öffentlichkeit	Beteiligung bringen Ideen ein Einspruchsmöglichkeit	Begleitung durch Medien und interessierte Bürgerinnen und Bürger Vermarktungsbeirat		Gestaltungsbeirat
	Umsetzende				
	Städtischer Projektentwickler		koordiniert Umsetzung	koordiniert	
	Stadtwerke, Stadtentwässerung			investieren und setzen um	
	Planungsbüros und Bauunternehmen		planen und bauen	planen und bauen	planen und bauen
	Grundstückseigentümer und Investoren		erwerben Grundstücke		bebauen Grundstücke

Abbildung I-11: Akteure der Quartiersentwicklung im Pfaff-Quartier und ihre Rollen in den verschiedenen Phasen der klimaneutralen Quartiersentwicklung – © Triolog / EnStadt:Pfaff

I.6 Erkenntnisse aus dem Vorhaben EnStadt:Pfaff

Im Reallabor-Vorhaben wurden von den Partnern eine Vielzahl von Erkenntnissen bezüglich der Planung und Umsetzung von klimaneutralen Quartieren, der Zusammenarbeit der Akteure, den Herausforderungen bei der Nutzung von Innovationen und vieler anderer Aspekte gewonnen. Dabei gibt es auch unterschiedliche Einschätzungen, da die Erkenntnisse auf den persönlichen Erfahrungen der Beteiligten beruhen. Im Folgenden sind die wichtigsten Erkenntnisse aufgelistet, die vermutlich verallgemeinerbar sind und nicht nur der spezifischen Situation in Kaiserslautern geschuldet sind. Die Erkenntnisse sind nach Themen geordnet.

I.6.1 Erkenntnisse zur Bauleitplanung

1. **Von Beginn der Bauleitplanung an sollte auch die Energieplanung erfolgen.** Die Energieplanung sollte parallel zur Bauleitplanung und damit frühzeitiger als bislang üblich erfolgen, um die Integration der verschiedenen Komponenten klimaneutraler Energielösungen in den Bebauungsplan zu ermöglichen.
2. **Klimaschutz und Klimaneutralität sollten im Abwägungsprozess der Bauleitplanung einen höheren Stellenwert erhalten.** Eine Aufwertung ist bereits mit der Novelle des Baugesetzbuches

(BauGB) zum Januar 2024 erfolgt, wichtig ist jetzt, diesen Vorgaben in der Praxis der Planerstellung zu folgen.

3. **Die Zuständigkeit für Klimaschutz, Klimaanpassung und Klimaneutralität im Bauleitplanungsprozess** und damit die Verantwortlichkeit, eine angemessene Berücksichtigung der entsprechenden Belange zu vertreten, sollte im Prozess der Bauleitplanung klar definiert sein.
4. Die Akteure vor Ort benötigen **mehr Unterstützung bei der Bewertung von Maßnahmen** zu Umsetzung von Maßnahmen zum Klimaschutz, zur Klimaanpassung und zur Klimaneutralität.
5. Im **Umweltbericht** zum Bebauungsplan sollte ein Klima-Check integriert werden, der die wichtigen Indikatoren zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung bewertet. Bislang liegen in den Umweltschutzämtern und bei den erstellenden Büros wenig Erfahrungen vor. Deshalb wird die Erstellung von Vorlagen für die Integration von Informationen zum Klimaschutz, zur Klimaanpassung und zur Erreichung der Klimaneutralität empfohlen.
6. Alternativ zur Integration in den Umweltbericht zum Bebauungsplan ist die **Erstellung eines Klimaschutzberichtes** zu empfehlen, um dem Thema eine angemessene Bedeutung zu verleihen. Der Bericht soll die Entscheidungsträger darüber informiert, inwieweit der Bebauungsplan ausreichende Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung vorsieht und dazu geeignet ist, die Klimaneutralität tatsächlich zu erreichen.

I.6.2 Erkenntnisse zur Planung und Umsetzung des Quartiers-Energiekonzeptes

1. **Die Energieplanung sollte parallel zur Aufstellung des Bebauungsplans erfolgen und bei Änderungen fortgeschrieben werden.**

Um eine für die Solarenergienutzung günstige Ausrichtung und eine hohe Energieeffizienz der Gebäude z.B. durch eine kompakte Bauweise zu erreichen und ausreichende Flächen für die lokale Gewinnung, Speicherung und Verteilung von Energie bereitstellen zu können, sollte die Energieplanung mit dem Beginn der Aufstellung des Bebauungsplans starten und damit früher als bislang üblich. Insbesondere sind Infrastruktur-relevante Aspekte der Energieversorgung frühzeitig zu planen, denn Wärmenetze, Energiezentralen, Trafos, Großwärmespeicher, Geothermiebohrungen etc. sollten als Flächenfestsetzungen im Bebauungsplan aufgenommen werden, auch weil es sich um Investitionen handelt, die langfristig genutzt werden müssen, damit sie sich amortisieren können. Notwendige Komponenten sollten klar lokalisiert werden, wobei sich die Standorte nach den energietechnischen und nicht vornehmlich nach den städtebaulichen und architektonischen Belangen richten sollten.

2. Für das Energiesystem sollten möglichst klare Ziele vorgegeben werden.

Um die Planung zielgerichtet durchführen zu können, muss definiert werden, welche Ziele konkret verfolgt werden. Wird beispielsweise die Klimaneutralität angestrebt, sind die Energiesektoren abzugrenzen, auf die sie sich bezieht (Strom, Wärme, Kälte, Mobilität), es sind die angestrebten Eigenversorgungsanteile zu definieren und es muss definiert werden, ob die Ziele in der Jahresbilanz oder in jeder Stunde des Jahres erreicht werden sollen und unter welchen Bedingungen Energieimporte in das Quartier zugelassen werden. Anhand der daraus abgeleiteten Kriterien lässt sich beurteilen, inwieweit mögliche Energiesystem-Lösungen geeignet sind, die Ziele zu erreichen.

3. Die Energieplanung sollte alle Sektoren umfassen und deren Kopplung berücksichtigen.

Klimaneutrale Energiesysteme weisen einen hohen Anteil dezentraler Energieerzeugung, eine starke Elektrifizierung des Wärme- und Mobilitätssektors und damit eine starke Sektorenkopplung sowie eine intelligente Steuerung von Erzeugung und Verbrauch unter Einbindung von Speichern und Demandside-Management-Lösungen. Ein energetisch und ökonomisch optimales Energiesystem lässt sich somit nur entwickeln, wenn die Energieplanung alle Energiesektoren (Strom, Wärme, Kälte, Mobilität) und die Effizienz- und Synergieeffekte durch die Kopplung der Sektoren berücksichtigt. Für die Energiessystemoptimierung empfiehlt sich die Nutzung von modernen Modellierungswerkzeugen.

4. Ein klimaneutrales Quartiersenergiesystem importiert einen Teil seines Energiebedarfs und sollte dies systemdienlich tun.

Die Energieautarkie, also die Eigenversorgung eines Quartiers aus lokalen Energiequellen und damit die Unabhängigkeit von Energielieferungen ins Quartier ist in den meisten städtischen Quartieren aufgrund der hohen Energiebedarfsdichte und der begrenzten lokalen Ressourcen technisch nicht möglich und wäre auch wirtschaftlich nicht sinnvoll. Klimaneutrale Quartiersenergiesysteme weisen somit auch klimaneutrale Energieimporte in das Quartier auf. Um die Energieimporte zu minimieren, sollte die Energie effizient verbraucht und die lokalen erneuerbaren Energien-Potenziale möglichst weitgehend ausschöpft werden. Der Restenergiebedarf sollte klimaneutral importiert werden. Durch ein intelligentes Energiemanagement und die Nutzung von Flexibilitäten im Quartier sollte dies möglichst systemdienlich für das vorgelagerte Energiesystem erfolgen, d.h. vornehmlich dann, wenn dort viel klimaneutrale Energie zur Verfügung steht. Diese Energiesystemlösung liegt auch den „Positive Energy Districts“ (PED)

zugrunde, bei denen das Quartier eine positive Wirkung auf das vorgelagerte Energiesystem aufweist. PEDs haben in Europa eine wachsende Bedeutung.¹⁰

5. Die umfangreiche lokale Nutzung der Solarenergie ist die Grundlage eines klimaneutralen Quartiersenergiesystems, sie sollte „integriert“ erfolgen.

Die Solarenergie ist in den meisten Fällen die lokale Energiequelle mit dem größten Potenzial und muss deshalb möglichst umfangreich genutzt werden, um einen hohen Selbstversorgungsgrad zu erreichen. Hierfür sollte in der Bauleitplanung auf eine solargeeignete Ausrichtung der Gebäude und eine geringe Verschattung der Dachflächen geachtet werden. Da somit große Flächen in den Quartieren für die Solarenergiegewinnung genutzt werden, ist auf eine architektonisch und gestalterisch ansprechende Integration in die Gebäudehüllen (Dach und Fassaden) zu achten. Dies kann u.a. durch den Einsatz von farbigen PV-Modulen erreicht werden. Weiter sind kombinierte Nutzungen zu bevorzugen, um Synergieeffekte zu erreichen und Nutzungskonkurrenzen zu vermeiden. Dies ist beispielsweise bei Solargründächern der Fall, bei denen die Solarmodule auf Gründächern installiert werden, wodurch Retentionskapazitäten zur Aufnahme und Pufferung von Regenwasser geschaffen werden. So wird Klimaschutz und Klimaanpassung sinnvoll und wirksam kombiniert. Auch die bei der Installation von Solarmodulen im Freiraum können Doppelnutzungen erreicht werden, beispielsweise durch die Überdachung von Pkw-Stellplätzen oder Passagen mit semitransparenten PV-Modulen.

6. Die Bewertung von Energiesystemlösungen sollte umfassend erfolgen.

Ein Energiesystem wird, wie die sonstige Infrastruktur im Quartier, mehrere Jahrzehnte verwendet und muss sich über seine Nutzungsdauer amortisieren. Deshalb sollten Entscheidungen für ein Energiesystem nicht nur die heutige Randbedingungen, sondern auch absehbare künftige Entwicklung mitberücksichtigen. Beispielsweise werden weitere Effizienzverbesserungen und Kostensenkungen bei den erneuerbaren Energien-Technologien, Batterien, Wasserstoff-Elektrolyseuren, E-Fahrzeugen etc. erwartet und in Studien prognostiziert. Dies kann Energiesystemlösungen künftig wirtschaftlich werden lassen, die es heute noch nicht sind. Weiter sind auch die Versorgungssicherheit und die Resilienz des Energiesystems bezüglich Extremwetterereignisse als wichtige Aspekte einer nachhaltigen Energieversorgung in der Bewertung zu berücksichtigen. Darüber hinaus können sich auch die Preise für die importierte Energie deutlich verändern, wie die Energiekrise aufgrund des Krieges in der Ukraine gezeigt hat. Kostenanalysen

¹⁰ Vgl. Joint Program Initiative Urban (2025).

sollten daher auch mögliche Preisrisiken der verschiedenen Energiesystemlösungen berücksichtigen. Künftige Entwicklungen der Energietechnologien und die Resilienz des Energiesystems in Bezug auf die Versorgungssicherheit und Abhängigkeit von Preisschwankungen sollten deshalb bei der Entscheidung für eine Energiesystemlösungen mit bewertet werden.

7. Die Beteiligung aller relevanten Akteure an der Energieplanung ist sinnvoll.

Bei der Wahl von Energieversorgungsvarianten spielen neben technischen und ökonomischen Gründen meist auch städtebauliche, architektonische, unternehmerische, soziale, politische und persönliche Gründe der beteiligten Akteure eine Rolle. Um eine fachlich gut fundierte und möglichst breit akzeptierte Energieversorgungslösung zu erreichen, ist die rechtzeitige Information und Beteiligung aller relevanten Akteuren bei der Energieplanung sinnvoll.

I.6.3 Erkenntnisse zur Planung sowie zur Sanierung und zum Neubau von Gebäuden

1. Eine hohe Energieeffizienz von Gebäuden ist notwendig, die Höhe sollte klug gewählt werden.

Um den optimalen Grad der Energieeffizienz von Gebäuden zu ermitteln, ist der Kosten-, Material- und Zeitaufwand für einen erhöhten Effizienzstandard dem Aufwand gegenüberzustellen, den verbleibenden Energiebedarf klimaneutral bereitzustellen. Dabei kann es attraktiv sein, den Grad der Energieeffizienz höher als gesetzlich vorgeschrieben zu wählen, um den Grad der Energieeigenversorgung zu erhöhen, erwartbare Energiekostensteigerungen zu dämpfen oder von Fördermitteln zu profitieren. Um das optimale Maß für die Effizienz zu ermitteln, sind entsprechende Szenarienberechnungen durchzuführen.

2. In der Bestandssanierung ermöglichen innovative Komponenten eine gute Effizienz.

Eine hohe Energieeffizienz wird bei der Sanierung von Bestandsgebäuden durch angepasste Komponenten erreicht, die eine gute Funktionalität und einen hohen Komfort bei architektonisch ansprechender Integration ermöglichen. Dies sind beispielsweise - wie im Pfaff-Quartier demonstriert - Fenstersysteme mit integrierten Jalousien, fensterrahmenintegrierte Lüftungsgeräte, der bauphysikalisch korrekte Einsatz von Innendämmung, wenn Außendämmung nicht möglich ist, oder farbige PV-Module zur gestalterisch ansprechenden Integration in das Dach und die Fassade.

3. Die energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden ist mit gutem Erfolg möglich, erfordert aber eine detaillierte Planung und die Umsetzung innovativer Lösungen.

Die Sanierung denkmalgeschützter Gebäude im Rahmen der Entwicklung klimaneutraler Quartiere stellt erhöhte Anforderungen an die Eigentümer:innen und Planer:innen. Dabei können

energetisch und architektonisch sehr attraktive Lösungen entwickelt werden, wie das Beispiel des denkmalgeschützten Verwaltungsbaus im Pfaff-Gelände aus den 1950er Jahren zeigt, das auf das KfW-70 Niveau saniert wurde. Wichtig ist dabei eine gute Abstimmung der Sanierung der Gebäudehülle, der Anlagentechnik und der Energieversorgung. Besondere Herausforderungen ergeben sich häufig im Bereich der Fenster, deren Verglasung nicht nur den winterliche, sondern auch den sommerlichen Wärmeschutz zur Erreichung der Klimaneutralität und Gewährleistung eines hohen Komforts gewährleisten muss. So können beispielsweise Jalousien im Scheibenzwischenraum die benötigte Kühlleistung um bis zu 40 % gegenüber einer innenliegenden Verschattung reduzieren, wenn Außenjalousien aufgrund der Denkmalschutzvorgaben nicht erlaubt sind. Der im EnStadt: Pfaff-Vorhaben entwickelte Leitfaden zur Sanierung denkmalgeschützter Gebäude bietet Hilfestellung und weiterführende Informationen.

4. In Neubauten sollten die geeigneten Gebäudehüllflächen gezielt genutzt werden.

Dach- und Fassadenflächen sollten aktiv und umfassend genutzt werden zur Energieerzeugung (PV-Anlagen), zur Verbesserung des Mikroklimas, zur Entlastung der Entwässerung (Gründach) und auch zur Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Freiraum durch eine entsprechende Gestaltung der Gebäudefassaden. Gestaltungshandbücher für die Fassadengestaltung, wie sie für das Pfaff-Quartier entwickelt wurden, und Vorgaben für die Nutzung der Dachflächen, beispielsweise als Solargründach wie im Bebauungsplan für das Pfaff-Quartier festgelegt, sind sinnvolle Maßnahmen, um den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung im Quartier gezielt zu fördern. Eine flächendeckende Umsetzung erfordert allerdings die Aufnahme entsprechender Vorgaben in den Bebauungsplan, in Satzungen und/oder in städtebauliche Verträge.

5. Smart Home Lösungen werden zur Schnittstelle der Nutzer:innen zur Gebäudetechnik.

Smart Home Lösungen erhöhen die Energieeffizienz und den Nutzungskomfort von Gebäuden, indem sie die Wärmeversorgung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung gezielt und effizient an den Bedarf der Nutzer:innen anpassen. Auch Überwachungsfunktionen können übernommen und so die Sicherheit erhöht werden. Allerdings ist bei der Umsetzung von Smart Home Lösungen auf einen klaren Mehrwert für die Nutzer:innen und eine einfache Bedienbarkeit und hohe Robustheit der Technik zu achten. Die Voraussetzung für einen erfolgreichen Betrieb ist ein flexibles Kommunikationsprotokoll, das alle eingesetzten Komponenten verstehen.

I.6.4 Erkenntnisse zur Gestaltung einer nachhaltigen Mobilitätslösung im Quartier

1. Die Verkehrsplanung sollte auf Basis eines ganzheitlichen Mobilitätskonzeptes erfolgen.

Die Zielsetzung für die Mobilität im Quartier, wie z.B. reduzierter motorisierter Individualverkehr (MIV) und Bereitstellung eines größeren Anteils des öffentlichen Raums für Fußgänger:innen und Radfahrer:innen erfordert integrierte Konzepte, um für die Bewohner:innen und Nutzer:innen des Quartiers trotzdem ein hohes Maß an Mobilität zu gewährleisten. Dies bedarf ausgewogener Lösungen für die Verkehrsführung, angepasste Geschwindigkeiten, ein Stellplatzmanagement ggf. mit Parkhäusern am Quartiersrand statt Parkplätzen im Quartier, verbesserte ÖPNV-Angebote, alternative Mobilitätsangebote wie Car- und Bike-Sharing sowie bauliche Einrichtungen (Mobilitätsstationen) und digitale Lösungen zur Unterstützung der Multimodalität.

2. Ein Mobilitätskonzept sollte kooperativ unter Beteiligung aller betroffenen Akteure und mit Expert:innen erstellt werden.

Integrierte Mobilitätskonzepte erfordern die Zusammenarbeit der Stadt- und Verkehrsplaner, der Anbieter von ÖPNV und alternativen Verkehrskonzepten, den Gebäudeeigentümer:innen, Bewohner:innen und Quartiersbesucher:innen und -nutzer:innen, um eine ausgewogene Lösung zu finden, die Angebote an die Bedarfe anzupassen und eine hohe Akzeptanz zu erreichen. Für die Entwicklung innovativer Lösungen ist die Zusammenarbeit mit spezialisierten Planungsbüros oder Forschungsinstituten zu empfehlen.

3. Nachhaltige Mobilitätslösungen müssen in Satzungen festgeschrieben werden.

Nachhaltige Mobilitätslösungen verändern den öffentlichen Raum, indem sie beispielsweise mehr Flächen für Fußgänger:innen und Radfahrer:innen und weniger Stellplätze für Pkws bereitstellen. Dadurch werden die Nutzungsmöglichkeit des öffentlichen Raums durch den MIV eingeschränkt. Diese Lösungen sollten in Satzungen festgeschrieben werden, da diese vom Stadtrat nach Abwägung beschlossen werden, was die Akzeptanz erhöht und den Bestand der Regelungen gewährleistet. Durch die Satzungen erhält die Kommune die Instrumente, die zur Umsetzung des Mobilitätskonzeptes erforderlich sind.

4. Alternative Mobilitätslösungen benötigen neue Finanzierungs- und Betreibermodelle.

Um den motorisierten Individualverkehr zu reduzieren, ohne die Mobilitätsmöglichkeiten der Menschen zu beschränken, müssen alternative Mobilitätslösungen angeboten werden. Dies sind neben einem guten ÖPNV-Angebot und dem Bau von Radwegen auch Sharing-Angebote wie Car-Sharing, Bike-Sharing oder Roller-Sharing. Damit diese Angebote auch leicht genutzt

werden können, müssen die Angebote in kurzer Distanz erreichbar und zuverlässig verfügbar sein. Dies wird neben dem Ausbau des ÖPNVs auch erreicht durch Mobilitätsstationen, die verteilt im Quartier gebaut werden und an denen z.B. Car-Sharing-Fahrzeuge stehen, die aber auch weitere Services bereitstellen können, wie z.B. ÖPNV-Haltestelle, Paket-Abholstation, Kiosk etc. Diese zusätzlichen Maßnahmen müssen finanziert und betrieben werden. Im Pfaff-Quartier wurde hierfür die Stellplatzsatzung erarbeitet und als Teil des Bebauungsplans verabschiedet. Sie erlegt den Bauherr:innen eine Ablösezahlung für die Reduktion des Stellplatzschlüssels in Tiefgaragen auf, die an die Stadt zur Erstellung von Mobilitätsstationen und zusätzlichen Mobilitätsangeboten zu zahlen ist. Die Umsetzung der Mobilitätsstationen und deren Betrieb ist von der Stadt zu koordinieren. Hierfür sind die Verantwortlichkeiten zu klären und sollte von der Stadt ein Kümmerer eingesetzt werden.

I.6.5 Erkenntnisse zur Digitalisierung

1. **Quartiers-Infrastrukturplanung: Der Austausch von Planungsdaten durch die Bereitstellung von Datenplattformen würde Synergieeffekte in der Planung ermöglichen.**

Die Digitalisierung wird bei der Planung der Quartiersinfrastruktur durch Nutzung von 3D Modelle sowie bei den Gebäuden durch die Nutzung von Building Information Modelling (BIM) Lösungen immer wichtiger, so werden Gebäude und Quartiere zunehmend als Digitale Zwillinge abgebildet. Bislang findet der Datenaustausch zwischen den Planenden von Gebäuden und Quartiersinfrastruktur beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Datenformate, Auflösung der Daten, nicht definierte Datenqualität oder unklarer Rechte an den Daten kaum statt. Um die Planung zu beschleunigen und Synergieeffekte zu heben, könnten Lösungen zum Austausch von Planungsdaten z.B. durch Bereitstellung von Datenplattformen entwickelt und bereitgestellt werden. Dabei wäre zu klären, wer welche Rolle in der Zusammenarbeit übernimmt bzw. übernehmen kann. Beispielsweise könnte die Kommune bzw. deren Projektentwickler eine entsprechende Plattform bereitstellen, allerdings müssten dafür die notwendigen Ressourcen bereitgestellt werden.

2. **Webbasierte Bewertungssysteme erleichtern die Planung nachhaltiger Quartiere.**

Bislang wird bei der Bewertung der Klimaneutralität meist nur der Energieverbrauch im Betrieb berücksichtigt, aber nicht die Graue Energie, die zur Erstellung von Gebäuden erforderlich ist. Künftig wird dies jedoch wichtig werden. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die Planenden einfache Instrumente zur Bewertung der Bauvorhaben erhalten. Im Rahmen von EnStadt:Pfaff wurde dafür die LCA-BAU Software zur Berechnung der Umweltwirkung anhand von Material

und Menge bzw. Gewicht von Baumaterialien entwickelt. Ein weiteres Kriterium für Umsetzung von Baumaßnahmen kann die damit verbundene regionale Wertschöpfung sein mit ihrem Einfluss auf die wirtschaftliche, soziale und ökologische Entwicklung einer Region. Baumaßnahmen stärken die lokale Wirtschaft, schaffen Arbeitsplätze und generieren Abgaben. Um diese Wirkungen zu bewerten und in der Entscheidungsfindung berücksichtigen zu können, wurde ein EnStadt:Pfaff die webbasierte Software Klare Regionale Wertschöpfung entwickelt.

3. **Betrieb von Quartiersenergiesystemen: Neue, gebäudeübergreifende Energiehandelsplattformen können die Effizienz und den Anteil der Selbstversorgung erhöhen.**

Die Digitalisierung unterstützt den optimierten technischen Betrieb von Quartieren durch intelligente Steuerung der Infrastrukturen, insbesondere im Bereich Energie und Mobilität. Dies ermöglicht auch neue Geschäftsmodelle, wie z.B. den automatisierten Energiehandel und -austausch zwischen lokalen Erzeugern und Verbrauchern durch agentenbasierte Energiemanagementlösungen. Hierfür müssen technische Lösungen entwickelt werden, wie z.B. Blockchain-basierte Handelssysteme, und die notwendigen regulatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die bislang noch nicht vorhanden sind.

4. **Digitale Services erhöhen die Lebens- und Nutzungsqualität des Quartiers.**

Durch App-basierte digitale Informations- und Kommunikationsplattformen wird der Informationsaustausch zwischen Bewohner:innen und Nutzer:innen ermöglicht. Themen können beispielsweise Mobilitätsangebote, lokale Veranstaltungen, Serviceangebote, Einkaufsmöglichkeiten, soziale und kulturelle Initiativen und Beteiligungsmöglichkeiten und sonstige aktuelle Themen sein. Hierzu ist die entsprechende digitale Lösung zu entwickeln und die Betreuung des Angebots z.B. durch ein Quartiersmanagement zu klären.

I.6.6 Erkenntnisse zu Prozessen der Entwicklung nachhaltiger Quartiere

1. **Eine erfolgreiche Zusammenarbeit von unterschiedlichen Akteuren einer Quartiersentwicklung erfordert ein gemeinsames Leitbild.**

Nachhaltige, zukunftsweisende Quartiere zeichnen sich durch aufeinander abgestimmte Lösungen in unterschiedlichen Sektoren wie z.B. Energie, Mobilität, Digitalisierung, Umweltschutz, Aufenthaltsqualität, Wirtschaft und Arbeitsplätze, soziale Angebote und Durchmischung etc. aus. Die jeweiligen Sektorziele sind durch die Politik und Projektentwickelnden zu setzen. Damit jedoch die Vielfalt an beteiligten Akteuren (Planende, Ausführende, Eigentümer:innen, Versorgungsunternehmen, Nutzende, Politik, Öffentlichkeit etc.) die verschiedenen Sektorziele auch

für Sektoren berücksichtigen können, für die sie nicht direkt zuständig sind, empfiehlt es sich zu Beginn des Entwicklungsprozesses gemeinsam ein Leitbild mit den Zielen für die Quartiersentwicklung in den relevanten Sektoren zu erstellen. Insbesondere für die Umsetzung von Entwicklungs- und Transformationsprozessen mit ambitionierten Zielen und integrierten Lösungsansätzen, die neue und innovative Ansätze erfordern und damit eingeübte Pfade verlassen müssen, wird ein Konsens über die gemeinsam angestrebten Ziele von den Beteiligten benötigt, um Reibungsverluste zu vermeiden und die Ziele erfolgreich erreichen zu können.

2. Die Entwicklung nachhaltiger Quartiere bedarf einer Gesamtprojektsteuerung.

Um Quartiere mit innovativen und ambitionierten Zielsetzungen wie der Klimaneutralität erfolgreich umzusetzen, ist eine Gesamtprojektsteuerung erforderlich, deren Erfolg an der Erreichung der verschiedenen Sektorziele gemessen wird. Es empfiehlt sich dabei, die Verantwortlichkeit für die Erreichung der verschiedenen Zielsetzungen konkreten Akteuren zuzuordnen, was insbesondere für Querschnittsthemen wie dem Klimaschutz und der Klimawandelanpassung nicht selbstverständlich ist. In der traditionellen Quartiersentwicklung von kommunalen Projekten findet teilweise eine sektoren- und aufgabenbezogene Projektsteuerung ohne Gesamtprojektsteuerung statt, beispielsweise durch die Stadtplanung, die die Bauleitplanung und die Verkehrsplanung leitet, die Ver- und Entsorgungsbetriebe, die die Infrastrukturplanung und -umsetzung von Energie, Daten, Wasser, Abwasser und Müll durchführen, dem Unternehmen, das die Erschließung des Geländes koordiniert und umsetzt, der Institution, die für die Vermarktung und den Verkauf der Grundstücke verantwortlich ist und ggf. weiteren Akteuren mit anderen Aufgaben. Die Gesamtverantwortung liegt in diesen Fällen dann bei der Politik bzw. der Verwaltung. Was in traditionellen und bekannten Planungsprozessen funktioniert, stellt jedoch bei sektorübergreifenden Zielsetzungen wie der Klimaneutralität, die eine starke Kooperation der Sektoren und neue und innovative Lösungen erfordern, eine Herausforderung dar. Die Gesamtprojektsteuerung muss deshalb dafür sorgen, dass diese Querschnittsthemen von allen Sektoren angemessen berücksichtigt werden. Meist empfiehlt es sich, für die Themen Verantwortliche zu benennen und diese in alle relevanten Prozessschritte einzubinden. So kann gewährleistet werden, dass die Zielsetzung in der Abwägung mit den anderen Interessen so gut wie möglich erreicht wird.

3. Um innovative Quartierslösungen umzusetzen, braucht es eine Kultur der Offenheit für Neues, eine fachlich fundierte Bewertung der Lösungsvarianten und eine gute Kommunikation.

Innovative Lösungen, mit denen die Beteiligten bislang keine Erfahrungen haben und die sie deshalb nur schwer bewerten können, stellen für die Verantwortlichen und Umsetzenden eine

Herausforderung und ein Risiko dar. Um damit konstruktiv umzugehen, ist eine kooperative Zusammenarbeit erforderlich und die Bereitschaft sich auf neue Lösungen einzulassen und die daraus resultierenden Risiken gemeinsam zu tragen. Denn in einer Kultur der Konkurrenz und des Beharrens finden sich immer Argumente, die aufgebauscht werden können und gegen eine Umsetzung innovativer Lösungen sprechen. Die Minimierung des Risikos und damit der Aufbau von Vertrauen in innovative Lösungen wird erreicht durch eine fachlich fundierte Aufbereitung der innovativen Lösungen und der Nachweis der Vorteile der Innovation gegenüber traditionellen Lösungen. Dabei sollten die technischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Risiken und bei Bedarf die Rechtssicherheit geprüft und bewertet werden. Weiter ist eine offene und verständliche Kommunikation zwischen den beteiligten Akteuren erforderlich, um eine gute Akzeptanz aller Akteure für den Einsatz der innovativen Technik zu erreichen.

4. Nachhaltige Quartiere zu entwickeln ist eine komplexe Aufgabe, die eine kooperative Arbeitsweise erfordert.

Die Entwicklung klimaneutraler, nachhaltiger und zukunftsweisender Quartiere erhöht die Komplexität der Quartiersentwicklung, da zusätzlich zu den bisher betrachteten Sektoren und deren Zielsetzung wie beispielsweise die städtebauliche Qualität, MIV-bevorzugte Verkehrsführung und hohe Aufenthaltsqualität weitere Sektorziele wie die Nutzung erneuerbarer Energien, multimodale Mobilitätslösungen, eine hohe Resilienz gegen Klimawandelfolgen und auch flexible Nutzungsmöglichkeiten aufgrund erwarteter Veränderungen in der Arbeitswelt zu berücksichtigen sind. Einerseits erhöht sich dadurch die Zahl der zu beteiligenden Akteure und andererseits ist die Gesamtprojektleitung aufgrund der Themenvielfalt immer weniger in der Lage, alle Lösungsansätze der einzelnen Sektoren zu bewerten. Deshalb bedarf es eine Weiterentwicklung der Arbeitsweise, bei der alle relevanten Akteure frühzeitig eingebunden werden und kooperativ Lösungsansätze entwickelt, bewertet und abgewogen werden. Dabei empfiehlt sich nicht nur eine sektorübergreifende Kooperation, sondern auch die Einbindung von Akteuren mit unterschiedlichen Kompetenzen eines Sektors, beispielsweise Planende, Ausführende, Forschende und Nutzende des Quartiers.

5. Das Quartiersmanagement sollte als eigenständige Aufgabe bei der Entwicklung und dem Betrieb von nachhaltigen Quartieren verstanden werden.

Das Management von Quartieren hat die Aufgabe, die Aktivitäten der Akteure im Quartier zu koordinieren und diese bei der Erreichung der verschiedenen Quartiersziele zu unterstützen. Je nach Entwicklungsphase unterscheiden sich allerdings die beteiligten Akteure, deren Bedarfe und Interessen und damit auch die Managementaufgabe. In der Konzeptionsphase

(Bauleitplanung) liegt die Koordination meist bei der Kommune (Stadtplanung), die im Rahmen der Beteiligungsprozesse die Träger öffentlicher Belange (u.a. die Ver- und Entsorger) und die Öffentlichkeit beteiligt, in der Erschließungs- und Vermarktungsphase sind zunehmend auch Planende, Investierende und Bauausführende zu integrieren und je weiter die Umsetzung voranschreitet auch die Bewohner:innen und sonstige Nutzer:innen des Quartiers. In jeder Phase sind angepasste Kommunikationsinstrumente zu etablieren, damit alle Beteiligten regelmäßig über den Stand und die Planungen informiert werden und diese sich aktiv einbringen können. Neu hinzukommende Akteure, wie z.B. Investierende müssen über die spezifischen Anforderungen des klimaneutralen Quartiers informiert werden, das Angebot einer entsprechenden Beratung ist sinnvoll. Je mehr Gebäude bezogen werden und je mehr Menschen im Quartier leben und arbeiten, desto mehr besteht die Aufgabe darin, wie die Nachhaltigkeit im Quartiersbetrieb durch das Verhalten der Bewohner:innen und Nutzer:innen gewährleistet werden kann. Die Ausführung der Managementaufgaben kann unterschiedlich organisiert werden. Mit dem operativen Quartiersmanagement, das die Verstetigung von Information, Beratung, Beteiligung und Qualitätssicherung sicherstellt, kann entweder ein darauf spezialisierter Akteur beauftragt werden oder die Aufgaben werden von der Projektleitung oder einem bereits beteiligten Akteur zusätzlich übernommen („Kümmerer“). Eine Herausforderung stellt meist die Bereitstellung der notwendigen finanziellen Ressourcen dar. Deshalb sollte für eine effiziente Umsetzung für die jeweilige Phase definiert werden, welche Zielsetzung mit der Aufgabe verbunden ist, welche Unterstützung sich an wen richten soll und wie lange die Aufgabe bearbeitet werden soll.

6. Die Stadtgesellschaft sollte insbesondere bei zukunftsweisenden Quartiersprojekten aktiv beteiligt werden.

Viele Menschen in einer Stadt sind an einer Quartiersentwicklung interessiert, beispielsweise als mögliche zukünftige Nutzer:innen oder als Modell für die Sanierung und Weiterentwicklung des eigenen Quartiers. Um die Stadtgesellschaft zu erreichen, ist eine Information und Beteiligung der Öffentlichkeit erforderlich, beispielsweise sind Tage der offenen Tür vor Ort auf dem Baugelände eine gute Möglichkeit, mit Interessent:innen ins Gespräch zu kommen. Auch Kinder und Jugendliche sollten hierbei als künftige Nutzer:innen des Quartiers und als Multiplikatoren gezielt adressiert werden. In EnStadt:Pfaff wurden deshalb auch Bildungsformate für Kinder und Jugendliche durchgeführt, um diese am Beispiel der Quartiersentwicklung für die Wichtigkeit von Klimaschutz, Klimawandelanpassung und klimaneutralen Quartieren zu sensibilisieren. In Kinderklimaschutzkonferenzen und einem Jugendklimaforum haben sie sich damit auseinandergesetzt, wie ein Quartier zu einer umweltfreundlichen Zukunft beiträgt und eigene Ideen dazu entwickelt.

II. Eingehende Darstellung des Teilvorhabens IfaS „Lebenszyklusbetrachtung“

Im Rahmen des Verbundvorhabens EnStadt:Pfaff – “Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern: Integrierte Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere” wird nachfolgend das Teilvorhaben “IfaS Lebenszyklusbetrachtung” detailliert vorgestellt.

II.1 Ergebnisse des Forschungsprojektes

Im Rahmen des vorliegenden Schlussberichtes werden zentrale Ergebnisse und Erkenntnisse aus einer Vielzahl von thematisch und fachlich vernetzten Arbeitspaketen dargestellt. Die Bandbreite der untersuchten Themen reicht von der strategischen Planung quartiersbezogener Energie- und Mobilitätskonzepte über technische Innovationen und Digitalisierungstools bis hin zur denkmalgerechten Sanierung und Lebenszyklusanalyse von Gebäuden.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Verbindung zwischen Theorie und Praxis – sei es durch Simulationen und Nachweise technischer Machbarkeit, die Entwicklung digitaler Werkzeuge wie dem regionalen Wertschöpfungsrechner oder durch exemplarische Leitfäden, die als Handlungsempfehlung für die Umsetzung dienen können. Dabei wurden sowohl bestehende gesetzliche und normative Rahmenbedingungen berücksichtigt als auch innovative Ansätze verfolgt, um zukünftige Anforderungen – etwa im Hinblick auf Klimaneutralität und Ressourceneffizienz – zu antizipieren.

Die einzelnen Arbeitspakete werden in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben. Sie umfassen u. a. das Quartiersenergiekonzept (inkl. der Treibhausgasbilanzierung), das Mobilitätskonzept 2029, den digitalen regionalen Wertschöpfungsrechner, die Maximierung solarer Potenziale, die Sanierung denkmalgeschützter Gebäude, die Lebenszyklusbetrachtung und Materialdatenbank sowie innovative Mobilitätsangebote und das aktive Quartier. Die zuvor aufgeführten Themen orientieren sich an den Arbeitspaketen, für die das IfaS hauptverantwortlich war und die in den folgenden Abschnitten detailliert dargestellt werden. Hinzu kommen Darstellungen mit Zuarbeiten in Arbeitspakete im Verantwortungsbereich anderer Partner. Wesentliche Änderungen gegenüber dem ursprünglich geplanten Ablauf gemäß der Vorhabenbeschreibung werden ebenfalls dargestellt.

Ergänzt wird die Darstellung durch eine Vielzahl an Meilensteinberichten, methodischen Vertiefungen und begleitenden Forschungsarbeiten, die über die Projektwebseite¹¹ zugänglich sind.

II.1.1 Projektkoordination und -kommunikation

Das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) war für folgende Arbeitspakete (AP) verantwortlich:

- 1.1.2 Quartiersenergiekonzept
- 1.1.3. Mobilitätskonzept 2029
- 1.2.2 Digitaler Regionaler Wertschöpfungsrechner
- 2.2.1 Maximierung solarer Flächen
- 2.2.3 Sanierung Denkmalgeschützter Gebäude
- 2.2.5 Lebenszyklusbetrachtung, Aufbau eines Quartiersplanungstools mit Gebäude-Materialdatenbank
- 2.3.2 Innovative Mobilitätsangebote im Quartier
- 2.4.2 Aktives Quartier

Für die genannten AP erfolgt in den nachstehenden Abschnitten eine Darlegung der Forschungsergebnisse in Form eines eigenen AP-Berichts. Die Verantwortlichkeit für die fachliche Abwicklung oblag je einem zuständigen AP-Leiter des IfaS. Darüber hinaus waren seitens des IfaS eine Teilprojektleitung und eine Vertretung eingesetzt, die die zuvor genannten AP innerhalb des IfaS fortlaufend koordinierten und Hauptansprechpersonen im Austausch mit der Projektleitung sowie den Verbundpartnern waren.

Die Forschungstätigkeit innerhalb der AP war über die Einrichtung vielfältiger Arbeitsgruppen zu Projektbeginn gesichert. Namentlich zu nennen sind insbesondere: AG Übergreifend, AG Koordination, AG Ausstellung Reallabor-Zentrum, AG Elektrische Systeme, AG Energie, AG Gebäude, AG IKT, AG Ladeinfrastruktur, AG Mobilität, AG Sozialwissenschaftliche Fragen, AG Leitbild. Die Arbeitsgruppen waren regelmäßig mit AP-Leitern und Mitarbeitenden der Projektpartner besetzt, die Leitung der AG war unter den Projektpartnern aufgeteilt. So war das IfaS z. B. für die Leitung und Organisation der AG Gebäude, der AG Sozialwissenschaften und der AG Mobilität verantwortlich. In vielfältigen persönlichen oder auch digitalen Meetings wurde innerhalb der Gruppen kooperativ an den Themen gearbeitet und die Abwicklung und Aufgabenverteilung der den AG zugeordneten AP vorgeplant und durchgeführt. Zwischenergebnisse wurden vorgestellt und besprochen. Zudem erfolgte ein Austausch von Informationen und

¹¹ Vgl. <https://pfaqqquartier-klimaneutral.de/>

Untersuchungsergebnissen aus den relevanten anderen AP und des übergeordneten Planungsprozesses insgesamt. Das IfaS hat dabei maßgeblich Ergebnisse aus den vom IfaS verantworteten Arbeitspaketen in die jeweiligen AGs eingebracht und für die eigene Arbeit relevante Informationen mitnehmen können. Dabei wurden Informationen unter anderem aus der vielfach fortgeschriebenen Energiebedarfsanalyse des Quartiersenergiekonzeptes, den Potenzialanalysen für die Strom-, Wärme- und Mobilitätsversorgung, den Simulationen und Berechnungen zur Solarmaximierung sowie den DIN 18599 Gebäudesimulationen des MVZ und der Mustergebäude geteilt. Außerdem wurden Zwischenergebnisse der PV-Anlagensimulationen für das MVZ und Parkhaus, dem Reallaborzentrum am Standort neues Kesselhaus, zur Anwendung der LCA-Bau Datenbank, den Entwicklungen rund um das Thema Regionaler Wertschöpfungsrechner sowie aus dem AP 2.4.2 Aktives Quartier zum Thema der Nutzerbedürfnisse vorgestellt und erörtert.

Auch wurden Ergebnisse der Forschungstätigkeit, wie z. B. technische, ökonomische, ökologische und soziale Aspekte und Faktoren in die Bearbeitungsprozesse auf Seiten der Stadtplanung eingebracht. Dabei wurden Eingaben und Anforderungen für die anschließenden Festsetzungen im Leitbild, in der Solarsatzung, zur Solar-Gründachpflicht, für das Gestaltungshandbuch, die Freiraum- und Grünflächenplanung sowie für den laufenden Aufstellungsprozess des Bebauungsplanes und die städtebaulichen Verträge eingebracht.

Alle Zuarbeiten wurden gemäß den Anforderungen der AP leitenden Partner oder den Referaten der Stadt erfüllt und sind wiederum in deren Forschungs- oder Planungsarbeiten und Ergebnisse eingeflossen. Notwendige zeitliche bzw. inhaltliche Anpassungen im Projektverlauf, wie auch in den jeweiligen Änderungsanträgen dargelegt, wurden mit der notwendigen Flexibilität und teilweise unter geänderten Rahmenbedingungen durchgeführt. Besonders hervorzuheben sind an dieser Stelle die Beiträge des IfaS zu den früheren Arbeitspaketen 2.1.3 (Smart Grid – Strom und Daten) und 2.1.6 (Smarte Wärme- und Kälteversorgung). Sie wurden seit dem Ausstieg der Stadtwerke Kaiserlautern SWK bzw. der Auflösung der beiden AP (gemäß Änderungs- /Aufstockungsantrag vom 18.Juni 2019) aus dem Kontext des AP 1.1.2 Quartiersenergiekonzept sowie in den im Änderungsantrag neu definierten AP 3.1 Smarte Stromnetzkomponenten und E-Mobil-Schnellladesäulen und AP 3.2 Niedertemperatur-Wärmenetz mit Industrie-Abwärmenutzung fortgeführt. Da im Projektverlauf rund um die Entwicklung des AP 2.1.8 Reallabor-Zentrum besondere Herausforderungen zu bewältigen waren, erfolgt in Abschnitt II.1.15 eine ausführlichere Darstellung der Beteiligung.

Zu den übergeordneten Tätigkeiten im Projekt gehörten insbesondere die Vor- und Nachbereitung sowie die Teilnahme an zunächst zweiwöchigen Projektsteuerkreisen, die im weiteren Verlauf 4-wöchentlich stattfanden, und die Teilnahme an zweimal im Jahr terminierten Konsortialtreffen. Hinzu kamen

über die gesamte Projektlaufzeit alle vier Wochen interne IfaS-Teammeetings. Themenspezifische Meetings mit den Projektpartnern oder anderen Stakeholdern wurden nach Bedarf eingerichtet. Beispielhafte Aktivitäten waren Vor-Ort Termine mit der PEG zur Vorbereitung von Investorengesprächen, Workshops zur Entwicklung der Augmented Reality Umgebung für die Exponate im Reallabor-Zentrum mit dem ausgewählten Dienstleister oder Projekttreffen zur Entwicklung der neuen Projekthomepage und der weiteren Kommunikationsmaßnahmen mit der Agentur Triolog gegen Ende der Projektlaufzeit genannt werden.

Zur inhaltlichen Gestaltung der neuen Homepage wurden projektrelevante Themen in Form spezifischer Themenseiten konzipiert und umgesetzt. Diese stellen die wesentlichen Innovationen und Forschungsergebnisse aus den Arbeitspaketen, gegliedert nach den Rubriken Energie, Gebäudetechnik, Mobilität, Digitalisierung und Transfer, in Kurzfassung, optisch ansprechend und allgemeinverständlich dar.

Folgende Überschriften wurden für die Themenseiten des IfaS gewählt:

- Quartierskonzept Energie
- Energie- und Treibhausgasbilanz
- Solarleitfaden
- Holzintegralfenster
- Lifecycle Analysis (LCA) Software MDB
- Mobilitätskonzept und Mobilitätsstationen
- Bildungsformate für Kinder und Jugendliche¹²
- Leitfaden Sanierung im Denkmalschutz

Die Kommunikation zu unterschiedlichsten Zielgruppen außerhalb der Projektkulisse, wie z. B. Architekten und Fachplanern, städtischen Angestellten und interessierten Bürgern erfolgt zum einen indirekt über die im Projekt entwickelten Leitfäden, wie z. B. zur Maximierung der Solarnutzung oder zur Sanierung denkmalgeschützter Gebäude, aber auch direkt über die Durchführung von Informationsabenden und vielfältigen Projektvorstellungen auf dem Pfaff Symposium, auf wissenschaftlich geprägten Fachveranstaltungen und im Rahmen der Lehre (siehe auch II.6 geplante oder erfolgte Veröffentlichung der Ergebnisse). Die Kommunikation zu projektrelevanten Themen zur Zielgruppe Investoren wurde durch die Mitarbeit bei der Vorlage für die Exposees zur Grundstückvermarktung unterstützt. Hier wurden klimaschutzrelevante Eingaben zur Verwertung bereitgestellt.

¹² Quelle: <https://pfaqquartier-klimaneutral.de/Innovationen>

II.1.2 AP 1.1.2 Quartiersenergiekonzept

Ziel des Quartiersenergiekonzepts war es, verschiedene Optionen einer regenerativen Energieversorgung konzeptionell darzustellen, die jeweiligen Anforderungen und Herausforderungen auf städtebaulicher Ebene zu identifizieren sowie deren wirtschaftliche Auswirkungen abzuschätzen. Zur Schaffung optimaler Ausgangsbedingungen, insbesondere im Hinblick auf minimale Energiebedarfe und maximale Potenzialausschöpfung, wurde zunächst die städtebauliche Rahmenplanung analysiert. Dabei lag der Fokus auf der Reduktion des Wärmebedarfs, etwa durch eine kompakte Bauweise und eine optimale Gebäudeausrichtung sowie auf der Maximierung der solaren Nutzungspotenziale unter Einbeziehung relevanter Aspekte der solaren Bauleitplanung.

Auf der Verbraucherseite wurden die erforderlichen Bedarfe an Strom, Heizwärme, Warmwasser und Kälteenergie errechnet, die sich zum Teil auf Kennwerte und zum Teil auf Simulationsdaten stützen. Es ist anzumerken, dass insbesondere die Bedarfsanalyse im Verlauf des Projekts, aufgrund Änderungen in der städtebaulichen Planung und bei den Bestandsgebäuden, mehrmals angepasst werden musste. Auf der Erzeugerseite wurden alle am Standort verfügbaren Potenziale untersucht (Grundwassersanierungsanlage mit Wärmepumpe, PV- und ST-Dach- und Freiflächen, Geothermie, Abwasserwärme, Industrie-Abwärme, Speicherkapazitäten). Im Anschluss erfolgte die Konzeptionierung und Untersuchung von fünf verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten, unter Nutzung der lokalen Potenziale zur Bedarfsdeckung.

Auf der technischen Seite versteht sich das Quartiersenergiekonzept, insbesondere im Wärmebereich, als überschlägige Konzeptionierung verschiedener Versorgungsvarianten mit Blick auf den Endausbau des Quartiers im Jahr 2029. Das Konzept soll unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten die optimalen Versorgungsoptionen identifizieren, um das Stadtquartier möglichst effizient und nachhaltig mit regenerativen, lokalen Energiepotenzialen zu versorgen. Im Rahmen der Konzeptionierung werden insbesondere die Nutzung von Synergieeffekten und die Sektorenkopplung berücksichtigt. Dazu gehören die Untersuchung von Möglichkeiten zur Abwasserwärmenutzung, Abwärmenutzung von Trafostationen sowie die energetische Nutzung der bereits in Betrieb befindlichen Grundwassersanierungsanlage. Darüber hinaus wird die Elektromobilität mit bidirektionalem Laden, bei der Elektrofahrzeuge als temporäre Stromspeicher fungieren, als wichtiger Bestandteil des Konzepts betrachtet.

In inhaltlich verknüpften Arbeitspaketen, wie z. B. AP 1.1.3 (Mobilitätskonzept2029), AP 2.2.1 (Maximierung solarer Gebäudeflächen), AP 2.1.5 (PV-Systeme im öffentlichen Raum) oder dem neu formierten AP 3.2 (Niedertemperatur-Wärmenetz mit industrieller Abwärmenutzung) wurden teilweise Detailfragen bearbeitet, deren Ergebnisse in das Quartiersenergiekonzept eingeflossen sind. Umgekehrt bildeten auch die Ergebnisse aus dem Quartiersenergiekonzept eine wesentliche Grundlage für

weiterführende Berechnungen in anderen Arbeitspaketen, wie beispielsweise für die Machbarkeitsstudie zur Wärmeversorgung und Abwärmenutzung oder dem Abgleich der PV-Erzeugung in AP 2.2.1 mit den Strombedarfen im Quartier zur Ermittlung der Eigenversorgungsquote.

II.1.2.1 Ziel

Das Arbeitspaket verfolgte die ganzheitliche Betrachtung der Energieversorgung (Strom, Heizwärme, Warmwasser, Kälte) für den finalen Ausbauzustand des Quartiers ab dem Jahr 2029. Aufgabe war es herauszufinden, ob und wie eine Versorgung mit lokalen, regenerativen Potenzialen aussehen kann und welche Rahmenbedingungen dafür geschaffen werden müssen. Neben den zur Verfügung stehenden Potenzialen am Standort haben nicht zuletzt die städtebauliche Rahmenplanung sowie die daraus resultierende Bebauungsplanung großen Einfluss auf das Konzept, da hier bereits grundlegende Entscheidungen getroffen werden müssen, um eine bestmögliche Ausgangslage für ein modernes und effizientes Stadtquartier zu gewährleisten. Ein Großteil der Arbeiten zu Beginn bestand daher in zahlreichen Abstimmungsterminen innerhalb des Konsortiums und mit Beteiligten verschiedener Referate der Stadtverwaltung (z. B. Stadtplanungsamt, Stadtentwässerung) und der Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen, um ein gemeinsames Verständnis für die Wichtigkeit einer optimalen Ausgangslage auf städtebaulicher Ebene zu schaffen.

Vielfältige Nutzungsoptionen innerhalb des Quartiers sowie die Versorgung von Neubau- und Bestandsgebäuden stellen eine komplexe Herausforderung dar. Darüber hinaus bestehen teilweise konträre Ziele und strategische Vorstellungen zwischen den beteiligten Akteuren. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der enorme Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch, wie diverse Monitoring-Studien zum Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch belegen. Um diese komplexen Anforderungen und Unsicherheiten zu berücksichtigen, wurde ein flexibles Berechnungsmodell entwickelt, das es ermöglicht, geänderte Rahmenbedingungen und neue Erkenntnisse zeitnah einzuarbeiten.

Folgende Meilensteine wurden erreicht:

Tabelle II-1: Meilensteine AP 1.1.2 Quartiersenergiekonzept – © IfaS

Meilensteinbezeichnung		Titel
M1	06/2017	Zwischenergebnis für die Berücksichtigung bei der Bauleitplanung und laufenden investiven Infrastrukturvorhaben im Quartier
M2	09/2018	Quartiersenergiekonzept erstellt
M3	09/2022	Fortschreibung Quartiersenergiekonzept

II.1.2.2 Herausforderungen

Die Entwicklung des Quartiersenergiekonzeptes war mit zahlreichen Herausforderungen auf dem Gelände verbunden. Da es sich um eine Industriebrache handelt, welche im zweiten Weltkrieg zum Großteil durch Luftangriffe zerstört wurde, finden sich zahlreiche mit Altlasten kontaminierte Flächen, was mit einer Versiegelungsverpflichtung, Grundwasserkontaminationen, Bombenfunden sowie weiteren Einschränkungen zur Nutzung des Untergrundes einhergeht. Die zentrale Lage im Stadtkern sowie die hohen Erschließungskosten führen zu einer hohen Bebauungsdichte mit mehrgeschossigen Gebäudekomplexen sowie einem hohen Anteil an Gewerbe- und Dienstleistungsflächen. Während die Energiebedarfe aufgrund dieser Faktoren recht hoch ausfallen, verbleiben als Potenzialflächen für die Energiegewinnung vorrangig die Dach- und Fassadenflächen im Quartier. Die wenigen Potenzialflächen unterliegen wiederum einer gewissen Flächenkonkurrenz (Staffelgeschosse mit Dachterrassen, Dachgärten, Gründächer zur Regenwasserretention). Eine weitere Einschränkung ergab sich durch die Vorgabe des Stadtrates, dass eine regenerative Wärmeversorgung im Quartier nicht teurer sein darf als die auf fossilen Energieträgern basierende städtische Fernwärmeversorgung, was zum Ausschluss zahlreicher Ansätze bzw. Versorgungsoptionen führte. Eine Nutzung fossiler Energieträger (bspw. KWK-Anlagen) oder die Nutzung von Biogas aus dem Erdgasnetz wurde bereits dadurch ausgeschlossen, dass die Verlegung eines Erdgasnetzes im Quartier von Seiten der Stadtwerke generell nicht angedacht war. Die Verbrennung von Biomasse im Stadtgebiet war aufgrund entsprechender städtebaulicher / baurechtlicher Bestimmungen ebenfalls ausgeschlossen.

II.1.2.3 Untersuchungsinhalte und Methodik

Eine Hauptaufgabe des Quartiersenergiekonzeptes bestand darin auf Basis zu erarbeitender Bedarfs- und Potenzialanalysen verschiedene Wärmeversorgungsvarianten für den Endausbau des Quartiers zu untersuchen und eine Bewertung aus ökonomischer und ökologischer Sicht vorzunehmen. Hierbei sollten zunächst die am Standort verfügbaren Optionen und Potenziale an regenerativen Energien (Strom und Wärme) analysiert werden, um den Energieimport in das Quartier auf ein Minimum zu reduzieren. Da die Energiebedarfe in einem Stadtquartier in der Regel hoch sind, während die Potenzialquellen und -flächen begrenzt sind, bestand die erste Aufgabe zum Projektbeginn darin, den Energieverbrauch im Quartier möglichst zu reduzieren und die Potenzialflächen zu maximieren. Ein städtebaulicher Rahmenplan, der seitens des Stadtplanungsamtes zum Projektbeginn bereits vorlag, wurde zunächst auf Optimierungspotenziale hin untersucht und Optimierungsmaßnahmen vorgeschlagen, die zu Energie- bzw. Wärmeverbrauchseinsparungen sowie Potenzialerhöhungen (insbesondere Solarenergie) führen können.

Nach der Erarbeitung eines Konsenses zwischen energetischen und städtebaulichen Belangen bestand ein erstes Zwischenziel darin, eine Bedarfsanalyse auf Basis der städtebaulichen Rahmenplanung zu erstellen, um die künftigen Bedarfe an Strom, Wärme und Kälte zu erfassen. Zusätzlich wurden die Energiebedarfe für Mobilitätszwecke aus AP 1.1.3 in die Bedarfsanalyse integriert. Parallel zur Erhebung der Bedarfe erfolgte eine Potenzialanalyse, die Aufschluss darüber geben sollte, aus welchen Quellen das Quartier versorgt werden könnte. Die Bedarfs- und Potenzialanalysen bildeten dabei die Grundlage für alle weiteren Berechnungen. Das Hauptziel der Untersuchungen war die Ausarbeitung einer Wärmeversorgungsvariante, die ökonomisch und ökologisch das Optimum der Quartiersversorgung abbildet. Während die ökonomische Seite über eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach VDI 2067 berechnet wurde, wurde für die ökologische Seite eine umfassende Energie- und Treibhausgasbilanzierung erstellt. Da für Stadtquartiere bislang keine einheitliche Bilanzierungsmethodik etabliert ist, wurde im Rahmen des EnStadt:Pfaff-Projektes eine fundierte Bilanzierungsmethodik entwickelt und im Rahmen des Konsortiums abgestimmt (siehe Abschnitt II.1.2.7 Treibhausgasbilanz des Pfaff-Quartiers). Das methodische Vorgehen sowie die generellen Erkenntnisse der einzelnen Untersuchungsfelder werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

II.1.2.3.1 Leitbild, Gestaltungshandbuch, Festsetzungen im Bebauungsplan

Bereits im Vorfeld der Untersuchungen wurden die energetischen Themen in zahlreichen Abstimmungsterminen mit den Stadtplanern, städtischen Abteilungen und im Konsortium besprochen und in verschiedenen Bereichen eingearbeitet. Im Zuge der Leitbildentwicklung, dem Entwurf eines Gestaltungshandbuchs sowie den textlichen Festsetzungen zur Bebauungsplanung wurden Vorschläge hinsichtlich anzustrebender Anforderungen und Zielsetzungen, technische Vorgaben und Richtwerte, Effizienzstandards und weitere Aspekte erarbeitet, welche anschließend in die jeweiligen Ergebnisse eingeflossen sind.

II.1.2.3.2 Einfluss auf städtebauliche Planung (Reduzierung Energiebedarfe)

Sowohl im Strom- als auch im Wärmesektor ist es für eine möglichst regenerative Versorgung erforderlich, die jeweiligen Bedarfe so weit wie möglich zu reduzieren, was insbesondere in dicht bebauten Stadtquartieren von entscheidender Bedeutung ist, da die Potenzialquellen und -flächen in der Regel stark begrenzt sind. Hier sind vor allem die städtebauliche Rahmenplanung sowie die daraus folgende Bebauungsplanung zu nennen, die großen Einfluss auf das Konzept und die Energiebedarfe haben können, da hier bereits grundlegende Entscheidungen getroffen werden müssen, um eine bestmögliche Ausgangslage zu gewährleisten.

Zu Beginn des Projekts lag der Fokus der Untersuchungen auf der städtebaulichen Rahmenplanung, die jedoch zum Nachteil des Projektes bereits weitgehend vorgegeben war. Idealerweise haben Maßnahmen zur optimierten Gestaltung aus energetischer Sicht bereits Einfluss auf den ersten Entwurf einer Rahmenplanung. Die Erfahrung zeigt, nicht zuletzt innerhalb des EnStadt:Pfaff-Projektes, dass bereits fortgeschrittene oder abgeschlossene Rahmenplanungen nachträglich nur selten angepasst werden. Kompromisse zwischen gestalterisch-ästhetischen Anforderungen der Stadtplanung und energetischen Zielsetzungen lassen sich im Nachhinein meist nur schwer integrieren. Dies liegt zum einen an dem bereits investierten Zeit-, Arbeits- und Kostenaufwand, zum anderen an der unterschiedlichen Gewichtung fachlicher Prioritäten durch die beteiligten Organisationen und Stakeholder innerhalb der Quartiersentwicklung.

Vor diesem Hintergrund wurden aus dem Arbeitspaket heraus Vorschläge für Änderungen bzw. Anpassungen in der städtebaulichen Rahmenplanung erarbeitet, mit dem Ziel die Energiebedarfe möglichst zu reduzieren bzw. die Energieerträge möglichst zu steigern. Hierzu gehörten unter anderem die Gebäude- und Dachflächenausrichtung, die Reduzierung von gegenseitigen Verschattungen durch eine adäquate Höhenstaffelung im Nord-Süd-Verlauf, die Vermeidung von Hochpunkten oder die Vorgabe von AV-Verhältnissen, um möglichst kompakte Baukörper mit niedrigem, spezifischen Wärmebedarf zu erhalten.

II.1.2.3.3 Bedarfsanalyse

Nach Optimierung der städtebaulichen Rahmenplanung – aus energetischer Sicht – erfolgte die Erhebung der zukünftigen Energiebedarfe im Stadtquartier. Die Basis hierfür bildete zunächst die zum städtebaulichen Rahmenplan gehörende Flächenbilanz der Stadtplaner. Im Verlauf des Projekts wurde die städtebauliche Rahmenplanung mehrmals überarbeitet, was zu einer wiederholten Anpassung der Bedarfsanalyse führte. Schließlich wurde die Rahmenplanung in eine verbindliche Bebauungsplanung überführt, was weitere Änderungen mit sich brachte. Grundlage der finalen Bedarfsanalyse bildet die Fassung des Bebauungsplanes von Mai 2020.

Für die Neubauten wurde ein Gebäudekomplex mit hohem Wohnanteil exemplarisch in der Energieberatersoftware SolarComputer simuliert, um die künftigen Wärmebedarfe bei verschiedenen Gebäudeeffizienzstandards zu erhalten. Für die Warmwasser- und Strombedarfe sowie insbesondere für die Wärmebedarfe der Bereiche Gastronomie, Gewerbe, Handel, Dienstleistung wurden davon abweichend einschlägige Kennwerte angesetzt. Hinsichtlich der anzusetzenden Kennwerte bedient sich das IfaS je nach Ausgangslage und Anwendungsfall an Datensätzen des Institut Wohnen und Umwelt (IWU), der

Deutschen Energieagentur (u. a. dena-Gebäudereports), des statistischen Bundesamtes (u. a. Zensus & Mikro-Zensus), Monitoring-Studien sowie Erfahrungswerten aus der langjährigen Projektentwicklung.

Die Wärmebedarfe der meisten Bestandsgebäude (MVZ, altes Verwaltungsgebäude, Pfaff-Pforte) wurden im Rahmen des AP 2.2.3 in einer Energieberatungssoftware simuliert und die entsprechenden Bedarfe in die Bedarfsanalyse des Energiekonzepts übernommen. Innerhalb des AP wurden Strom- und Wärmelastgänge für verschiedene Nutzergruppen simuliert und daraus ein Lastprofil für ein Mischgebiet abgeleitet. Im Ergebnis wurden die jeweiligen Bedarfe an Strom, Heizwärme, Warmwasser und Kälteenergie prognostiziert, die lediglich einen ersten Anhaltspunkt für die weiteren Untersuchungen darstellen. Die Erfahrungen sowie zahlreiche Monitoring-Studien zeigen, dass insbesondere das Nutzerverhalten sowie ungenaue Simulationen (ggf. aufgrund von unzutreffenden Annahmen und Rahmendaten) sowie die letztlich umgesetzten, baulichen Ausführungen zu starken Abweichungen zwischen den simulierten Referenzgebäuden und den späteren Realverbräuchen führen können. Es empfiehlt sich daher ausgehend von einem Soll-Szenario (100%-Szenario) weitere Bedarfs-Szenarien (z. B. 75% und 125% des prognostizierten Bedarfs) zu erstellen, da das Energiekonzept auch höhere und niedrigere Bedarfe abdecken können muss, insbesondere was die wirtschaftlichen Auswirkungen von Mehr- oder Minderbedarfen nach der Realisierung anbelangt.

Die prognostizierten Fahrzeugaufkommen im Quartier aus AP 1.1.3 (Mobilitätskonzept) dienten als Basis für die Erhebung der Strombedarfe im Verkehrssektor. Innerhalb des Konsortiums wurde abgestimmt, dass es zumindest das Ziel sein sollte bis 2029 im Pfaff-Quartier einen Anteil von 100% E-Autos zu erreichen. Das Fahrzeugaufkommen aus AP 1.1.3 wurden daher als vollständig elektrisch angesehen, mit entsprechenden Kennwerten für jährliche Kilometerleistungen bzw. Ladestrombedarfe.

II.1.2.3.4 Potenzialanalyse

Nach dem auf der Verbraucherseite die Bedarfsanalyse erstellt wurde, wurden auf der Erzeugerseite die verfügbaren Potenziale im Betrachtungsgebiet analysiert. Hierbei wurden alle am Standort sowie im direkten Umfeld verfügbaren Quellen in Betracht gezogen. Es ergaben sich folgende Potenzialquellen:

- Abwasserwärme (Hauptsammler Königstraße)
- Grundwassersanierungsanlage (Neubau der Anlage geplant)
- Solarthermie (Frei- und Dach-/Fassadenflächen)
- Photovoltaik (Frei- und Dach-/Fassadenflächen)
- Geothermie (Erdkollektoren, Retentionsbecken)
- Industrie-Abwärme (benachbarte Gießerei, Luftlinie ca. 350 m entfernt)

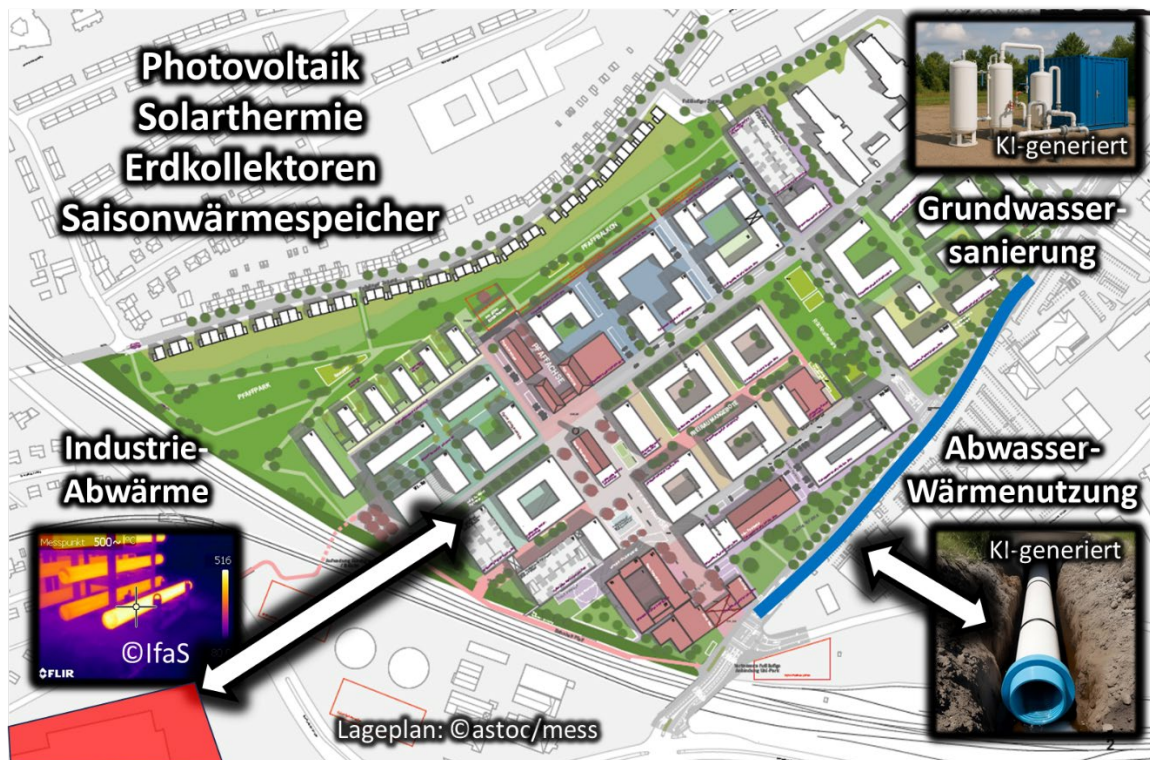


Abbildung II-1: Übersicht der verfügbaren Potenziale - © Astoc|Mess, © IfaS

II.1.2.3.5 Abwasserwärmenutzung

Die Erhebung der Potenziale im Bereich Abwasserwärmenutzung gestaltete sich zunächst als vielversprechende Option, um einen Teil des Gebietes versorgen zu können. Mit einem Trockenwetterabfluss des Abwasserkanals von ca. 70 l/s (Königstraße) und der angrenzenden Lage am Projektgebiet lagen ein ausreichendes Potenzial sowie geeignete Voraussetzungen vor, um weitere Untersuchungen durchzuführen (Deckung des Wärmebedarfs von etwa 20 bis 30% über die Abwasserwärme möglich, in Verbindung mit einem Großwärmespeicher).

Neben der vorbildlichen Kooperation der Stadtentwässerung Kaiserslautern im Zuge der Datenerhebung und Datenbereitstellung, zeigte die Stadtentwässerung zudem großes Interesse an einem Projekt im Bereich Abwasserwärmenutzung. Während der weiteren Bearbeitung ergaben sich jedoch einige Hürden. Unter anderem wurde der Hauptsammler bereits mit Inlinern saniert, zudem ist der Kanal an seiner kapazitiven Grenze angelangt, weshalb die Ingenieure der Stadtentwässerung sowie ein angefragtes Kanalbau-Unternehmen von einer Wärmenutzung über im Kanal befindliche Kollektoren bzw. Wärmetauscher abgeraten haben. Es folgten eine Marktrecherche nach geeigneter Technik, Angebotsanfragen bei Unternehmen, Absprachen und eine Anlagenkonzeption für ein sogenanntes Bypass-System. In diesem System wird das Abwasser über einen Hebeschacht an die Oberfläche befördert und

über einen Wärmetauscher geführt, (z. B. in einem Container). Nach dem Wärmeentzug wird das Abwasser wieder in das Kanalsystem zurückgeleitet.

Eine weitere Herausforderung war der Austritt der Stadtwerke Kaiserslautern aus dem Projekt, weshalb die finanzielle Situation sowie der potenzielle Anlagenbetrieb durch die SWK ungewiss waren. Von der Pfaff-Entwicklungsgesellschaft (PEG) wurde mitgeteilt, dass keine adäquate öffentliche Fläche für die Installation des externen Wärmetauschers an der Oberfläche zur Verfügung steht. Da grundlegende Fragestellungen negativ oder nicht beantwortet werden konnten, wurde die weitere Bearbeitung der Abwasserwärmenutzung ausgesetzt.

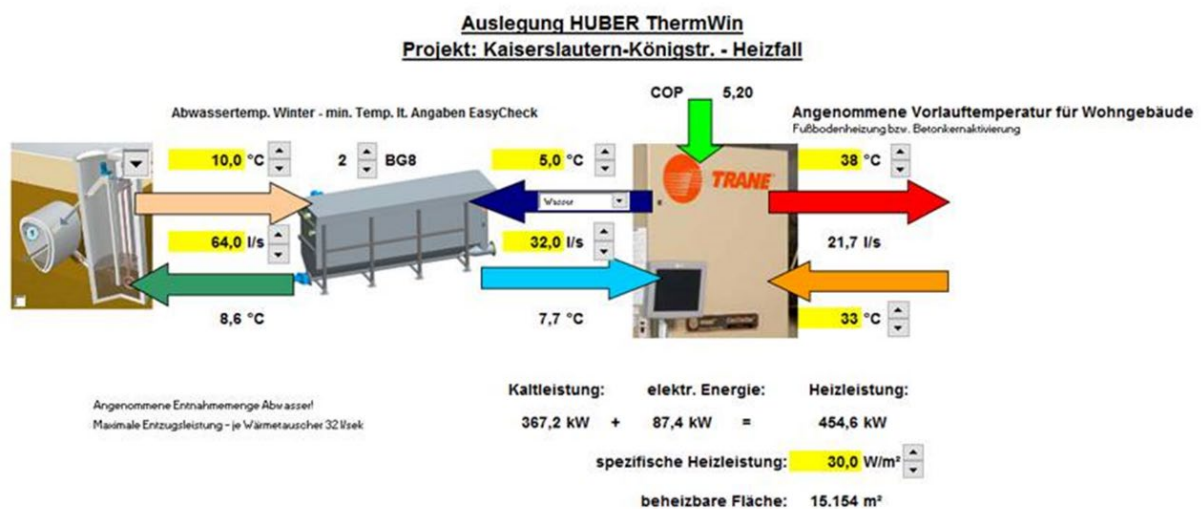


Abbildung II-2: Möglicher Anwendungsfall zur Abwasserwärmenutzung mit Hebeschacht - © HUBER SE (Anwendungsbeispiel von Huber SE für das Pfaff-Quartier)

II.1.2.3.6 Grundwassersanierungsanlage

Da während der Nutzungszeit durch die Pfaffwerke Boden und Grundwasser mit Schadstoffen kontaminiert wurden, ist seit einigen Jahren eine Grundwassersanierungsanlage in Betrieb, welche noch mindestens die nächsten 20 bis 30 Jahre weiter betrieben werden muss. Im Zuge der Grundwassersanierung werden am Standort jährlich ca. 100.000 m³ Grundwasser zutage gefördert, über einen Aktivkohlefilter geleitet und anschließend wieder versickert oder in den Kanal abgeschlagen. Die geförderte Menge an Grundwasser verspricht auf den ersten Blick ein hohes Wärmepotenzial, welches jedoch lediglich eine Wärmepumpenheizleistung von ca. 50 bis 60 kW aufweist. Unter Berücksichtigung, dass die derzeit geförderten 100.000 m³ über das ganze Jahr hinweg anfallen, die Volllaststunden einer Wärmepumpe jedoch bei ca. 1.800 Stunden pro Jahr liegen, verringert sich die im Winter zu Heizzwecken genutzte Grundwassermenge auf ca. 20.000 m³/a, was einer geschätzten Versorgungskapazität von ca. fünf

typischen Einfamilienhäusern entspricht. Zum Vergleich: ein modernes Einfamilienhaus mit Grundwasserwärmepumpe (10 kW) benötigt pro Heizperiode eine Menge von ca. 3.000 bis 4.000 m³ Grundwasser.

Die Grundwassersanierungsanlage hätte demnach bestenfalls einen kleinen Teil zur Wärmeversorgung des Pfaff-Quartiers leisten können (ca. 2% des Heizwärmebedarfs im Quartier). Jedoch ergaben sich auch hier einige Hürden und Herausforderungen. Zunächst ist bei Grundwassersanierungsanlagen, die zu Heizzwecken genutzt werden sicherzustellen, dass diese winterfest sind. Viele Anlagen werden im Winter abgeschaltet, da die Filter ansonsten beheizt werden oder in einer beheizten Halle stehen müssen. Im Zuge des Neubaus der Anlage war von Seiten der PEG eine winterfeste Anlage eine Option, eine Zusicherung hierzu konnte zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht geleistet werden. Neben der Filteranlage selbst stellen die Förderbrunnen einen weiteren wichtigen Punkt dar. Diese können sich mit Schlamm zusetzen (Verockerung), sodass weitaus weniger Wasser gefördert werden kann, als im Heizfall benötigt wird. Auch ein Trockenlaufen der Brunnen ist möglich, beispielsweise wenn sich eine Veränderung im Grundwasserleiter ergibt oder der Grundwasserpegel sehr niedrig ist. Aufgrund des geringen Potenzials, sowie den zahlreichen Ungewissheiten, der Tatsache, dass sich das geförderte Grundwasser allenfalls zur dezentralen Versorgung eines Gebäudes in der Nähe der Sanierungsanlage eignen könnte, wurde das Thema insgesamt nicht weiter vertiefend betrachtet.

II.1.2.3.7 Geothermie

Da das Gelände zum Teil stark kontaminiert und zudem die Grundwassersanierungsanlage in Betrieb ist, wurde von Seiten der Oberen Wasserbehörde (Genehmigungsdirektion Süd - SDG Süd) die geothermische Nutzung mit Erdsonden mehr oder weniger ausgeschlossen. Es wären umfangreiche Analysen und Messungen erforderlich gewesen, um zu beweisen, dass die Erdsonden keinen Einfluss auf den Grundwasserleiter bzw. den Grundwasserfluss haben, welcher die Grundwassersanierung beeinträchtigen könnte. Darüber hinaus könnte auch das Durchdringen des Erdreichs mit den Bohrgräten und Erdsonden eine zusätzliche Kontamination des Grundwassers verursachen. Da derartige Voruntersuchungen mit hohen Kosten und Risiken verbunden sind, wurde die geothermische Nutzung mit Erdsonden ausgeschlossen.

Als Alternativen boten sich Erdkollektoren, welche oberflächennah im Pfaff-Park hätten verlegt werden können, sowie ein großes Retentionsbecken, dessen energetische Nutzbarmachung ebenfalls untersucht wurde.

Die im Grünflächenpark am Gelände verfügbare Fläche an Erdkollektoren hätte prinzipiell einen kleinen Teil zur Wärmeversorgung beitragen können, jedoch ist aufgrund der Größenordnung und der hohen

Heizlast eine Regeneration des Erdreichs durch solarthermische Anlagen erforderlich, um langfristig eine Vereisung des Erdreichs bzw. der Erdkollektoren zu vermeiden. Der Bau von solarthermischen Freiflächenanlagen im Quartier ist aufgrund des stark begrenzten Raumangebotes und den Anforderungen der Stadtplaner an die optische Gestaltung nicht großflächig möglich. Die Nutzung von Dachflächen für die Wärmeversorgung sollte zugunsten der Stromerzeugung (Photovoltaik) möglichst vermieden werden. Aufgrund des geringen Potenzials sowie der angesprochenen Hürden, wurde der Einsatz von Erdkollektoren demnach ebenfalls als nicht zielführend angesehen.

Eine weitere Möglichkeit der geothermischen Nutzung bot sich durch die aktive Nutzung des Retentionsbeckens. Mit einem Volumen von mehreren Hundert Kubikmetern bietet das Retentionsbecken reichlich Potenzial, um dem enthaltenen Wasser Wärme zu entziehen. Im Rahmen der ersten Detailgespräche hat sich jedoch herausgestellt, dass das Becken lediglich bei Starkregenereignissen gefüllt ist, ansonsten jedoch nur schwach durchströmt wird, sodass eine thermische Nutzung nicht relevant ist. Ebenfalls geprüft wurde die Idee, das Retentionsbecken über eine Bauteilaktivierung (Betonkernaktivierung) thermisch zu nutzen. Eine genauere Untersuchung war zu diesem Zeitpunkt aufgrund fehlender Informationen zur Bauausführung und Statik nicht möglich.

II.1.2.3.8 Solarenergie im Stadtgebiet

Wie bereits beschrieben fallen die verfügbaren Potenzialflächen im Stadtquartier sehr gering aus, insbesondere da die Dachflächen einer hohen Flächenkonkurrenz zwischen Solarenergie, Regenwasserretention und weiteren städtebaulichen Faktoren (Dachterrassen, Dachgärten etc.) unterliegen. Im Laufe des Projektes wurde von Seiten der Stadtentwässerung akuter Bedarf an Retentionsflächen im Quartier bekundet, um die Entwässerung des Gebietes, insbesondere im Falle von Starkregenereignissen, gewährleisten zu können. Diesbezüglich fanden zahlreiche Workshops statt, mit dem Ergebnis, dass eine Solar-Gründachpflicht in die Festsetzungen zur Bebauungsplanung aufgenommen wurde. Gleichzeitig bedeutet die Verpflichtung zu Solar-Gründächern solarenergetische Einbußen von etwa 30% der maximal möglichen PV-Erträge im Falle von ost-west ausgerichteten Solardächern (siehe Simulationen aus AP 2.2.1). Dies begründet sich dadurch, dass bei Gründächern ein höherer Abstand zwischen den Modulen erforderlich ist, sowie eine Aufständigung der Module, was zu entsprechenden Flächeneinbußen für die Solarenergie führt. Innerhalb des Konsortiums wurde im Rahmen eines Konsortialtreffens abgestimmt, die noch verbliebenen Dachflächen möglichst für die Stromerzeugung zu nutzen. Mit der verabschiedeten Solarsatzung bzw. Solar-Gründachpflicht (siehe AP 2.2.1) wurde ein Grundstein gelegt, um die Potenziale an Solarenergienutzung im Quartier unter den gegebenen Rahmenbedingungen möglichst auszuschöpfen.

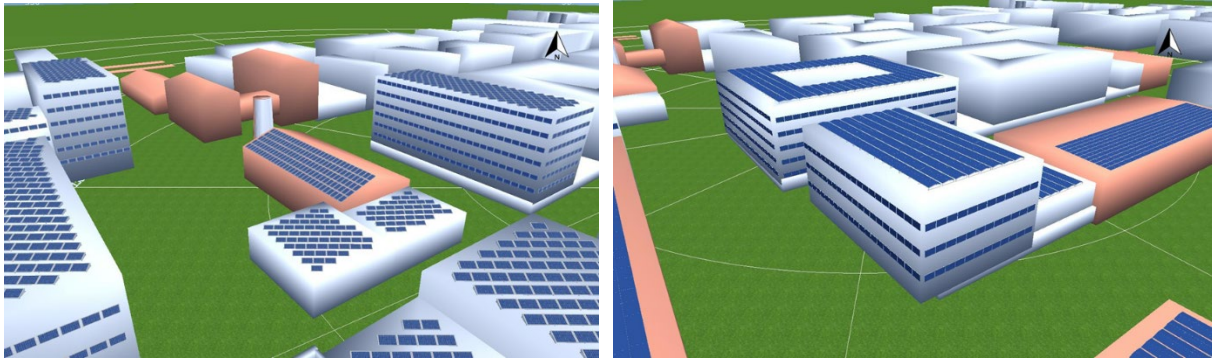


Abbildung II-3: PV-Simulationen aus AP 2.2.1 als Grundlage für die PV-Potenzialanalysen - © IfaS

II.1.2.3.9 Industrie-Abwärme

Nachdem alle Potenzialquellen innerhalb des Quartiers analysiert waren, wurde das nähere Umfeld in die Untersuchungen mit einbezogen. Im Sommer 2018 erfolgte durch das IfaS diesbezüglich eine erste Kontaktaufnahme zur benachbarten Gießerei AcoGuss. Nach einigen vielversprechenden Ortsterminen zur Datenerhebung und Besichtigungen, zeigte sich anhand älterer Messdaten, dass bilanziell gesehen ausreichend Abwärme vorhanden ist, um das gesamte Quartier mit Wärme zu versorgen. Um eine belastbare Grundlage für die weiteren Berechnungen zu erhalten, führte das IfaS im Dezember 2018 Messungen an den Schmelzöfen durch, um neben Temperaturniveaus und Volumenströmen auch die Lastgänge zu erfassen. Der Wärmespeicher wurde von IfaS als wichtiger Baustein erachtet, da die Prozesse bei AcoGuss im Batchverfahren ablaufen und die Abwärme somit nicht kontinuierlich zur Verfügung steht. Zudem findet jährlich im Dezember eine zweiwöchige Revision statt, weshalb auch hier keine Wärmelieferung stattfindet bzw. die Stillstandszeiten der Schmelzöfen überbrückt werden müssen (durch entsprechend großer Wärmespeicher oder alternative Systeme). In weiteren Gesprächen wurde von AcoGuss signalisiert, weitere Abwärmequellen, wie die Stranggussanlage oder die Sandkühlung, in das Abwärmekonzept zu integrieren, um den Abwärme-Anteil an der Wärmeversorgung weiter auszubauen und nahezu den gesamten Wärmebedarf des Quartiers zu decken.

Parallel zur technischen Ausgestaltung wurde von IfaS eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt. Als Richtwert für den Endkundenpreis im Quartier wurde auf Basis eines Stadtratsbeschlusses der aktuelle Fernwärmepreis der Stadtwerke Kaiserslautern festgelegt, da die Wärmeversorgung zwar möglichst regenerativ, aber dennoch bezahlbar bleiben sollte.

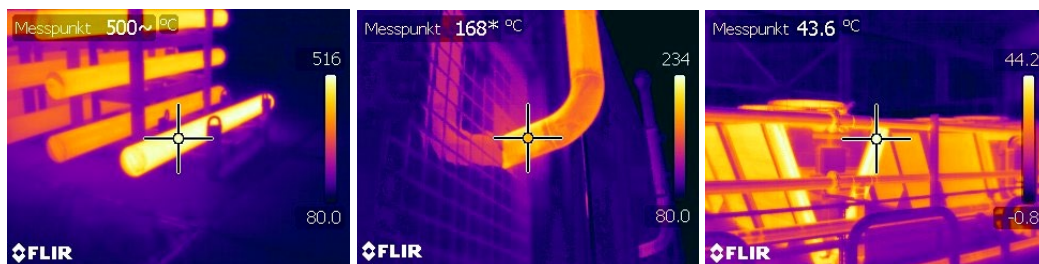


Abbildung II-4: Infrarot-Bilder der Werksbegehung - © IfaS

II.1.2.3.10 Variantenuntersuchung

Im Rahmen der Variantenuntersuchung wurde für alle verfügbaren Optionen im Quartier eine umfassende ökonomische und ökologische Vergleichsrechnung durchgeführt. Die ökonomische Bewertung basiert auf einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für gebäudetechnische Anlagen nach VDI-Richtlinie 2067. Hierbei wurden die Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten berechnet, die zusammen die Jahresgesamtkosten ergeben. Die Kapitalkosten umfassen alle notwendigen Investitionen in die Anlagentechnik und baulichen Maßnahmen, einschließlich der entsprechenden Kosten für Lieferung und Montage. Die Verbrauchskosten beinhalten alle laufenden Kosten für den Betrieb der Anlagentechnik, wie z. B. Strom- oder Brennstoffverbräuche sowie die erforderliche Hilfsenergie (z. B. Stromverbrauch von Pumpeinrichtungen oder Stellantrieben). Die Betriebskosten umfassen alle laufenden Kosten für die Wartung und Instandhaltung der Anlagentechnik sowie notwendiger Bauwerke (z. B. Betriebsgebäude). Zusätzlich werden unter den Betriebskosten auch die Kosten für die Verwaltung der Anlagen (z. B. Rohstoffbeschaffung oder Vergabe von Reparaturaufträgen) sowie notwendige Versicherungen berücksichtigt. Aus den Jahresgesamtkosten wurden zudem Wärmepreise für die einzelnen Varianten errechnet, die als Vergleichskriterium genutzt werden können. Alle wirtschaftlichen Analysen beinhalten eine Betrachtung über die nächsten 20 Jahre, bei der auch Preissteigerungen für verschiedene Energieträger sowie Inflationen berücksichtigt werden. Für die ökologische Bewertung wurde die Berechnung der Primärenergiebedarfe sowie der CO₂-Emissionen im Rahmen der THG-Bilanzierung durchgeführt (siehe Abschnitt II.1.2.6 Treibhausgasbilanz des Pfaff-Quartiers).

II.1.2.4 Forschungsergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsfelder aufgezeigt, sowie abschließend ein Fazit zum Gesamtergebnis.

II.1.2.4.1 Bedarfsanalyse

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Bedarfsanalyse aufgezeigt. Wie zu erkennen ist, liegt der Flächenanteil der Bestandsgebäude lediglich bei ca. 13%, wohingegen der

Heizwärmebedarf, aufgrund der höheren spezifischen Heizlasten der Bestandsgebäude, bei etwa 37% (ca. 2 Mio. kWh/a) liegt. Auf die Neubauten entfallen etwa 63% (ca. 3,4 Mio. kWh/a) des Heizwärmebedarfs. Beim Strombedarf entfallen rund 20% auf die Bestandsgebäude (ca. 1,2 Mio. kWh/a) und 80% auf die Neubauten (ca. 5,5 Mio. kWh/a).

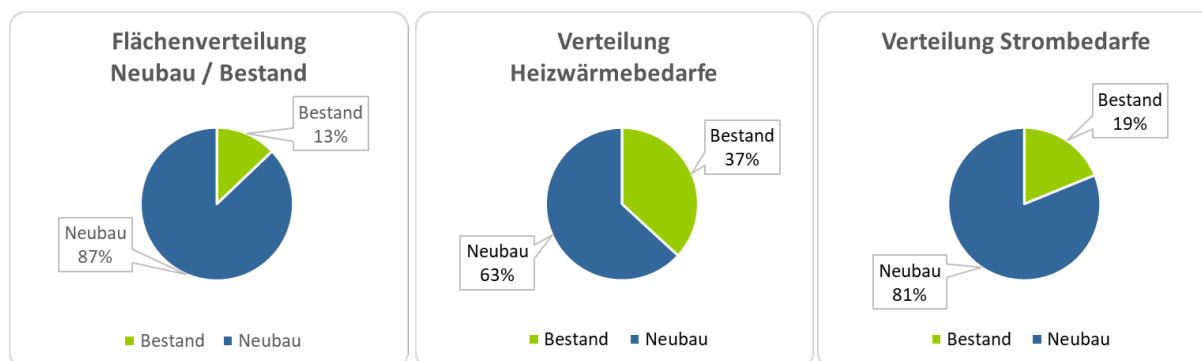


Abbildung II-5: Flächenverteilung und Energiebedarf nach Baualter - © IfaS

Die nachstehende Abbildung zeigt die Flächenverteilung und den Energiebedarf nach den Nutzungsarten im Pfaff-Quartier. Die größte Fläche entfällt mit 66 % auf den Bereich „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) & sonstige“. Der Bereich Wohnen nimmt 19 % der Gesamtfläche ein, während 15 % auf Parkflächen entfallen. Trotz des geringen Flächenanteils verursacht der Bereich Wohnen 19 % des gesamten Heizwärmebedarfs. Den deutlich größeren Anteil stellt der Bereich GHD & sonstige mit 81 % dar. Parkflächen verursachen in diesem Zusammenhang keinen Heizwärmebedarf. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Strombedarf: 83 % entfallen auf den Bereich GHD & sonstige, während der Wohnbereich einen Anteil von 15 % aufweist. Der Strombedarf der Parkflächen ist mit ca. 2 % vernachlässigbar.

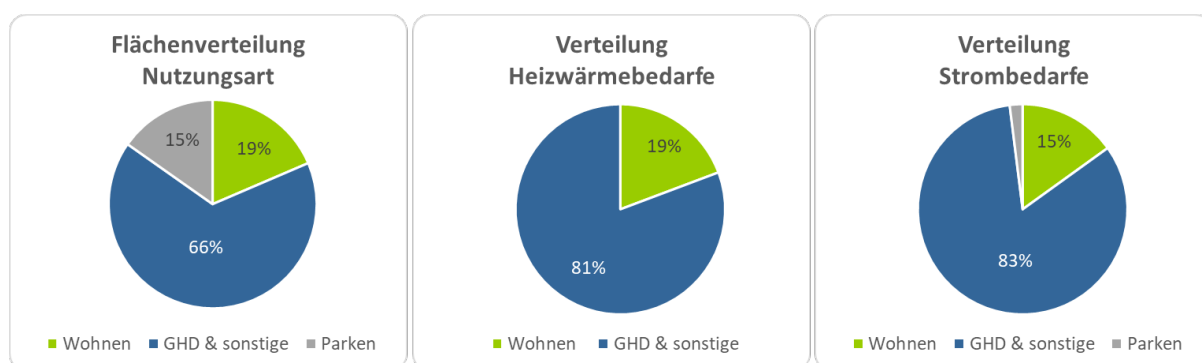


Abbildung II-6: Flächenverteilung und Energiebedarf nach Nutzungsart - © IfaS

Wie der folgenden Tabelle zu entnehmen ist, liegt der Heizwärmebedarf für alle Gebäude (Neubau und Bestand) bei ca. 5.300 MWh/a, der Warmwasserbedarf bei ca. 1.300 MWh/a. Der Anteil des Warmwassers am Gesamtwärmebedarf ist im Vergleich zu anderen Neubauquartieren niedrig, was sich durch den geringen Wohnanteil bzw. den hohen Anteil an Büro- und Dienstleistungsflächen im Quartier begründet. Die Heizlast zur Beheizung im Quartier beläuft sich auf etwa 3,5 MW. Der Strombedarf für alle

Gebäude im Quartier liegt bei rund 6.600 MWh/a und stellt damit den höchsten Bedarf dar. Die Elektromobilität mit einem angenommenen Anteil von 100 % im Quartier verursacht einen Strombedarf von ca. 3.300 MWh/a. Für die Kühlenergie wurde des Weiteren ein Nutzenergiebedarf von ca. 2.000 MWh/a ermittelt. Zusätzlich ist ein Stromverbrauch von rund 442 MWh/a für Kühlung verzeichnet.

Tabelle II-2: Übersicht Nutzenergiebedarfe – © IfaS

Nutzenergiebedarfe					
Heizwärme	Warmwasser	Strom	Kühlenergie		Elektromobilität (100% Anteil)
(Gebäude / Nutzung)	(Gebäude / Nutzung)	(Gebäude / Nutzung)	Nutzenergie	Strom	Strom
5.343 MWh/a	1.319 MWh/a	6.574 MWh/a	1.985 MWh/a	442 MWh/a	3.248 MWh/a

II.1.2.4.2 Potenzialanalysen

Nach dem auf der Verbraucherseite die Bedarfsanalyse erstellt wurde, erfolgte auf der Erzeugerseite die Analyse der verfügbaren Potenziale im Betrachtungsgebiet. Hierbei wurden alle am Standort sowie im direkten Umfeld verfügbaren Quellen in Betracht gezogen. Die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

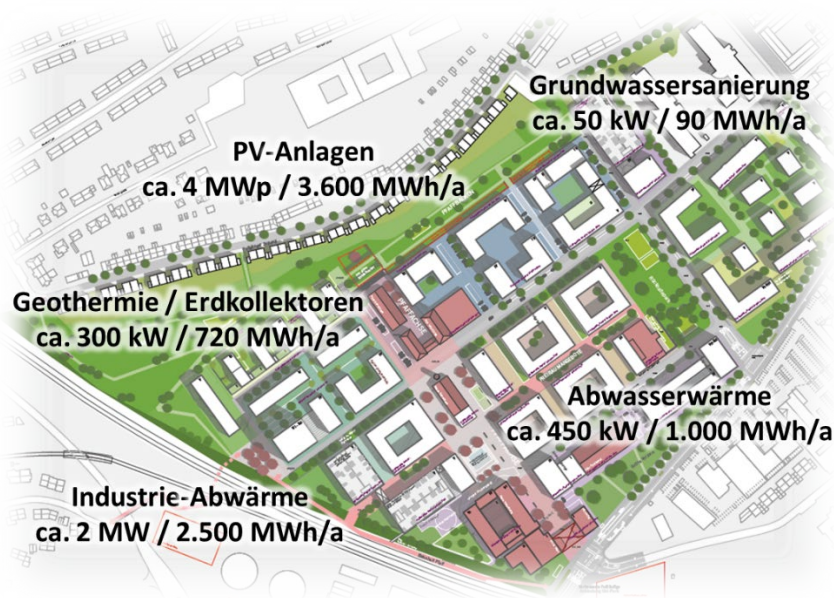


Abbildung II-7: Übersicht Potenziale im Pfaff-Quartier - © Astoc|Mess, © IfaS

Aufgrund der beschriebenen Altlastenproblematik (inkl. Grundwassersanierung), beschränkten sich die geothermischen Untersuchungen auf Flächenkollektoren im Pfaff-Park (im Nordwesten des Geländes). Hieraus ergab sich, bei einer spezifischen Entzugsleistung von 25 Watt/m², eine Kollektor-

Entzugsleistung von etwa 300 kW bzw. eine Wärmepumpenleistung von etwa 400 kW. Die daraus generierbaren Wärmemengen belaufen sich auf etwa 720 MWh/a, was etwa 13,4 % des Heizwärmebedarfs im Quartier entspricht.

Die Untersuchungen zur Industrie-Abwärme ergaben eine mögliche Wärmeauskopplung aus dem Schmelzprozess von etwa 2 Megawatt. Aufgrund des chargenweisen Schmelzbetriebes und den Stillstandszeiten am Wochenende, ergab sich eine nutzbare Wärmemenge von etwa 2.500 MWh/a (ca. 47% des Gesamtwärmebedarfs), wobei ein Wärmespeicher zur (teilweisen) Überbrückung der Stillstandszeiten vorausgesetzt wurde.

II.1.2.4.2.1 Photovoltaik

Entsprechend der zuvor beschriebenen Methodik wurden alle im Quartier sowie dem Umfeld verfügbaren Potenziale ermittelt. Die PV-Potenziale wurden in AP 2.1.1. (Maximierung solarer Flächen) auf Basis verschiedener Software-Simulationen berechnet. Im Zuge der Planungen wurde seitens der Stadtentwässerung Kaiserslautern die Begrünung aller Dachflächen gefordert, um eine ortsnahe Regenwasserversickerung sicherzustellen. Die abgeleiteten PV-Szenarien berücksichtigten aus diesem Grund ausschließlich Gründächer mit kombinierter PV-Nutzung. Im favorisierten Szenario ergibt sich ein Jahresertrag von ca. 3.600 MWh/a, was etwa 50 % des prognostizierten Strombedarfs im Quartier entspricht (ohne Berücksichtigung von Elektromobilität)

II.1.2.4.2.2 Grundwassersanierungsanlage

Auf dem Pfaff-Areal befindet sich eine Grundwassersanierungsanlage, deren Abwärme mit Hilfe einer Wärmepumpe, Wärmeleistung ca. 50 kW_{th}, genutzt werden könnte. Das Energiepotenzial wäre im Verhältnis zum Gesamtenergiebedarf im Quartier gering und daher lediglich als dezentrale Lösung für einen Gebäudekomplex sinnvoll nutzbar (Show Case). Zudem bestanden einige Unwägbarkeiten, welche zum Zeitpunkt der Konzepterstellung nicht abschließend geklärt werden konnten (siehe Methodik Grundwassersanierungsanlage). Da zum Zeitpunkt der Konzepterstellung noch viele Fragen offen waren (insbesondere hinsichtlich des Standorts und der Wintertauglichkeit), wurde das Potenzial der Grundwassersanierungsanlage nicht weiterverfolgt wurde, sondern lediglich als perspektivische Option dokumentiert.

II.1.2.4.2.3 Abwasserwärme

Im Bereich der Abwasserwärmenutzung ergab sich ein technisch und wirtschaftlich nutzbares Potenzial mit einer Wärmepumpenleistung von etwa 450 kW_{th} (ca. 1.000 MWh/a). Dieses Potenzial entspricht etwa 20% des Heizwärmebedarfs im Quartier. In Verbindung mit einem Großwärmespeicher hätten bis

zu 40% des Heizwärmebedarfs mit der Abwasserwärme gedeckt werden können. Letztlich scheiterte die Nutzbarmachung des Potenzials an geeigneten Flächen entlang der Königstraße, wo ein oberirdischer Wärmetauscher mit kleiner Heizzentrale (für die Wärmepumpe) erforderlich gewesen wäre.

II.1.2.4.2.4 Industrielle Abwärme

Die Schmelzöfen der Gießerei werden im Batchbetrieb geführt (chargenweise Befüllung und Entleerung) und ausschließlich werktags betrieben, sodass keine kontinuierliche Abwärmequelle zur Verfügung steht. Zudem findet jährlich im Dezember eine zweiwöchige Revision der Schmelzöfen statt, was eine entsprechend große Zwischenspeicherung der Wärme oder eine alternative Heizquelle erfordert. Im Dezember 2018 wurde durch IfaS eine zweiwöchige Messung durchgeführt, um belastbare Daten bezüglich einer möglichen Wärmeauskopplung aus dem Schmelzprozess zu sammeln. Aufgrund einer Havarie an einem der Schmelzkessel musste die Messung abgebrochen werden. Es zeigte sich dennoch, dass in Verbindung mit einem Großwärmespeicher (ca. 5.000 m³) ausreichend Wärme zwischengespeichert werden kann, um das Pfaff-Quartier zu etwa 30 bis 40% mit der Industrie-Abwärme versorgen zu können.

Parallel wurden zusammen mit den Stadtwerken Kaiserslautern und einem Rohrbau-Unternehmen erste Leitungsführungen untersucht, mit dem Ziel die Industrieabwärme möglichst kostengünstig in das Pfaff-Quartier leiten zu können. In diesem Zuge wurden bereits erste Gespräche mit der Deutschen Bahn (DB-Netze und DB-Immobilien) sowie dem Straßen- und Tiefbauamt geführt, da zwischen der Gießerei und dem Pfaff-Quartier eine stark befahrene Bahnlinie sowie eine der Hauptverkehrsachsen in Kaiserslautern verläuft.

Die Voruntersuchungen zeigten, dass die Nutzung der Industrieabwärme technisch grundsätzlich realisierbar war, der wirtschaftliche Aufwand, insbesondere aufgrund der erforderlichen Wärmeübertragung über Verkehrsachsen und Bahnlinien, jedoch unverhältnismäßig hoch war. In Verbindung mit einem Großwärmespeicher hätte sie bis zu 40% des Wärmebedarfs decken können.

II.1.2.4.3 Variantenuntersuchung

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Konzeptionierung einer Wärmeversorgungsvariante, mit der sich das Ziel der Klimaneutralität möglichst kostengünstig und zuverlässig erreichen lässt. Auf Basis der zuvor beschriebenen Sachverhalte wurden folgende sechs Hauptvarianten untersucht, teilweise mit mehreren Untervarianten:

- Variante 1: Fernwärme (Referenzvariante, nicht klimaneutral)
- Variante 2: Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Solarthermie

- Variante 3: Abwasserwärme, Solarthermie, Saisonwärmespeicher
- Variante 4: Industrie-Abwärme
- Variante 5: Solarthermie, Abwasserwärme, Großwärmespeicher, Fernwärme (Redundanz)
- Variante 6: Kalte Nahwärme (gespeist aus Abwasserwärme und Rücklauf Fernwärme)

Wie zuvor erläutert, konnte keine Quelle ermittelt werden, welche alleinig eine Versorgung des Quartiers sicherstellen konnte. Lediglich die Nutzung aller Potenziale zusammen und in Verbindung mit mehreren Wärmespeichern für die verschiedenen Quellen hätten in Summe annähernd den Gesamtwärmebedarf im Quartier decken können. Daher wurde überschlägig eine kombinierte Variante aus allen verfügbaren Potenzialquellen untersucht (Abwasserwärme, Solarthermie, Grundwassersanierung, Industrie-Abwärme, Saisonwärmespeicher), welche aufgrund der hohen Investitionen (mehr als 15 Mio. Euro), den hohen technischen Anforderungen bei Einbindung fünf verschiedener Wärmequellen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus und den fehlenden Technik-Flächen im Quartier nicht weiter im Detail betrachtet wurde. Da die Potenziale an verschiedenen Stellen im Quartier anfallen und nicht zentral in einer Heizzentrale verknüpft werden konnten, fehlte es zudem an geeigneten Flächen für die einzelnen Anlagenteile.

Die zugrunde liegenden Annahmen und Berechnungen wurden im März 2019 abgeschlossen und berücksichtigen daher keine zwischenzeitlichen Entwicklungen wie die Auswirkungen der Corona-Pandemie, aktuelle geopolitische Spannungen, die damit verbundenen Energiepreissteigerungen, die hohe Inflation sowie den deutlichen Anstieg der Fremdkapitalzinsen. Es ist davon auszugehen, dass sich die Gesamtkosten (Bau und Betrieb) auf Basis heutiger Rahmenbedingungen um mindestens ca. 50% erhöhen würden. So hat sich beispielsweise der Fernwärmepreis von 6,6 Cent/kWh netto im Jahr 2019 auf 12,04 Cent/kWh netto im Jahr 2024 nahezu verdoppelt.

Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

Tabelle II-3: Rahmendaten zur Berechnung (Stand März 2019) – © IfaS

Parameter	Wert	Bezug
Fremdkapital-Zinssatz	2,5%	Kapitalkosten, Annuitätenfaktor
Inflation	1,4%	Betriebskosten/sonstige Kosten
Bezugspreis Strom (netto)	24 Cent/kWh	Verbrauchsdaten
Preissteigerung Strom	2%	Verbrauchsdaten (im Mittel 20 Jahre)
Bezugspreis Fernwärme (netto)	6,6 Cent/kWh	Verbrauchsdaten
Preissteigerung Fernwärme	2%	Verbrauchsdaten (im Mittel 20 Jahre)
Bezugspreis Industrie-Abwärme (netto)	1,5 Cent/kWh	Verbrauchsdaten

Im Rahmen des End-Szenarios, das den Vollausbau im Jahr 2029 mit den entsprechenden Preissteigerungen berücksichtigt, werden die jährlichen Kosten dargestellt. Zunächst werden den Investitionen die Jahresgesamtkosten (bestehend aus Kapital-, Verbrauchs-, und Betriebskosten) gegenübergestellt, um einen Vergleich zwischen den erforderlichen Investitionen und den langfristigen Auswirkungen auf die Kostenstruktur zu ermöglichen.

Wie in Abbildung II-8 zu erkennen ist, liegen die Investitionen für die Fernwärme am niedrigsten, was sich insbesondere durch die von den Stadtwerken gewünschte Berechnungsmethodik erklärt (linke Achse in blau). Während in den übrigen Varianten jeweils ein eigenes Nahwärmenetz inkl. den Wärmeerzeugern einberechnet wurden, werden in Variante 1 als Investitionen lediglich die Baukostenzuschüsse für die 46 Gebäudekomplexe angesetzt (ca. 710.000 €), basierend auf den in der Bedarfsanalyse prognostizierten Heizlasten. Die daraus resultierenden Kapitalkosten (in Form einer jährlichen Annuität), addiert mit den prognostizierten jährlichen Verbrauchskosten (Arbeitspreis der Fernwärme multipliziert mit dem geschätzten Wärmebedarf) sowie den jährlichen Fixkosten (Grund- bzw. Leistungspreis), ergeben die Jahresgesamtkosten von etwa 830.000 €/a (rechte Achse in grün).

Die höchsten Investitionen weisen die Varianten 3 und 5 auf, was sich insbesondere durch die hohen Kosten für Solarthermie und die Großwärmespeicher / Saisonwärmespeicher (SWS) begründet. Eine im Vergleich günstige Variante, was sowohl die Investitionen als auch die Jahresgesamtkosten betrifft, stellte Variante 3 (Industrie-Abwärme) dar, da lediglich eine Hauptleitung zwischen der Gießerei und dem Quartier (je nach Leitungsführung ca. 600 bis 800 m), das Wärmenetz auf dem Gelände (ca. 1.500 m) sowie eine Fernwärme-Übergabestation als Redundanz erforderlich ist.

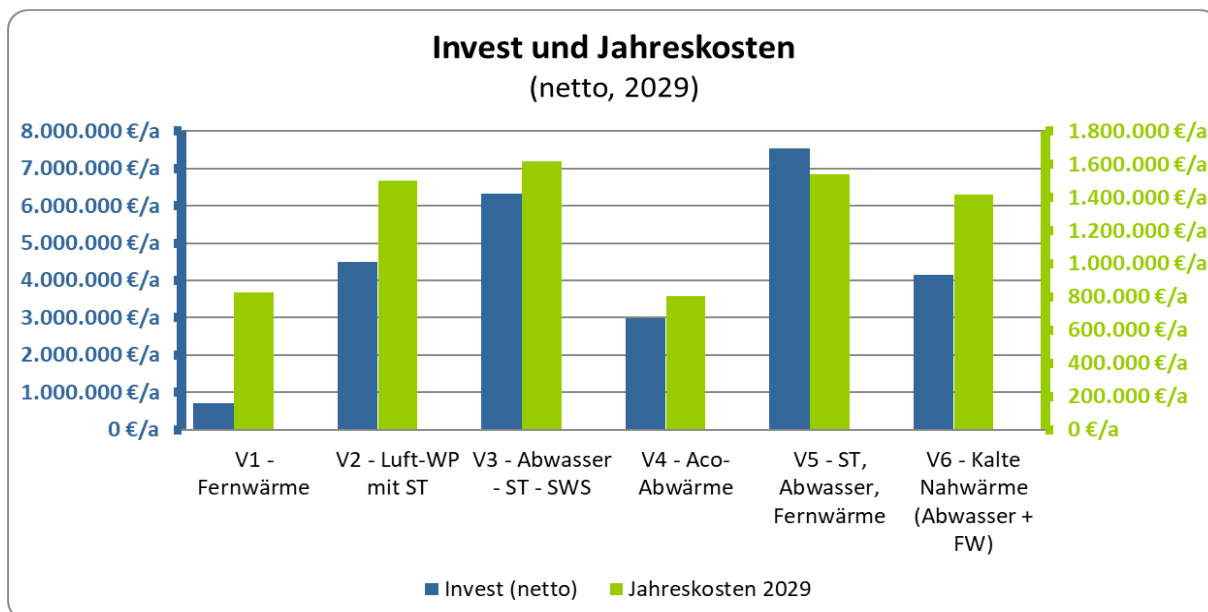


Abbildung II-8: Investitionen und Jahreskosten - © IfaS

Bei Betrachtung der aufgeteilten Jahreskosten (vgl. nachstehende Abbildung) zeigt sich, dass insbesondere die Varianten 4 und 5 die niedrigsten Verbrauchskosten aufweisen (grün), was sich durch die hohe Effizienz der Wärmepumpen begründet, denn in beiden Varianten heben Wärmepumpen die Abwärme aus Industrie bzw. Abwasser auf die erforderliche Temperatur bzw. gleichen Mindermengen aus.

Mit Ausnahme der Varianten 1 und 4 liegen die Jahresgesamtkosten aller untersuchten Varianten mit Nahwärmenetz und separater Heizzentrale zwischen 1,4 und 1,6 Mio. Euro. Bezogen auf eine beheizte Gesamtfläche im Quartier von ca. 150.000 m² entsprechen diese Kosten einem jährlichen Aufwand von etwa 1.000 bis 1.100 Euro pro 100 m² beheizter Fläche.

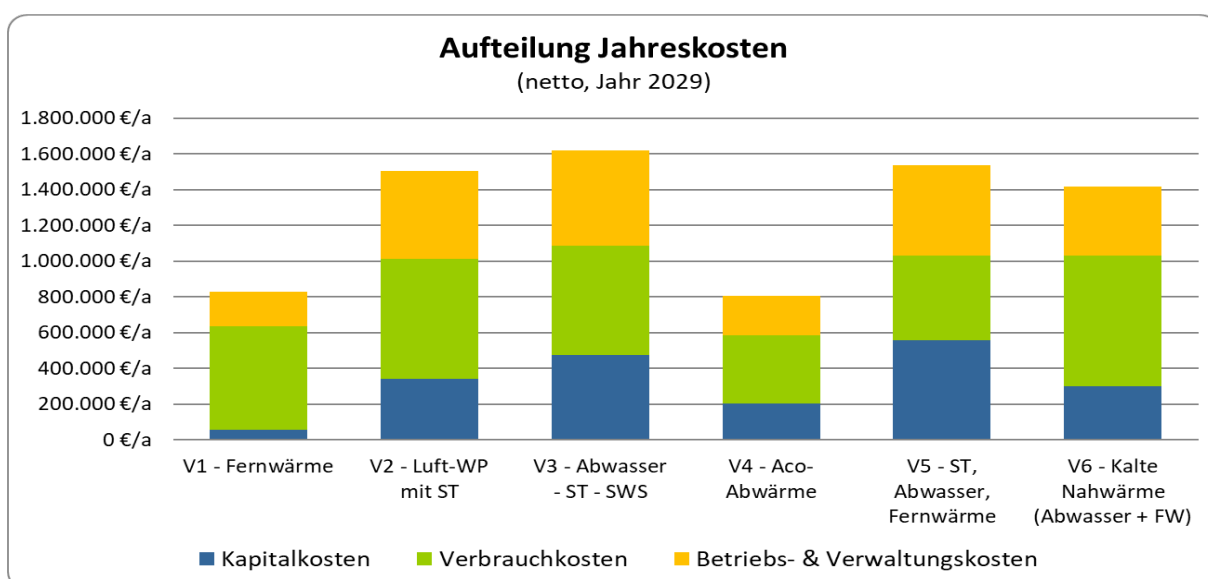


Abbildung II-9: Aufteilung der Jahreskosten - © IfaS

Nach Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und Berechnung der Varianten wurde die Realisierbarkeit der einzelnen Varianten zusammen mit den verschiedenen städtischen Referaten untersucht. Es zeigte sich schnell, dass sich ein Saisonwärmespeicher innerhalb des Quartiers aufgrund der begrenzten Flächen nur schwer realisieren lässt. Auch für die Integration mehrerer kleinerer Speicher war die Rahmenplanung zu weit fortgeschritten, sodass größere Umstellungen nicht mehr möglich waren, zudem gestalteten sich mehrere kleinere Speicher als weitaus teurer in der Herstellung als ein Großspeicher.

Hinsichtlich der solarthermischen Anlagen wurde innerhalb des Konsortiums entschieden, die Gründächer vorrangig für die Stromerzeugung zu nutzen. Die wenigen Grün- bzw. Freiflächen im Quartier (z. B. im Pfaff-Park), wurden vom Stadtplanungsamt aus Gründen der Ästhetik nicht für Solaranlagen freigegeben.

Wie bereits erläutert, gestaltete sich die Nutzung der Abwasserwärme herausfordernd. Zum einen ist der Kanal in der angrenzenden Königstraße bereits an seiner Kapazitätsgrenze angelangt, sodass eine weitere Querschnittsverengung durch im Kanal befindliche Wärmetauscher ausgeschlossen werden mussten. Eine Lösung für dieses Problem bot sich durch ein Bypass-System mit Hebeanlage und einem Wärmetauscher mit kleiner Heizzentrale (Wärmepumpe) an der Oberfläche. Für die erforderliche Technik (in der Größe von ein bis zwei kleinen Seecontainern) konnten nach Abstimmung mit der PFAFF-Areal-Entwicklungsgesellschaft (PEG) jedoch keine geeigneten Flächen in unmittelbarer Nähe zum Kanal ermittelt werden, sodass auch die Abwasserwärmenutzung ausgeschlossen werden musste.

Bei den Voruntersuchungen zur Nutzung der Industrie-Abwärme zeigte sich, dass der Wärmebedarf des Quartiers in Kombination mit einem Großwärmespeicher 30% bis 40% durch Abwärme aus den Schmelzöfen gedeckt werden könnte. Es zeichnete sich bereits ab, dass eine Wärmeversorgung mit der Industrie-Abwärme technisch grundsätzlich möglich gewesen wäre, der finanzielle Aufwand (Nutzbarmachung der Abwärme, Speicherung der Abwärme, Leitungsführung ins Pfaff-Quartier über eine Hauptverkehrsachse der Stadt) jedoch unverhältnismäßig hoch war – insbesondere in Anbetracht dessen, dass etwa nur ein Drittel des Gesamtwärmebedarfs auf diese Weise abgedeckt worden wäre. Auf Basis des Quartiersenergiekonzeptes wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt, unter Leitung des Fraunhofer ISE, in Zusammenarbeit mit der Famis GmbH und mit Unterstützung durch IfaS. In dieser Studie konnten sämtliche kritischen Fragestellungen in Bezug auf die Realisierung der Niedertemperatur-Wärmeversorgung im Pfaff-Quartier, unter Nutzung der Abwärme von AcoGuss, positiv geklärt werden. Infolgedessen wurde dem Stadtrat empfohlen, die Wärmeversorgung des Quartiers auf Basis der Industrieabwärme umzusetzen.

Auf dieser Grundlage wurde von IfaS ein Betreiberkonzept ohne Beteiligung der Stadtwerke entwickelt, das den gewerblichen Betrieb der Nahwärmeversorgung durch die Stadt betrachtet, unter

Berücksichtigung eines phasenweisen Quartiersausbaus über 10 Jahre hinweg. Innerhalb des Konzepts wurde berücksichtigt, dass die Investitionen für Anlagentechnik und Wärmeverteilung direkt zu Beginn des Nahwärmeausbaus erforderlich sind, während die Gebäude und damit die Wärmeabnehmer über Jahre und mehrere Bauabschnitte angeschlossen werden, was entsprechende Finanzierungslücken mit sich bringt. Ein großer Kostenfaktor war die Tatsache, dass die Bereitstellung der restlichen Wärmeversorgung über Fernwärme (60% - 70%) sowie die Redundanz in Stillstands- und Revisionszeiten bei A-coGuss enorme Kosten verursachte. Insbesondere in den ersten Jahren, in denen erst wenig Gebäude an das Netz angeschlossen sind, war diese Kostenbelastung sehr hoch. Die Untersuchung kam schließlich zum Ergebnis, dass das Projekt langfristig gesehen kostendeckend sein kann, wenn auch mit geringen Renditeerwartungen. Es wurden jedoch auch verschiedene wirtschaftliche Risiken identifiziert, die ausführlich in Kapitel II.1.10.1 – Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmeversorgung unter AP 3.1 beschrieben sind.

Zu diesem Zeitpunkt wurde von Seiten EnStadt:Pfaff davon ausgegangen, dass die Stadt ein solches Projekt mit der zugesicherten Förderquote von 80% realisieren würde. Nach Fertigstellung der Machbarkeitsstudie und des Betreiberkonzeptes wurde in Abstimmung mit dem Stadtrat die Einbindung von Fachplanern für die technische Ausgestaltung (RBSwave) sowie die Einbindung einer Fachkanzlei für Wirtschaftsprüfungen organisiert (PWC). Die Detailuntersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass die Nutzbarmachung der Abwärme und Leitungsführung in das Quartier teurer werden würde als zunächst kalkuliert. Parallel stiegen die Energiepreise im weiteren Verlauf (Corona, Ukraine-Krieg), was die Gießerei veranlasste, die Abwärme selbst verstärkt zu nutzen, um ihre Energiekosten zu reduzieren.

In der Folge und nicht zuletzt aufgrund des Zeitdrucks im Quartier (Versorgung erster Gebäude erforderlich) entschied sich der Stadtrat letztlich dazu, das Pfaff-Quartier an den Rücklauf des städtischen Fernwärmenetzes anzuschließen.

II.1.2.4.4 Gesamtergebnis

Es zeigte sich, dass keine Potenzialquelle verfügbar war, die alleinig in der Lage war den Gesamtbedarf (Wärme, Kälte, Strom für stationäre Anlagen und Mobilitätsbedürfnisse) des Quartiers zu decken. Dies begründet sich insbesondere durch die hohen Energiebedarfe auf kleiner Fläche (dichte, mehrstöckige Bebauung) gegenüber sehr beschränkter Potenzialquellen (im Verhältnis wenig Dach- und Freiflächen zur Nutzung von Solarenergie). Um das Quartier vollständig versorgen zu können, wäre ein Mix der verschiedenen Potenziale erforderlich gewesen (Geothermie, Abwasserwärme, Solarthermie mit Großwärmespeicher und Industrie-Abwärme), was jedoch ökonomisch gesehen nicht tragbar und zudem städtebaulich - aufgrund der begrenzten Flächen im Quartier - zum Großteil nicht vereinbar war.

Auf Empfehlung der Forschergruppe EnStadt:Pfaff entschied sich der Stadtrat Kaiserslautern, das Wärmenetz im Pfaff-Quartier als Niedertemperaturnetz mit ca. 60 °C Vorlauftemperatur auszuführen, dabei als innovative Komponente das Pfaff-Quartier hauptsächlich aus dem Rücklauf der städtischen Fernwärme zu versorgen und im Gelände die dezentrale Einspeisung von Abwärme vorzusehen. Als Demonstrator wurde die Einspeisung der Abwärme aus einer Kältemaschine des MVZ eingeplant.

II.1.2.5 Wesentliche Erkenntnisse

Zu Beginn des Projekts lag der Fokus der Untersuchungen auf der städtebaulichen Rahmenplanung, die jedoch bereits vorab festgelegt worden war und somit nicht optimal auf die Bedürfnisse des Projekts abgestimmt war. Idealerweise sollten Maßnahmen zur optimierten Gestaltung aus energetischer Sicht bereits Einfluss auf den ersten Entwurf einer Rahmenplanung haben. Die Erfahrung hat gezeigt, nicht zuletzt innerhalb des EnStadt:Pfaff-Projektes, dass bereits entwickelte städtebauliche Rahmenplanungen nur selten nachträglich abgeändert werden können und dass Kompromisse zwischen ästhetischen und energetischen Anforderungen oft schwer zu finden sind. Dies begründet sich neben der Zeit, Arbeit und den Kosten, die bereits in eine Rahmenplanung geflossen sind, auch durch die unterschiedlichen Interessen der beteiligten Akteure.

Bei der Planung von innovativen Stadtquartieren mit einer Zielsetzung im Bereich Energieversorgung / Umweltcharakter (z. B. Null-Emission, Plus-Energie, möglichst hoher Selbstversorgungsgrad) ist es daher zwingend erforderlich, bereits in der Vorplanung die jeweiligen Akteure zusammen zu bringen, um frühzeitig die städtebaulichen, ästhetischen, ökologischen und energetischen Belange zu beleuchten und gemeinsame Kompromisse auszuarbeiten, die anschließend in den ersten Entwurf einer städtebaulichen Rahmenplanung einfließen. Da städtebauliche Projekte oftmals im Rahmen von Wettbewerben ausgeschrieben werden, sollten die erarbeiteten Kriterien bereits in die Wettbewerbe einfließen. Niedrige Energiebedarfe (z. B. durch kompakte Bauweisen bzw. niedrige AV-Verhältnisse), Maximierung solarer Erträge (z. B. durch optimierte Dach- und Gebäudeausrichtungen sowie Vermeidung von Verschattungen), Lärmschutz, Ästhetik, Naherholung, Frischluft & Mikroklima, Ver- und Entsorgung sowie die Verkehrsplanung sind Aspekte, die bereits zu Beginn der Planungen Berücksichtigung finden und gemeinsam gedacht müssen. Die wenigsten Stadtplaner und Architekturbüros sind in der Lage alle diese Aspekte ganzheitlich zu beurteilen. Die Einbindung entsprechender Experten in einem frühen Stadium der Quartiersentwicklung ist deshalb erforderlich. Ihre Aktivierung ist z. B. im Rahmen der Vorplanungen, städtebaulichen Wettbewerben oder ersten Ausschreibungen sinnvoll.

II.1.2.6 Treibhausgasbilanz des Pfaff-Quartiers

Klimaschutz und Ressourcenschonung sind zum aktuellen Zeitpunkt gesellschaftliche Aufgaben, die sich nur durch Einbindung und Kooperation aller Akteure aus Politik, Verwaltung, Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft bewältigen lassen. Der dringende Handlungsbedarf wird u. a. durch verschärfte gesetzliche und politische Rahmenbedingungen deutlich. So wurden im Zuge des Klimaschutzgesetzes 2021 der Bundesregierung, die national vereinbarten Ziele zur Senkung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr 1990 deutlich angehoben und das Ziel der Klimaneutralität für Deutschland bis zum Jahr 2045 festgeschrieben. Darüber hinaus schlagen sich die ambitionierten Einsparungsziele in Bezug auf Klimaschutz und Ressourceneffizienz nicht nur im Gebäudeenergiegesetz (GEG) nieder, welches die EnEV, das EEWärmeG und das EnEG ersetzte und am 01.11.2020 in Kraft trat, sondern äußert sich ebenso in der erst kürzlichen Novellierung der EU-Gebäuderichtlinie und dem Maßnahmenpaket „Fit for 55“ (Reduzierung der Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55% im Vergleich zu 1990) zur Umsetzung des europäischen Green Deals. Hierbei rücken zunehmend auch weitere Umweltindikatoren und Ressourcen-Parameter zusätzlich zum Energieverbrauch und den Treibhausgas-Emissionen in den Fokus. In allen Bereichen der Gesellschaft müssen folglich Beiträge zum Klima- und Ressourcenschutz geleistet und ein Transformationspfad ganzheitlich betrachtet werden.

Vor dem genannten Hintergrund stellen Quartiere vielversprechende Handlungsräume zur Umsetzung von Klima- und Ressourcenschutz dar. Denn sie bieten nicht nur die Möglichkeit, Konzepte zu erarbeiten, die eine klimafreundliche Energieversorgung sowie ein umweltfreundliches Mobilitätsangebot ermöglichen. Die einzelnen Elemente können im Sinne einer funktionierenden Sektorenkopplung auch sinnvoll miteinander verknüpft werden. Da Quartiere mit ihren Gebäuden und Infrastrukturen lange Lebens- und Nutzungsdauern sowie lange Modernisierungszyklen aufweisen, müssten alle Projekte, die künftig realisiert werden, bereits die Zielsetzung für das Jahr 2045 erfüllen und damit klimaneutral konzipiert sein.

II.1.2.6.1 Ziel

Mit der übergeordneten Zielstellung zur Umsetzung eines klimaneutralen Wohn-, Gewerbe und Technologiequartiers auf dem Pfaff-Areal ist der Verzicht auf fossile Energien sowohl aus Klima- als aus Ressourcenschutzperspektive in allen Bereichen unabdingbar. Neben den Investitionszyklen und Ausbau- bzw. Erneuerungsraten der konkreten Techniken und Maßnahmen in den einzelnen Anwendungen ist dahingehend vor allem die Klimaschutzwirkung im Transformationspfad relevant. Es wird deutlich, dass Energie-, Wärme- und Verkehrswende gemeinsam gedacht werden müssen. Darüber hinaus bedarf es einer effizienten und langfristigen Nutzung von Rohstoffen in Wirtschaftskreisläufen mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Umwelt, um das Ziel der Klimaneutralität im Endausbau 2040 zu erreichen.

Um das Ziel der Klimaneutralität für das Pfaff-Quartier quantifizieren zu können, ist es unerlässlich, zunächst die Energieversorgung, den Energieverbrauch sowie die unterschiedlichen Energieträger zu bestimmen. Diese Analyse wurde im vorangegangenen Energiekonzept in unterschiedlichen Varianten eingehend untersucht und die Ergebnisse umfassend dargestellt und erläutert.

Neben dem Energieverbrauch und im Kontext der Ressourceneffizienz rücken unter anderem auch die im Bauwesen verbrachten Rohstoffe und Materialien zunehmend in den Vordergrund. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um die in den Baumaterialien und Baustoffen gebundene graue Energie und die damit einhergehenden Umweltauswirkungen und Emissionen. Diese Betrachtung des Pfaff-Quartiers wurde ausführlich im Rahmen des AP 2.2.5 (Kapitel II.1.7) untersucht und beschrieben.

Auf Grundlage der Ergebnisse zum Energieverbrauch sowie einer Prognose zur grauen Energie (Baumaterialien und Baustoffe) wurden die potenziellen Treibhausgasemissionen für das Pfaff-Quartier ermittelt. Eine zielführende Bilanzierungsmethodik wurde hierfür im Rahmen des Vorhabens entwickelt. Das Vorgehen und die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt und beschrieben.

II.1.2.6.2 Entwicklung einer Bilanzierungsmethodik für das Pfaff-Quartier

Die Entwicklung einer zielführenden und umfassenden Bilanzierungsmethodik für das Pfaff-Quartier war ein entscheidender Schritt zur Erfassung, Bewertung und Reduktion der Treibhausgasemissionen (THG) im Rahmen des Projekts zur Schaffung eines klimaneutralen Quartiers. Die Methodik wurde entwickelt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Emissionsquellen erfasst werden und die Grundlage für die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Emissionsreduktion bildet.

II.1.2.6.2.1 Klimaneutralität: Bedeutung und Definition

Im Rahmen der Entwicklung eines klimaneutralen Quartiers für das Pfaff-Areal gilt es zunächst festzulegen, was unter dem Begriff „Klimaneutralität“ verstanden wird. Im folgenden Abschnitt wird die Begrifflichkeit erläutert und eine klare Definition zur weiteren Verwendung im Rahmen des vorliegenden Projekts gegeben.

Klimaneutralität - nach dem sechsten Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC) - bedeutet, dass alle durch Menschen verursachten Treibhausgas-Emissionen - primär Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) - im gleichen Zeitraum durch technologische, biologische und/oder geochemische Reduktionsmaßnahmen wieder aus der Atmosphäre entfernt werden müssen, um eine ausgeglichene Treibhausgasbilanz zu erreichen. Dieser Zustand wird auch als „Netto-Null-Emissionen“ bezeichnet. Die weltweite Emission von Treibhausgasen muss demnach so stark reduziert werden, dass sie durch natürliche oder künstliche Senken vollständig aufgefangen werden können. Der IPCC hebt hierbei hervor,

dass dies technisch und ökonomisch möglich ist, aber eine sofortige globale Trendwende und tiefgreifende Emissionsreduktionen in allen Sektoren und Regionen erfordert.¹³¹⁴ Im Klimaschutzgesetz der Bundesregierung aus dem Jahr 2021 ist verankert, dass Deutschland bis zum Jahr 2045 ein Gleichgewicht zwischen den Treibhausgas-Emissionen und deren Abbau - also die oben beschriebene „Netto-Null“ - erreichen muss. Um dies zu erreichen, wurden spezifische Minderungsziele festgelegt: eine Reduzierung der Emissionen um 65% bis 2030 und um 88% bis 2040 im Vergleich zu den Werten von 1990. Diese gesetzlich verankerten Ziele berücksichtigen auch die Verpflichtungen Deutschlands im Rahmen des Pariser Übereinkommens und tragen zu den weltweiten Bemühungen bei, die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C zu begrenzen.¹⁵

Mit Klimaneutralität ist im vorliegenden Projekt, in Anlehnung an die Definition der Bundesregierung im Bundesklimaschutzgesetz 2021, die „Netto-Null“ der bilanzierten, relevanten Treibhausgase (CO₂, CH₄ und N₂O) gemeint. Dies kann, je nach definiertem Bilanzumfang und betrachteten Bereichen sowohl auf energetische als auch nicht energetische Emissionen angewendet werden. Es bedeutet, dass sämtliche THG-Emissionen weitestgehend zu reduzieren sind, während nicht vermeidbare THG-Emissionen durch natürliche und technische Treibhausgas-Senken ausgeglichen werden können. Jeder Ausgleich von Emissionen sollte dabei nur auf zertifizierte Methoden für den Abbau von Treibhausgasen beschränkt werden, um Gewissheit zu haben, dass der Kohlenstoff dauerhaft gebunden ist.

II.1.2.6.2.2 Vorgehensweise

Um das Ziel der Klimaneutralität für das betrachtete Pfaff-Quartier quantifizieren und einordnen zu können, wurde im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung der künftigen Quartierenergieversorgung eine Energie- und Treibhausgasbilanz als Monitoring-Instrument erstellt. Basisparameter einer Energie- und THG-Bilanz sind dabei die Systemgrenzen, der Betrachtungszeitraum, die gewählte Bilanzierungsmethode sowie die Festlegung des Bilanzumfangs.

Systemgrenze:

Die Systemgrenze legt fest, welche Bereiche und Elemente in die Energie- und Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) einbezogen werden. In diesem Fall umfasst die Systemgrenze das gesamte Pfaff-Quartier, inklusive aller bestehenden und neuen Gebäude. Das bedeutet, dass alle Energieflüsse, die innerhalb dieses geografischen Bereichs stattfinden, in die Bilanz einbezogen werden. Dazu gehören sowohl die

¹³ (IPCC, 2024)

¹⁴ (Umweltbundesamt, 2023)

¹⁵ (Bundesregierung, 2022)

Energieverbräuche der verschiedenen Gebäudearten (Wohngebäude, Bürogebäude, Gewerbeeinheiten) als auch die Infrastruktur wie Parkplätze und Mobilitätseinrichtungen. Durch diese klare Definition der Systemgrenze wird sichergestellt, dass alle relevanten Energieflüsse und Treibhausgasemissionen erfasst und bewertet werden können.

Betrachtungszeitraum:

Der Betrachtungszeitraum bezieht sich auf den Zeitraum, über den die Energie- und THG-Bilanz erstellt wird. Für das Pfaff-Quartier wurde ein langfristiger Zeitraum bis zum Jahr 2045 gewählt, welches als Zieljahr für den Endausbau festgelegt wurde. Dies bedeutet, dass die energetischen Bedarfe und die damit verbundenen Emissionen für ein vollständig entwickeltes Quartier im Jahr 2045 berechnet werden. Der Endausbau berücksichtigt sowohl den aktuellen Zustand als auch alle geplanten baulichen und infrastrukturellen Maßnahmen, die bis 2045 umgesetzt werden sollen. Diese langfristige Perspektive ermöglicht es, die Auswirkungen von Energieeinsparmaßnahmen und den Einsatz erneuerbarer Energien umfassend zu bewerten.

Bilanzierungsmethode:

Die Bilanzierungsmethode beschreibt, wie die Energie- und Treibhausgasflüsse erfasst und berechnet werden. In diesem Fall wurde die Methode der endenergiebasierten Territorialbilanz angewendet, basierend auf den Empfehlungen des Praxisleitfadens „Klimaschutz in Kommunen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Urbanistik. Eine schematische Darstellung zeigt die folgende Abbildung:

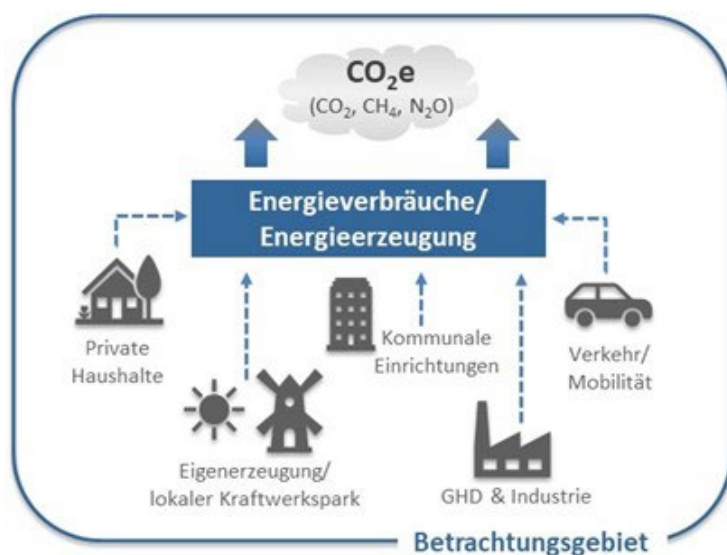


Abbildung II-10: Territorialprinzip - © IfaS

Beim endenergiebasierten Territorialprinzip werden alle Energieverbräuche und die damit einhergehenden THG-Emissionen ermittelt, die bei den relevanten Verbrauchergruppen auf dem Territorium des

Betrachtungsgebietes (hier: Pfaff-Quartier) entstehen. Die Betrachtung der Energiemengen bezieht sich auf die Form der Endenergie wie beispielsweise Fernwärme, Kraftstoff und Strom. Die verwendeten Emissionsfaktoren berücksichtigen die relevanten Treibhausgase CO₂, CH₄ sowie N₂O und werden als CO₂-Äquivalente (CO₂e) ausgewiesen. Die angewendeten Emissionsfaktoren stammen aus dem Globalen Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) in der Version 5.0. in Ergänzung mit spezifischen Angaben der Stadtwerke Kaiserslautern zur energetischen und emissionsseitigen Bewertung der Fernwärme. Alle Faktoren beziehen sich auf den Endenergieverbrauch und berücksichtigen dabei auch die Vorketten, wie z. B. vorgelagerte Prozesse aus der Anlagenproduktion, die Förderung der Rohstoffe, Transport oder Brennstoffbereitstellung.

Im Ergebnis werden somit alle Energieflüsse innerhalb des Quartiers erfasst und bilanziert. Diese Methode ermöglicht eine detaillierte Analyse der Energieverbräuche und der damit verbundenen Emissionen, da sie die spezifischen Gegebenheiten und Strukturen des Quartiers berücksichtigt.

Bilanzumfang:

Der Bilanzumfang definiert, welche spezifischen Energieverbräuche und Emissionen in die Bilanz einbezogen werden. Im Fall des Pfaff-Quartiers wurde der Nutzenergiebedarf als Ausgangspunkt genommen, um die erforderliche Endenergie zu ermitteln. Der Nutzenergiebedarf umfasst die Energie, die für Heizen, Kühlen, Beleuchtung, Warmwasserbereitung und andere Nutzungen benötigt wird. Auf dieser Basis wurde die Endenergie berechnet, die für die verschiedenen Verbrauchergruppen (Wohnen, Büro / Dienstleistungen, Gewerbe, Parken und Mobilität) erforderlich ist. Außerdem wurden die Vorketten der Endenergiebedarfe berücksichtigt. Diese umfassende Betrachtung stellt sicher, dass alle relevanten Emissionen erfasst werden und die spezifischen Klimawirkungen der verschiedenen Energieträger und Nutzergruppen transparent dargestellt werden können.

Zusammengefasst ermöglichen die vier zuvor beschriebenen Parameter eine detaillierte und umfassende Erfassung und Bewertung der Energieverbräuche und der Treibhausgasemissionen im Pfaff-Quartier, was die Grundlage für eine effektive Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität bildet.

II.1.2.6.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Energieverbrauchs und der Energieversorgung für das Pfaff-Quartier dargestellt sowie eine Prognose der energetischen und nicht-energetischen Emissionen bis zum Zieljahr 2045 vorgenommen.

II.1.2.6.3.1 Gesamtenergieverbrauch und Energieversorgung

Der endenergiebasierte Gesamtenergieverbrauch auf Basis der Angaben aus der Bedarfsanalyse gemäß B-Plan beträgt rund 19.000 MWh. Der Gesamtenergieverbrauch setzt sich aus den Bereichen Strom, Wärme und Warmwasser zusammen. Für die Wärmeversorgung des Quartiers wurde angenommen, dass diese vollständig über die Fernwärme der Stadtwerke Kaiserslautern erfolgt. Darüber hinaus wird die Mobilität im Quartier vollständig durch Elektromobilität abgedeckt.

Der Gesamtstromverbrauch (inkl. Elektromobilität) beträgt rund 11.600 MWh (Anteil: 61%), der Heizwärmeverbrauch beträgt ca. 5.900 MWh (Anteil: 31%) und für Warmwasser werden rund 1.500 MWh (Anteil: 8%) Energie verbraucht. Die nachfolgende Grafik bietet einen Gesamtüberblick über die Energieverbräuche, unterteilt nach Nutzungsart und Energieträgern.

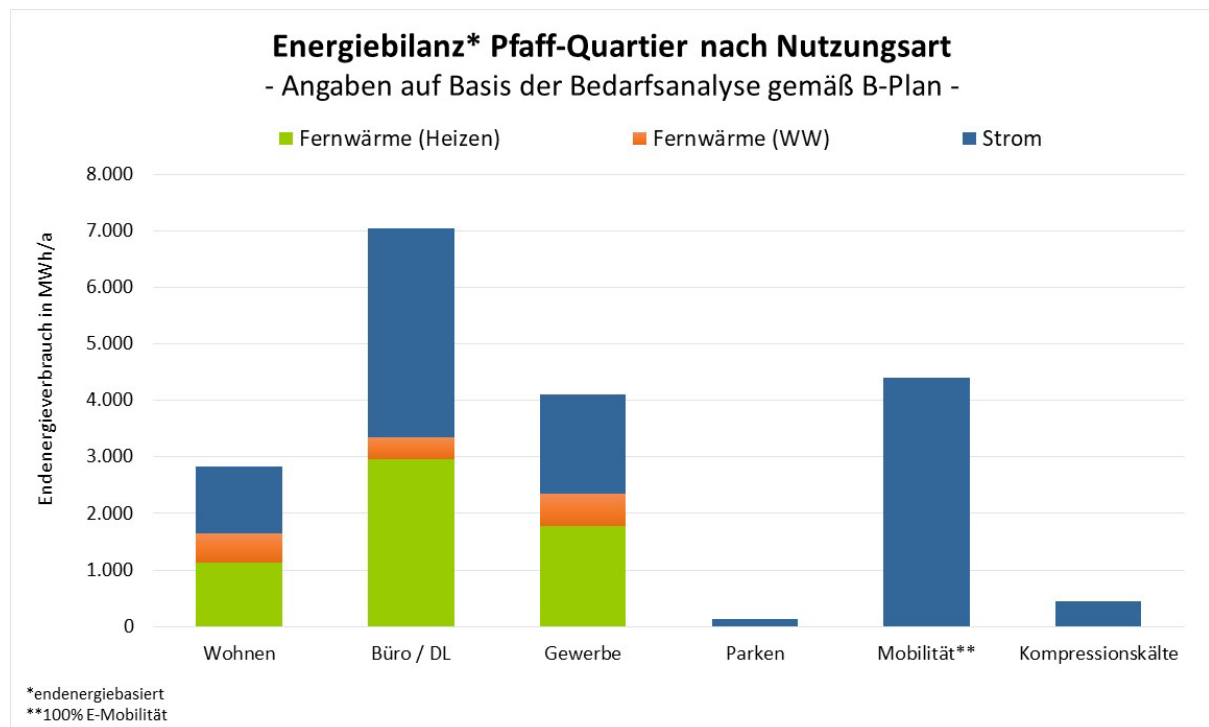


Abbildung II-11: Energiebilanz des Pfaff-Quartiers nach Nutzungsart - © IfaS

Abbildung II-11 zeigt, dass der Bereich Büro/Dienstleistungen (DL) den höchsten Gesamtenergieverbrauch aufweist, mit etwa 3.200 MWh/a für Heizen, 300 MWh/a für Warmwasser und 3.500 MWh/a für Strom, was zu einem Gesamtverbrauch von ca. 7.000 MWh/a führt. Im Bereich Wohnen beträgt der Energieverbrauch für Heizen etwa 2.200 MWh/a, für Warmwasser etwa 200 MWh/a und für Strom etwa 2.400 MWh/a, was insgesamt einem Energieverbrauch von etwa 4.800 MWh/a entspricht. Im Gewerbebereich beträgt der Verbrauch etwa 2.200 MWh/a für Heizen, 200 MWh/a für Warmwasser und 2.600 MWh/a für Strom, was einen Gesamtverbrauch von etwa 5.000 MWh/a ergibt. Der Bereich Parken hat mit etwa 200 MWh/a den niedrigsten Energieverbrauch, der ausschließlich durch Strom gedeckt

wird. Der Bereich Mobilität weist einen Gesamtverbrauch von etwa 4.800 MWh/a auf, der ebenfalls ausschließlich durch Strom gedeckt wird (Annahme 100% Elektromobilität). Der Energieverbrauch für Kompressionskälte beträgt ca. 600 MWh/a, auch dieser wird ausschließlich durch Strom gedeckt.

Zusammenfassend zeigt Abbildung II-11, dass der Bereich Büro/Dienstleistungen den höchsten Energieverbrauch aufweist, gefolgt von Gewerbe, Mobilität und Wohnen, während der Bereich Parken den geringsten Verbrauch hat.

II.1.2.6.3.2 Prognose der Treibhausgasemissionen

Wie in vorangegangenem Kapitel beschrieben, kommt die Prognose der Endenergiebedarfe (Strom, Wärme, Kälte, Mobilität) zu dem Ergebnis, dass rund 19.000 MWh im Endausbau des Quartiers benötigt werden. Dies hat direkte THG-Emissionen zur Folge, die dem Quartier zugerechnet werden. Enthalten sind dabei alle THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung fossiler und regenerativer Energieträger unter Berücksichtigung der spezifischen Strom-, Brenn- und Kraftstoffbedarfe der betrachteten Nutzer Wohnen, Büro / Dienstleistung, Gewerbe, Parken, Mobilität und Kompressionskälte. Innerhalb der Systemgrenzen wird in einem weiteren Schritt nicht nur der Gebäudebetrieb bewertet, sondern auch die Errichtung sowie die Entsorgung der Gebäude werden in der Bilanz als „graue Energie“ mitberücksichtigt.

Unter Anwendung des endenergiebasierten Territorialprinzips stellt sich an dieser Stelle nun die Frage nach der THG-seitigen Bewertung des Strommix. Entsprechend der Empfehlungen aus dem Praxisleitfaden „Klimaschutz in Kommunen“ (Difu) werden in einem ersten Schritt die Emissionen im Strombereich mit dem Bundesstrommix (100% Importstrom für das Pfaff-Quartier) berechnet. Für die Darstellung der Klimaschutzwirkung durch den Ausbau lokaler Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung wird daneben ein Vergleich unter Berücksichtigung der Anrechnung der lokalen Stromerzeugung aus Photovoltaik vorgenommen. Sofern die lokale PV-Stromerzeugung nicht den gesamten Strombedarf des Quartiers deckt, wird der verbleibende Strombedarf mit dem Bundesstrommix berechnet.

In der folgenden Abbildung sind die prognostizierten THG-Emissionen des Pfaff-Quartiers im Endausbau 2030 unter Berücksichtigung des Bundesstrommix (100% Importstrom) sowie im Vergleich mit dem lokalen Strommix des Quartiers (Anrechnung lokale PV-Erzeugung) dargestellt, der die vollständige Erschließung des PV-Potenzials am Gelände beinhaltet. Mit berücksichtigt werden ebenfalls die THG-Emissionen der grauen Energie durch Neubau und Sanierung der Gebäude im Quartier. Neben dem Endausbau bis 2030 wird ein Ausblick ins Jahr 2045 gegeben.

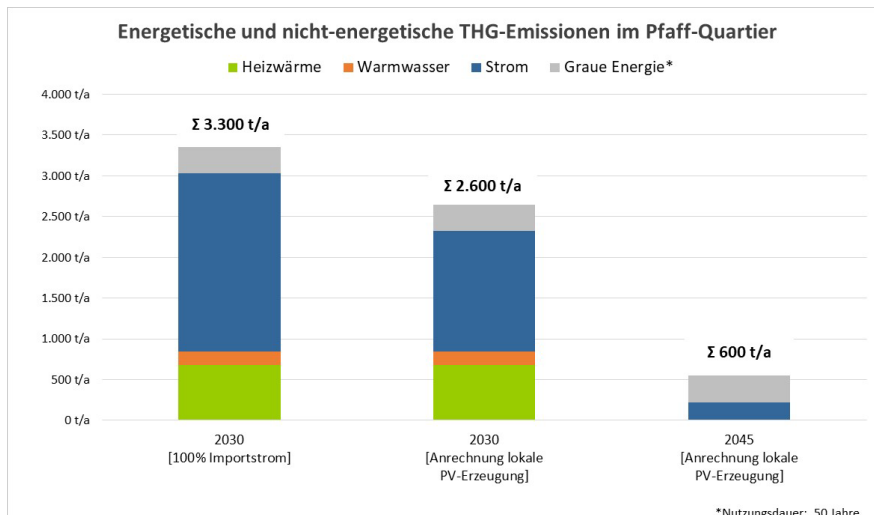


Abbildung II-12: Prognose der THG-Emissionen im Pfaff-Quartier - © IfaS

Abbildung II-12 zeigt, dass im Endausbau des Quartiers zu diesem Zeitpunkt unter Berücksichtigung des Bundesstrommix (100% Importstrom) jährliche Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 3.300 t CO₂e entstehen, die maßgeblich durch den Stromverbrauch verursacht werden. Aus Klimaschutzsicht erfolgt in einem nächsten Schritt die Bewertung der THG-Emissionen im Strombereich unter Berücksichtigung des lokalen Strommix, der die Erschließung aller verfügbaren PV-Potenziale und damit eine schnelle Substitution der fossilen Stromerzeugung und -verwendung im Quartier berücksichtigt (Anrechnung lokale PV-Erzeugung). Die Erschließung der verfügbaren PV-Potenziale im Quartier ist ausreichend, um den Strombedarf im Endausbau zu rund 38% über PV zu decken. Die THG-Einsparung durch die Erschließung aller PV-Potenziale im Quartier beträgt im Jahr 2030 rund 700 t CO₂e, sodass die verbleibenden Gesamtemissionen des betrachteten Quartiers auf ca. 2.600 t CO₂e sinken. Im Jahr 2045, unter Anrechnung der lokalen PV-Erzeugung, sinken die jährlichen THG-Emissionen weiter auf ca. 600 t CO₂e, was eine deutliche Reduktion im Vergleich zu 2030 darstellt. Maßgeblich für diese Entwicklung ist die Annahme, dass bis 2045 der nationale Kraftwerkspark (Strom) und die Fernwärme weitestgehend auf Erneuerbare Energien umgestellt sein sollen. Dennoch verbleiben weiterhin ca. 600 t CO₂e/a aus den Vorketten.

Mit Fokus auf das Jahr 2045 wird deutlich, dass die graue Energie einen nicht unerheblichen Teil der THG-Emissionen im Endausbau des Quartiers verursacht. Mit Blick auf die Zielerreichung Klimaneutralität wird deutlich, dass zukünftig Produkte und Materialien im Rahmen der Sanierung und des Neubaus von Gebäuden Berücksichtigung finden sollten, die eine geringe Umweltbelastung mit sich bringen und zunehmend unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe und regenerativer Energien hergestellt wurden. Die energiebedingten THG-Emissionen im Quartier werden dagegen durch zwei Aspekte beeinflusst. Zum einen der Anteil an erneuerbaren Energien bei der Strom-, Brenn- und Kraftstoffversorgung

sowie den Bedarfen der jeweils spezifischen Energieträger. Anzumerken ist, dass die PE-Faktoren bzw. CO₂-Äquivalente sich in den kommenden Jahren aufgrund der Dekarbonisierung der Versorgungssysteme dynamisch verhalten, im Zeitverlauf also immer weiter sinken.

II.1.2.6.4 Wesentliche Erkenntnisse

Im Endausbau des Quartiers sind bereits die möglichen Minderungen durch Effizienzsteigerung sowie die Vermeidung und Verlagerung auf strombasierte, effiziente Techniken in allen Anwendungsbereichen berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass langfristig bis 2045, obwohl bis zu diesem Zeitpunkt der nationale Kraftwerkspark sowie die Fernwärmeversorgung weitestgehend auf Erneuerbare Energien umgestellt sind, weiterhin jährlich rund 600 t CO₂e im Quartier verbleiben. Grund hierfür sind Treibhausgasemissionen in den Vorketten der spezifischen Energieträger, die im Jahr 2045 noch im System verbleiben. Als Beispiel kann an dieser Stelle der deutsche Strommix genannt werden, der zu dem Zeitpunkt nicht zu 100% auf erneuerbare Energieträger umgestellt sein wird und einen geringen Anteil fossiler Energien beinhaltet. Denn neben dem Ausbau von Verteilnetzen sowie Batteriespeichern ist auch die Sicherstellung von gasbasierter Leistung zur Stromerzeugung langfristig ausschlaggebend, um die fluktuierende Erzeugung aus EE ausgleichen zu können. Da der Endausbau des Quartiers bis ca. 2030 abgeschlossen sein soll, muss eine Kompensation der THG-Emissionen durch zusätzliche lokale Maßnahmen erfolgen, um eine Klimaneutralität (Netto-Null) zu erreichen und sicherzustellen.

Bei den zusätzlichen lokalen Maßnahmen geht es um Maßnahmen, die darauf abzielen die Klimaneutralität nicht nur auf Quartiersebene zu erreichen, sondern auch über die Quartiersgrenzen hinaus positive Effekte zu erzielen und die gesamte Stadt/Region in Richtung einer nachhaltigen Zukunft zu lenken. Angesichts begrenzter flächiger Potenziale innerhalb des Quartiers wird angestrebt, die bestehende Lücke zur Klimaneutralität durch zusätzliche Maßnahmen aus der Zusammenarbeit in der Region zu schließen. Dabei liegt der Fokus auf dem Austausch von Erfahrungen, der gemeinsamen Planung und Umsetzung von Infrastrukturprojekten sowie der Nutzung von Synergien bei der Nutzung erneuerbarer Energien. Durch eine kooperative Herangehensweise soll nicht nur das Pfaff-Quartier, sondern auch die gesamte Region dazu befähigt werden, Klimaneutralität zu erreichen.

Um das Ziel Klimaneutralität zu erreichen, kann eine Kompensation für langfristig unvermeidbare THG-Emissionen erfolgen. Diese sieht vor, verbleibende Emissionen durch den Kauf von Zertifikaten auszugleichen. Das Prinzip der freiwilligen THG-Kompensation basiert dabei auf der Idee, dass es für das Klima unerheblich ist, an welcher Stelle Emissionen ausgestoßen oder vermieden werden. Kompensation allein ist zur Erreichung des gesetzten Klimaneutralitätsziels nicht zielführend, sondern sollte nur flankierend zur notwendigen THG-Reduktion an der Quelle genutzt werden. Die Kompensation ermöglicht es

dem Quartier, Restemissionen auszugleichen und einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Dabei wird Wert auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit gelegt, um sicherzustellen, dass die Kompensationsmaßnahmen effektiv und sinnvoll sind.

Dabei gilt es, einen strukturierten und ganzheitlichen Ansatz zu entwickeln, um die unvermeidbaren Emissionen zur Zielerreichung der Klimaneutralität für das Quartier auszugleichen. Eine entsprechende Strategie ist hierfür zu formulieren. Die Strategie sollte verschiedene Aspekte umfassen und festlegen, darunter die Identifizierung von Emissionsquellen, die Bewertung von Ausgleichsmöglichkeiten, die Festlegung von Zielen und Meilensteinen sowie die Integration von CO₂-Kompensationsmaßnahmen in die Quartiersentwicklung. Der erforderliche Energiebedarf im Endausbau des Quartiers sowie die damit einhergehenden THG-Emissionen werden im Wesentlichen beeinflusst durch die verfügbaren Potenziale an erneuerbaren Energien, die Energieimportabhängigkeit sowie die Ressourceninanspruchnahme in Bezug auf verwendete Rohstoffe / Baustoffe und Fläche. Darüber hinaus leistet die Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeffizienz und Bedarfsreduktionen über alle betrachteten Nutzungsarten, einen wesentlichen Beitrag zur Treibhausgasminderung.

Die Ergebnisse der Treibhausgas-Bilanz des Quartiers haben gezeigt, dass eine vollständige Erschließung aller verfügbaren Potenziale an erneuerbaren Energien im Quartier nicht ausreicht, um eine Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen. Es bedarf daher nicht nur eines ambitionierten Vorgehens zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Darüber hinaus gilt es weitere Maßnahmen, z. B. in Kooperation mit lokalen Akteuren umzusetzen, die zusätzlich zur Klimaneutralität des Quartiers beitragen. Als regionale Klimaschutzprojekte können an dieser Stelle z. B. Pflanzaktionen genannt werden, die in Zusammenarbeit mit dem Obst- und Gartenbauverein, Bildungseinrichtungen, Vereine oder sonstige Akteure umgesetzt werden. Die Pflanzaktionen zielen auf eine CO₂-Speicherung durch Neubepflanzungen mit Bäumen, Hecken, Sträuchern. Eine weitere Möglichkeit für ein zusätzliches Klimaschutzprojekt ist die Ausbringung von Pflanzenkohle und damit verbunden eine CO₂-Speicherung im Boden, z. B. in Zusammenarbeit mit regionalen Landwirten. Ebenso können zusätzliche Klimaschutzprojekte zum Ausbau EE außerhalb des Quartiers, z. B. in Zusammenarbeit mit einer Bürgerenergiegenossenschaft realisiert werden.

Das beschriebene Ziel der Klimaneutralität ist dabei als übergeordnete Zielstellung zu verstehen, deren Erreichung keinesfalls das Ende der Klimaschutzbemühungen darstellen soll. Vielmehr wird die Erreichung der gesteckten Ziele als Motivation für weitere Klimaschutzanstrengungen gesehen. Die Zielerreichung ist dabei in hohem Maße von Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien der EU, der Bundes- und Landesregierung sowie zukünftigen Technologien und Innovationen abhängig.

Insgesamt wird deutlich, dass die Transformation in allen Bereichen unter Aspekten des Klima- und Ressourcenschutzes Hand in Hand gehen muss. Dabei ist die richtige Balance zwischen Klimaschutz und Ressourcenschonung hinsichtlich der Ausbaugeschwindigkeit zu finden, um eventuell Rohstoffbedarfs-
spitzen und kumulierte Treibhausgasemissionen zu minimieren und gleichzeitig die richtigen Anreize zu setzen, um die langfristige Wirkung von Maßnahmen und Einsatzbereitschaft von Techniken sowie die dafür erforderlichen Infrastrukturen zu gewährleisten.

Das Quartiersenergiekonzept hat gezeigt, dass zu den größten Herausforderungen des Projekts die begrenzten Flächenpotenziale für erneuerbare Energien, die Unsicherheiten bei der Nutzung industrieller Abwärme sowie die hohen Investitionen für innovative Technologien zählen. Diese Herausforderungen wurden durch verschiedene Maßnahmen adressiert. Dazu gehörten die Maximierung der Energieeffizienz durch optimierte städtebauliche Planung, kompakte Bauweisen und intelligente Verbrauchssteuerung, die Nutzung industrieller Abwärme in Kombination mit großen Speichern zur Flexibilisierung der Versorgung, Energiepartnerschaften mit lokalen Akteuren zur gemeinsamen Nutzung regenerativer Energiequellen sowie innovative Finanzierungsmodelle zur Überwindung wirtschaftlicher Hürden, wie beispielsweise Bürgerbeteiligungen oder Contracting-Modelle.

Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, werden folgende Empfehlungen ausgesprochen. Eine langfristige strategische Planung ist essenziell, um maximale Effizienzgewinne zu erzielen, wozu die Integration energetischer Anforderungen bereits in frühe Planungsphasen notwendig ist. Die Kooperation mit regionalen Akteuren sollte weiter ausgebaut werden, um Synergieeffekte zu nutzen. Die Weiterentwicklung der Bilanzierungsmethodik würde dazu beitragen, Quartiere effizienter auf Klimaneutralität auszurichten, indem standardisierte Verfahren zur Erfassung von Treibhausgasemissionen etabliert werden. Flexible Energiekonzepte, wie die Einbindung neuer Technologien, wie z. B. bidirektionales Laden von Elektrofahrzeugen oder Power-to-X-Technologien, sollten weiter erforscht werden. Zudem ist ein begleitendes Monitoring erforderlich, um den langfristigen Erfolg sicherzustellen und kontinuierliche Anpassungen der Energie- und Klimaschutzstrategien zu ermöglichen.

Das Quartiersenergiekonzept hat wertvolle Erkenntnisse geliefert, die jedoch neue Fragen aufwerfen. Dazu zählen beispielsweise die Potenziale innovativer Speichertechnologien zur weiteren Flexibilisierung der Energieversorgung, die Nutzung digitaler Technologien zur intelligenten Steuerung von Energieflüssen in Quartieren oder die Schaffung sozialer und wirtschaftlicher Anreize zur weiteren Reduktion von Energieverbräuchen. Auch stellt sich die Frage, in welchem Umfang regionale Kompensationsmaßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität beitragen können und welche regulatorischen Anpassungen notwendig sind, um nachhaltige Quartierskonzepte effizienter umsetzen zu können. Durch die

Weiterverfolgung dieser Forschungsfragen kann die Transformation zu klimaneutralen Quartieren weiter optimiert und auf andere Stadtentwicklungsprojekte übertragen werden.

II.1.3 AP 1.1.3 Mobilitätskonzept 2029

Auf dem ehemaligen Werksgelände der Nähmaschinenfabrik Pfaff in Kaiserslautern wird ein klimafreundliches Wohn-, Gewerbe- und Technologiequartier entwickelt. Als Reallabor konzipiert, wurden im ersten Schritt des Vorhabens für das gesamte Pfaff-Quartier Energie-, Mobilitäts- und IKT-Konzepte für den Endausbau im Jahr 2029 erarbeitet. Diese sollen aufzeigen wie die Klimaneutralität in einem urbanen Wohngebiet und Technologiecampus mit hoher Lebens- und Aufenthaltsqualität realisiert werden kann. Außerdem wurde erforscht, wie sich die Nutzungsbedarfe angesichts neuer Technologien, insbesondere der Digitalisierung, dem demographischen Wandel und dem Wandel in den Arbeits- und Lebenswelten der Nutzer und Bewohner des Quartiers langfristig verändern.

Zentrales Ergebnis der Forschungsarbeiten im Arbeitspaket 1.1.3 ist die Aufstellung eines integrierten „Mobilitätskonzept 2029“, das als Entscheidungsgrundlage zur zukunftsfähigen Entwicklung des Gesamtquartiers dient, v.a. hinsichtlich lückenloser emissionsfreier Mobilitätsketten. Im Rahmen der Erstellung des Mobilitätskonzeptes wurde zudem identifiziert, inwiefern aktuelle Rechtsvorschriften (u. a. BauGB, LBauO) es zulassen, den innovativen Zielen der Quartiersentwicklung im Bereich der Mobilität Rechnung zu tragen bzw. wo Veränderungsprozesse/Lösungsvarianten gefunden werden müssen (Prozess vs. Innovation).

Im Rahmen der Erstellung des Mobilitätskonzeptes erfolgte ein regelmäßiger Austausch mit den Mitgliedern der durch IfaS gesteuerten AG Mobilität. Die Mitglieder waren Vertreterinnen und Vertreter aus einem Großteil der Konsortialpartner. Über die AG-Treffen hinaus erfolgte aufgrund der geforderten inhaltlichen Nähe mit der Planungspraxis ein zusätzlicher intensiver Austausch mit dem Referat 61 (Stadtentwicklung) der Stadtverwaltung Kaiserslautern. Hier werden auch die Themen Verkehr und Mobilität behandelt.

II.1.3.1 Ziel

Ziel des Mobilitätskonzeptes 2029 ist die Schaffung eines klimaneutralen Quartiers mit systemischen, smarten und multimodalen Bestandteilen. Um die Wohn-, Arbeits- und Lebensqualität im Quartier zu steigern und die Mobilität im Quartier so klimafreundlich wie möglich zu gestalten, soll das Pfaff-Areal als autoarmes Quartier konzipiert werden. Hierfür wurden im Mobilitätskonzept unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und Potenziale, Handlungsempfehlungen und Maßnahmen erarbeitet. Eine Besonderheit dieses Konzeptes liegt in der Tatsache, dass das Mobilitätskonzept kein bestehendes

Verkehrssystem optimieren soll, sondern während der Rahmenplanung und Bebauungsplanung erstellt, auch eine mitgestalterische Funktion innehatte. So sind einige der im Konzept erarbeiteten Maßnahmen bereits in den laufenden Planungsprozess miteingeflossen. Da viele der Maßnahmen im Zuge von EnStadt:Pfaff in der Arbeitsgruppe Mobilität und innerhalb des Konsortiums (die Stadt Kaiserslautern ist Teil des Konsortiums) diskutiert und angepasst wurden, stellen Großteile der Maßnahmen das Ergebnis eines intensiven Austausches zwischen dem Forschungsvorhaben und der Stadtplanung dar.

Das nachfolgende Leitbild war Grundlage für die inhaltliche Fokussierung bei der Konzepterstellung und beinhaltet zugleich die konkreten Ziele des Konzeptes. Es wurde durch das Forschungskonsortium des EnStadt:Pfaff-Projektes erarbeitet.

- Alle Mobilitätsbedürfnisse werden klimafreundlich erfüllt. Dies wird durch ein umfassendes Mobilitätsangebot möglich, das neben öffentlichem Nahverkehr und dem bekannten Car- und Bike-Sharing auch neuartige Sharing-Angebote z. B. von E-Lastenrädern umfasst und klimafreundliche Fortbewegungsarten, wie z. B. Radfahren priorisiert.
- Die Menschen im Quartier werden dabei unterstützt, auf klimafreundliche Mobilität umzusteigen. Dazu werden unter anderem Anreize zum Ausprobieren entsprechender Fortbewegungsarten geschaffen.
- Der Flächenbedarf für die Mobilität ist gering. Dies wird unter anderem erlebbar durch großzügige öffentliche Räume mit hoher Aufenthaltsqualität für die Menschen und einem geringen Flächenanteil für Stellplätze und Fahrbahnen.
- Die Wege zur Erfüllung täglicher Bedarfe sind kurz und Möglichkeiten zur Vermeidung von Fahrten sind gegeben. Dafür werden eine entsprechende Infrastruktur, z. B. in Form von Packstationen und Co-Working Spaces sowie digitale Angebote und Konzepte, z. B. Mitfahr-Apps, zur Verfügung gestellt.
- Die negativen Eigenschaften des motorisierten Individualverkehrs werden minimiert. Dies wird erreicht durch eine konsequente Nutzung von lärm- und emissionsarmen Antriebstechnologien, insbesondere der Elektromobilität, und der Bereitstellung entsprechender Infrastruktur. Geschwindigkeitsbegrenzungen sorgen für ein gleichberechtigtes und sicheres Miteinander aller Verkehrsteilnehmenden.
- Die Mobilität im Quartier ist dem Ressourcenschutz verpflichtet. Ressourcen werden geschont durch das Prinzip „teilen statt besitzen“ und durch die Nutzung effizienter Antriebstechnologien wie der Elektromobilität.

Meilensteine des Arbeitspaketes waren:

Tabelle II-4: Meilensteine AP 1.1.3 Mobilitätskonzept 2029 – © IfaS

Meilensteinbezeichnung	Titel
M1	12.2018 Erste Empfehlung für das B-Plan-Verfahren (flächenrelevante Themen wie v.a. Stellplatznachweis)
M2	12.2018 Handlungsempfehlungen (Synergien; Erkenntnis-Transfer im Konsortium)
M3	12.2019 Zusammenfassung der Ergebnisse als Handlungsleitfaden (=Mobilitätskonzept 2029)

II.1.3.2 Methodik

Zunächst erfolgte im Rahmen der Meilensteine 1 und 2¹⁶ die Erarbeitung von Empfehlungen des EnStadt:Pfaff-Konsortiums zum B-Plan-Verfahren für das Pfaff-Areal. Da die Erstellung des Bebauungsplanes parallel zu den Forschungsarbeiten im EnStadt:Pfaff-Projekt verlief, sind die darin dargestellten Inhalte auch die Ergebnisse eines kontinuierlichen Kommunikationsprozesses zwischen der AG Mobilität und der Stadt Kaiserslautern (Referat 61: Stadtentwicklung). Im Laufe des Prozesses sind Zahlen, Richtwerte und Erkenntnisse bereits teilweise weitergedacht oder überarbeitet worden. Eine Anpassung der Ergebnisse, insbesondere hinsichtlich der Stellplatzrichtwerte und der im Quartier zur Verfügung stehenden Stellplatzanzahl, erfolgte nach einem Beschluss des Stadtrates zum Bebauungsplan sowie der Stellplatzsatzung im Sommer 2020.

In der Folgezeit wurde das Mobilitätskonzept (Meilenstein 3) auf Grundlage des städtebaulichen Rahmenplans Pfaff erstellt, welcher mit Beschlussfassung am 12.11.2018 zum zweiten Mal fortgeschrieben wurde. In diese Fortschreibungen sind auch durch den Kommunikationsprozess zwischen der Stadt und dem EnStadt:Pfaff Projekt mobilitätsrelevante Änderungen eingeflossen. Durch die Fortschreibung der Pläne kam es im Gegenzug auch wieder zu Veränderungen von Maßnahmenkonzeptionierungen, da sich bspw. Flächenanteile verschiedener Nutzungen änderten. Zudem wurden bestimmte Maßnahmen im Prozess als nicht umsetzbar eingestuft und daher nicht weiterverfolgt. Die intensive Abstimmung hat am Ende dazu geführt, dass bei der Erstellung des Bebauungsplanentwurfes sowie der Stellplatzsatzung breite Teile der erarbeiteten Ergebnisse einfließen konnten. Ergebnisse aus der Erstellung des Konzeptes wurden zudem auch an die Erschließungsplanung weitergegeben. Durch die parallellaufenden Prozesse der Quartiersplanung und der Erstellung des Mobilitätskonzeptes konnten viele, gerade flächenrelevante Maßnahmen in der Planerarbeitung mitgedacht werden. Durch die Festlegung bestimmter Nutzungen und der Verkehrswege im Gebiet vor der Erstellung des Konzeptes sind aber auch Gestaltungsspielräume eingeschränkt worden.

¹⁶ Vgl. Meilenstein_AP 1.1.3_Meilensteinbericht 1 und 2 - <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

Das Ziel eines klimaneutralen Quartiers wurde durch die Anwendung der Prinzipien „Effizienz: besser“ (bedarfsorientierte und sparsame Mobilität), „Konsistenz: anders“ (neue, innovative und nachhaltige Mobilität) sowie „Suffizienz: weniger“ (verminderte Mobilität) erreicht.

Hierfür wurden unter Federführung der AG Mobilität die Unterziele *Schaffung eines autoarmen Quartiers*, *Schaffung von flächendeckenden nachhaltigen Mobilitätsangeboten* und *Schaffung eines Finanzierungsmodells für die öffentliche und private Infrastruktur für nachhaltige Mobilität* formuliert.

Das 141 Seiten umfassende Mobilitätskonzept wurde im Dezember 2019 vorgelegt und betrachtet nachstehende Handlungsfelder:

- Verkehrssystem und Erschließung
 - Straßenraumgestaltung und räumliche Planung
 - Private Infrastruktur für nachhaltige Mobilität
- Mobilitätsarten
 - Übergreifende Mobilität / Inter- und Multimodalität
 - ÖPNV
 - Fußverkehr
 - Radverkehr
 - Motorisierter Individualverkehr
- Wirtschaftsverkehr und Logistik
 - Betriebliches Mobilitätsmanagement
 - Logistik / Wirtschaftsverkehr
- Finanzierung
- Öffentlichkeitsarbeit und Bildung

Im Rahmen des anschließenden Umsetzungsprozesses haben sich insbesondere zwei Maßnahmen des Mobilitätskonzepts als besonders wirkungsvoll erwiesen: die Entwicklung der innovativen Stellplatzsatzung mit dem integrierten Instrument „Bauen für nachhaltige Mobilität“ sowie die Einrichtung von Mobilitätsstationen im Pfaff-Quartier. Beide Maßnahmen leisten einen entscheidenden Beitrag zur Förderung eines umwelt- und gesundheitsfördernden Mobilitätsverhaltens.

II.1.3.3 Forschungsergebnisse

Wie in Abschnitt II.1.4.1 beschrieben, wurden zu Beginn des Arbeitsprozesses in einem umfassenden Austausch das Leitbild und Unterziele für das Pfaff-Quartier aufgestellt. Das Pfaff-Quartier soll autoarm und emissionsfrei werden und gleichzeitig den Bewohnerinnen und Bewohnern komfortable Mobilitätsangebote bieten. Hierfür wurde das Mobilitätskonzept für den Endausbau des Quartiers im Jahr 2029 erarbeitet und es wurden Umsetzungsmaßnahmen wie eine Stellplatzsatzung und Mobilitätsstationen entwickelt.

Aus dem Mobilitätskonzept heraus wurden die Rahmenbedingungen geschaffen für die Festsetzung der zukunftsfähigen Mobilität im Bebauungsplan.

Dabei wurden flächendeckende Mobilitätsangebote und ein zugehöriges Finanzierungsmodell erarbeitet, die insgesamt auf eine klimaneutrale Mobilität sowie eine hohe Lebens- und Aufenthaltsqualität im Quartier abzielen.

Ein größerer Anteil des öffentlichen Raums wird demnach für die Fortbewegung zu Fuß oder mit dem Fahrrad (o.ä.) zur Verfügung stehen. Die meisten Parkplätze für Pkw befinden sich in Parkhäusern.

Die Konzepterstellung erfolgte in enger Zusammenarbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit den zuständigen Expertinnen und Experten der Stadtverwaltung, insbesondere dem für die Mobilität zuständigen Referat Stadtentwicklung. In einem umfassenden Austausch wurden Umsetzungshemmnisse analysiert und gemeinsam praxistaugliche Lösungen entwickelt, die schließlich in den Bebauungsplan einfließen.

Diese umfassen die Ausgestaltung des Straßenraums im Quartier für den motorisierten wie den Rad- und Fußverkehr, die Bereitstellung von Stellplätzen, die Festlegung einer Maximalgeschwindigkeit und Ausweisung von Fußgängerzonen. Auch wurden Flächen für Mobilitätsangebote wie Bushaltestellen oder Carsharing ausgewiesen.

Ein zentrales Element der Forschungstätigkeiten im Mobilitätskonzept ist die Errichtung von sogenannten Mobilitätsstationen als Standort für Leihfahrzeuge (Car-Sharing, Bike-Sharing, Lastenrad-Sharing) und öffentliche Fahrradabstellanlagen. Mobilitätsstationen können mit ÖPNV-Haltestellen verknüpft werden, aber auch E-Mobil-Ladepunkte, Infotafeln und Paketstationen bereitstellen. Geplant sind nun acht Mobilitätsstationen in drei verschiedenen Größen und strategisch im Quartier verteilt, teilweise am Straßenrand, überwiegend in den Parkhäusern – sieben Mobilitätsstationen sind im Bebauungsplan und in der Erschließungsplanung gesichert.

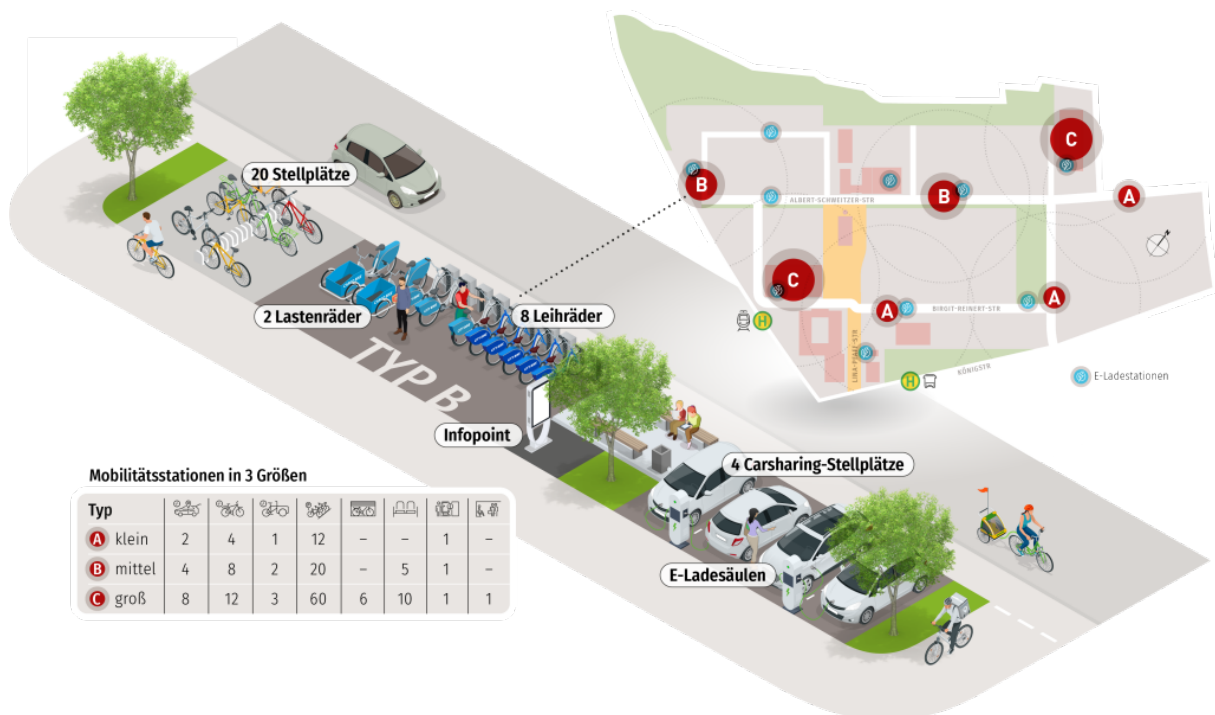


Abbildung II-13: Exemplarische Mobilitätsstation mittlerer Größe - © Triolog/EnStadt:Pfaff

Zur Finanzierung der nachhaltigen Mobilitätsangebote wurde eine innovative Stellplatzsatzung entwickelt.¹⁷ Nach Kenntnissen des Konsortiums findet eine derartige Satzung erstmalig Anwendung in einem Quartier, so dass ein Forschungsergebnis mit einem bundesweiten Alleinstellungsmerkmal geschaffen wurde. Diese sieht vor, dass ein Teil der Gelder an die Stadt Kaiserslautern abzuführen ist, welche die Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer aufgrund der reduzierten geforderten Stellplatzanzahl einsparen. Mit diesen Einnahmen werden die Maßnahmen zur nachhaltigen Mobilität finanziert. Berechnungen zeigen, dass alle Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer im Pfaff-Quartier aufgrund des reduzierten Stellplatzschlüssels insgesamt bis zu 21 Mio. € Investitionen für vermiedene Stellplätze einsparen können. Die Stellplatzsatzung mit Bebauungsplan wurde vom Stadtrat beschlossen. Der Satzung liegt die Möglichkeit zugrunde, Infrastruktur über die Stellplatzablösezahlung nach § 47 Abs. 4 LBauO Rheinland-Pfalz zu finanzieren. Der Mechanismus ist in der Stellplatzsatzung festgelegt. Durch die Stellplatzsatzung sind davon bis zu 4,5 Mio. € als Ablösezahlungen abzuführen, die von der Stadt zweckgebunden für Mobilitätsangebote verwendet werden müssen. Dies reduziert zugleich teilweise die oben genannten Einsparungen für die Stellplatzkosten in Höhe von 21 Mio. € für die Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer. Dieser Finanzierungsmechanismus ist nicht nur neuartig, sondern bedeutet auch finanziell eine eindeutige Win-Win-Situation für alle Beteiligten. Hinzu kommt, dass aufgrund der

¹⁷ Siehe hier: https://www.kaiserslautern.de/mb/themen/stadtverwaltung/ortsrecht/pdf/6_16_stellplatzsatzung_pffaff-quartier.pdf

innovativen Stellplatzsatzung die Zahl der Stellplätze von etwa 4.000 auf etwa 2.400 (0,6 Stellplätze je Wohneinheit) gesenkt werden kann.

Nachstehende Abbildung zeigt am Beispiel einer Investition für ein Wohngebäude mit 10 Wohneinheiten die Zusammensetzung der Kosten und erzielbaren Einsparungen aufgrund der innovativen Stellplatzsatzung.

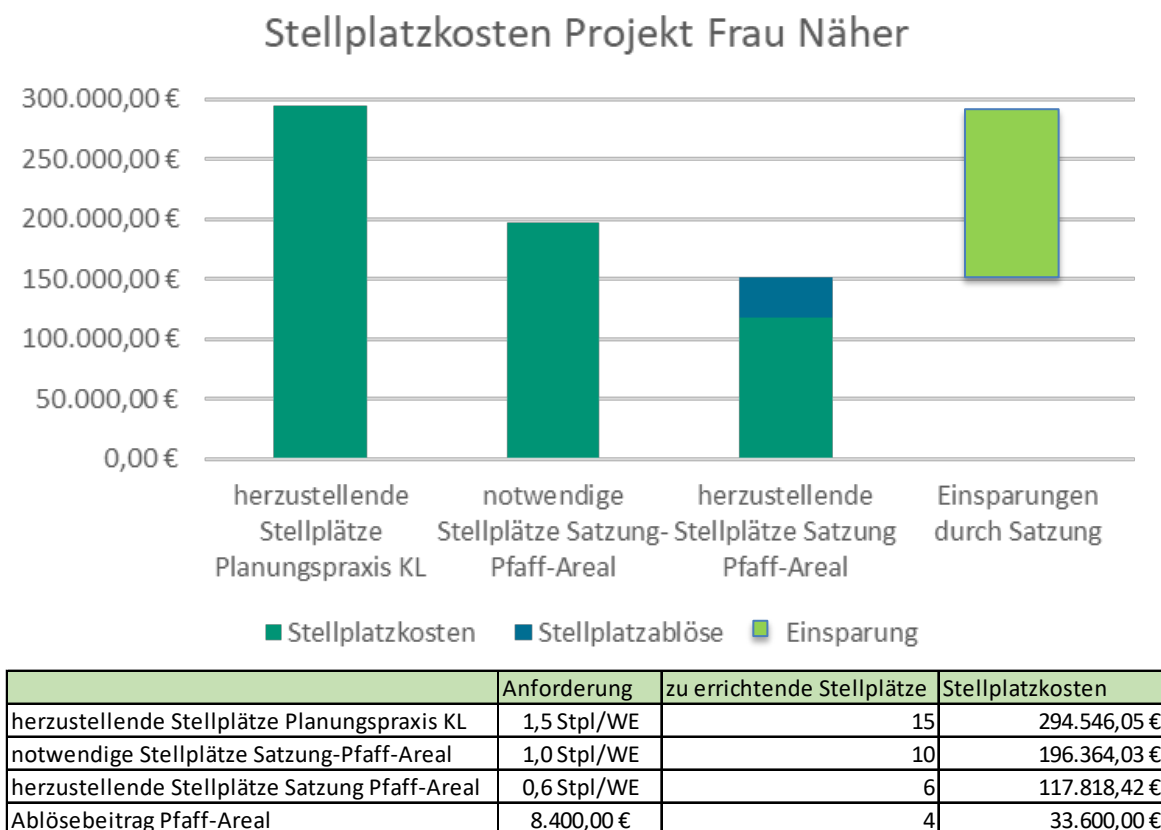


Abbildung II-14: Einsparpotenziale für ein Wohngebäude aufgrund der innovativen Stellplatzsatzung – © IfaS

Darüber hinaus wurden mit dem Instrument „Bauen für nachhaltige Mobilität“ weitere Anreize für Bauherr/innen zur Investition in Infrastruktur geschaffen, welche umwelt- und gesundheitsförderndes Mobilitätsverhalten unterstützt, bei gleichzeitiger Reduzierung der privaten Pkw-Stellplätze. Erfüllt die Bauherrin bzw. der Bauherr eine oder mehrere der aufgelisteten Maßnahmen der Reduzierungstabellen, ermöglicht dies eine weitere Reduzierung der Anzahl der tatsächlich herzustellenden Stellplätze um maximal 25%. Die Maßnahmen müssen im Bauantrag nachgewiesen werden. Bei den Maßnahmen wird unterschieden zwischen den beiden Akteursgruppen „Wohnnutzung“ und „Sonstige Nutzungen“, siehe auch nachstehend dargestellte Reduzierungstabellen.¹⁸

¹⁸ Diese sind ebenfalls in der Stellplatzsatzung als Anhang 2 aufgeführt.

Tabelle II-5: Reduzierungstabelle „Wohnnutzung“ zum Bauen für nachhaltige Mobilität – © IfaS

Tabelle 1		Wohnnutzungen
Prozentuale Reduzierung	Beschreibung	
1. Anzahl der Fahrradstellplätze		
0 %	Fahrradstellplatzschlüssel entspricht dem geforderten Mindestschlüssel für Pfaff-Areal (2 Fahrradabstellplätze je WE)	
7 %	Herstellung von 3 Fahrradstellplätzen je WE	
2. Qualitative Anforderungen an Fahrradstellplätze (Mehrfachnennung möglich)		
2 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Zweiräder sind für min. 10% der Fahrradstellplätze vorhanden.	
2 %	Es ist für Radfahrer/innen am oder im Gebäude eine wettergeschützte, gut ausgeleuchtete und mit dem Fahrrad gut erreichbare Fläche oder Raum einschließlich Servicestation mit grundlegender Reparaturausstattung (Luftpumpe, Werkzeug, Radhalter) für kurzfristig notwendige Wartungsarbeiten vorhanden.	
4 %	Maßnahmen zum Diebstahlschutz sind in ausreichender Zahl getroffen: Für min. 10% der Fahrradabstellplätze sind entweder im Gebäude integrierte Lösungen oder bei Außenabstellanlagen abschließbare <u>Fahrradboxen</u> vorhanden.	
3. Ladeinfrastruktur Pkw		
6 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Pkw sind für min. 10 % der Pkw-Stellplätze vorhanden. 90% der übrigen Pkw-Stellplätze verfügen über eine Vorverkabelung zur nachträglichen Installation.	
8 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Pkw sind für min. 20 % der Pkw-Stellplätze vorhanden. 80% der übrigen Pkw-Stellplätze verfügen über eine Vorverkabelung zur nachträglichen Installation.	
10 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Pkw sind für min. 30 % der Pkw-Stellplätze vorhanden. 70% der übrigen Pkw-Stellplätze verfügen über eine Vorverkabelung zur nachträglichen Installation.	

Tabelle II-6: Reduzierungstabelle „Sonstige Nutzungen“ zum Bauen für nachhaltige Mobilität – © IfaS

Tabelle 2		Sonstige Nutzungen
Prozentuale Reduzierung	Beschreibung	
1. Anzahl der Fahrradstellplätze		
0 %	Fahrradstellplatzschlüssel entspricht dem geforderten Mindestschlüssel für Pfaff-Areal (Beispiel: Büro & Dienstleistung 1 Fahrradabstellplatz je 60m² NF)	
2 %	Fahrradstellplatzschlüssel um den Faktor 1,2 erhöht (Beispiel: Büro & Dienstleistung 1 Fahrradabstellplatz je 50m²NF)	
4 %	Fahrradstellplatzschlüssel um den Faktor 1,5 erhöht (Beispiel: Büro & Dienstleistung 1 Fahrradabstellplatz je 40m²NF)	
8 %	Fahrradstellplatzschlüssel um den Faktor 2 erhöht (Beispiel: Büro & Dienstleistung 1 Fahrradabstellplatz je 30m²NF)	
2. Qualitative Anforderungen an Fahrradstellplätze (Mehrfachnennung möglich)		
2 %	Maßnahmen zum Diebstahlschutz sind in ausreichender Zahl getroffen: Für min. 10% der Fahrradabstellplätze sind entweder im Gebäude integrierte Lösungen oder bei Außenabstellanlagen abschließbare Fahrradboxen vorhanden.	
3 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Zweiräder sind für min. 20% der Fahrradstellplätze vorhanden.	
4 %	Es ist für Radfahrer/innen am oder im Gebäude eine wettergeschützte, gut ausgeleuchtete und mit dem Fahrrad gut erreichbare Fläche oder Raum einschließlich Servicestation mit grundlegender Reparaturausstattung (Luftpumpe, Werkzeug, Radhalter) für kurzfristig notwendige Wartungsarbeiten vorhanden. Es gibt Duschen und Umkleiden für die Nutzer/innen, die die Anfahrt mit dem Fahrrad zurücklegen (mind. je 1 pro Geschlecht). Es gibt Trocknungsmöglichkeiten für die Fahrradkleidung der Nutzer/innen.	
3. Ladeinfrastruktur PKW		
4 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Pkw sind für min. 10 % der Pkw-Stellplätze vorhanden. 40% der übrigen Pkw-Stellplätze verfügen über Leerrohre zur nachträglichen Installation.	
6 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Pkw sind für min. 20 % der Pkw-Stellplätze vorhanden. 30% der übrigen Pkw-Stellplätze verfügen über Leerrohre zur nachträglichen Installation.	
8 %	Lademöglichkeiten für Elektro-Pkw sind für min. 30 % der Pkw-Stellplätze vorhanden. 20% der übrigen Pkw-Stellplätze verfügen über Leerrohre zur nachträglichen Installation	

Grundlage der Reduzierungen sind die Kosten der einzelnen Maßnahmen. Die Reduzierungsraten sind so gewählt, dass die Bauherrin/der Bauherr durch die ausgelöste Stellplatzreduzierung, trotz Investition in die Maßnahme, in Summe Geld einspart. Daher besitzen kostenintensive Maßnahmen höhere Reduzierungsraten als kostengünstigere Maßnahmen. Somit besteht ein finanzieller Anreiz in die Infrastruktur zu investieren.

Neben den zuvor aufgeführten und aufgrund des Innovationscharakters besonders bedeutsamen Projekt- bzw. Forschungsergebnissen (Stellplatzsatzung mit dem dort integrierten Instrument „Bauen für nachhaltige Mobilität“ sowie die Implementierung von Mobilitätsstationen im Pfaff-Quartier) wurden im Mobilitätskonzept zahlreiche weitere Maßnahmen entwickelt bzw. darin festgehalten. Diese sind in ihrer Gesamtheit als wirksame Möglichkeit zur Unterstützung eines umwelt- und gesundheitsfördernden Mobilitätsverhaltens zu bewerten. Nachstehend sind Beispiele aus dem Mobilitätskonzept aufgeführt, die zugleich über Festschreibungen zur Mobilität in den Bebauungsplan aufgenommen wurden:

- Geschwindigkeit: Maximal 20 km/h auf allen Quartiersstraßen (verkehrsberuhigt)
- Parken: im öffentlichen Raum des Quartiers reduziert auf 30 Stellplätze, Angebot von Quartiers-Parkhäusern
- Fußgängerzone am zentralen Platz des Pfaff-Quartiers um das neue Kesselhaus in der Lina-Pfaff-Straße

Die nachstehende Abbildung gibt einen Gesamtüberblick zu den mit dem Mobilitätskonzept erarbeiteten Maßnahmen und zeigt über die Länge der grünen Maßnahmenbalken deren Einwirken auf die drei Ziele Vermeidung, Verlagerung und Effizienzsteigerung. Die Reihenfolge der Ziele von links nach rechts ist dabei lediglich zur besseren Darstellung gewählt.



Abbildung II-15: Betrachtete Handlungsfelder im Mobilitätskonzept - © IfaS

Das Mobilitätskonzept steht auf der Webseite des Projektes als Download zur Verfügung.¹⁹

Neben der Erstellung des Mobilitätskonzeptes hat sich das IfaS in seiner Funktion als Leiter der AG Mobilität auch kontinuierlich an der begleitenden Öffentlichkeitsarbeit beteiligt. Zur Vermittlung der Ergebnisse des Arbeitspaketes sind insbesondere zu nennen:

- Die Erstellung eines Posters zur Sektorenkopplung PV und E-Mobilität,
- die Teilnahme an der Veranstaltungsreihe „Im PFAFF Quartier in Zukunft leben und arbeiten“ mit einem Vortrag zu den alternativen Mobilitätsangeboten für das Pfaff-Quartier im Herbst 2023 (vgl. AP 2.3.2),
- die inhaltliche Gestaltung der Themenseiten auf der Projektwebseite von EnStadt:Pfaff²⁰
- die Präsentation von Ergebnissen im Rahmen von Veranstaltungen des Gesamtvorhabens (bspw. Pfaff-Symposium, Fachkonferenzen, Vernetzungstreffen, Gremienpräsentationen).

II.1.3.4 Wesentliche Erkenntnisse

Die vorausgehende Entwicklung eines Mobilitätskonzeptes hat deutlich dazu beigetragen, dass nachhaltige Mobilitätslösungen im Bebauungsplan festgesetzt werden konnten. Zusätzlich wurde die Verabschiedung einer innovativen Stellplatzsatzung mit bundesweiten Vorbildcharakter erreicht.

Vorgesehen ist nun unter anderem der Bau von acht Mobilitätsstationen im Quartier, die den künftigen Bewohnerinnen und Bewohnern eine nachhaltige Mobilität ohne eigenen Pkw ermöglicht, finanziert über die Ablöse für die reduzierte Anzahl der Stellplätze.

Ein wichtiges Ziel des zukunftsfähigen Quartiers ist eine hohe Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum. Im Bebauungsplan ist daher Tempo 20 auf allen Quartiersstraßen vorgesehen. Dies erleichtert die gemeinsame Nutzung der Straßen durch Pkws, Fahrräder sowie Fußgängerinnen und Fußgänger. Öffentliche Parkplätze sind stark reduziert, um mehr Raum für alle Verkehrsteilnehmende bereitzustellen.

Die Erfahrungen zur Erstellung des Mobilitätskonzeptes sind auch auf andere Quartiere in der Stadt bzw. bundesweit in anderen Kommunen übertragbar und können folglich von Forschenden, Planern und Umsetzungsakteuren aus der Quartiers- / Städtebauentwicklung umfassend verwertet werden. Zudem werden sie für das IfaS zukünftig einen wichtigen Bestandteil der Kommunalberatung zur Förderung von nachhaltigen Mobilitätsprozessen sein.

¹⁹ Vgl. <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

²⁰ Vgl. <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

Zusammenfassend lassen sich die nachstehenden Forschungserkenntnisse aus dem Arbeitspaket darstellen:

- Die Konzeption von nachhaltigen Mobilitätskonzepten muss frühzeitig im Rahmen der Bauleitplanung erfolgen, da sie einen großen Einfluss darauf hat.
- Um innovative und nachhaltige Mobilitätslösungen zur Beschlussreife zu entwickeln, bedarf es einer kontinuierlichen und engen Zusammenarbeit zwischen Forschung und Planenden der Stadtverwaltung.
- Die Umsetzung nachhaltiger Mobilitätslösungen verändern den öffentlichen Raum und beschränken die Freiheit der Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer, sie müssen deshalb in Satzungen festgeschrieben werden und es ist wichtig, um die Akzeptanz der Beteiligten zu werben. Eine frühzeitige Investorenberatung ist in diesem Zusammenhang gleichermaßen von großer Bedeutung – wie es zum Ende der Projektphase angeboten wurde und auch in der zweiten Förderphase von EnStadt:Pfaff vorgesehen ist.

II.1.4 AP 1.2.2 Digitaler regionaler Wertschöpfungsrechner

In Zeiten des globalen Klimawandels und der wachsenden Abhängigkeit von zunehmend teurer werdenden fossilen Brennstoffen gewinnt die regionale Wertschöpfung durch nachhaltige Energiesysteme immer stärker an Bedeutung.

Innerhalb des Verbundvorhabens EnStadt:Pfaff stellt die Regionale Wertschöpfung daher einen zentralen Untersuchungsgegenstand dar. Dieser wurde im Arbeitspaket 1.1.2 gemeinsam vom Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) und dem Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE) bearbeitet.

II.1.4.1 Ziel

Die Ermittlung der regionalen Wertschöpfung ist ein zentrales Instrument wirtschaftlicher Analysen und der Regionalentwicklung. Sie ermöglicht eine fundierte Bewertung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und Struktur einer Region und bietet somit wichtige Anhaltspunkte für politische Entscheidungsprozesse sowie für die gezielte Entwicklung regionaler Strategien.

Durch die Analyse der wirtschaftlichen Aktivitäten innerhalb eines geografisch abgegrenzten Raums lassen sich sowohl relative als auch absolute Beiträge einzelner Sektoren zur Gesamtwertschöpfung identifizieren. Damit verbunden ist die Möglichkeit, Wachstumspotenziale zu erkennen, wirtschaftspolitische Maßnahmen gezielt zu steuern und die regionale Resilienz gegenüber globalen Herausforderungen zu stärken.

Ursprünglich war geplant, eine Pilotsoftware zu entwickeln, die eine eng gefasste Auswahl an Investitionsoptionen und Wertschöpfungsketten als Demonstrator abbildet. In der Zusammenarbeit zwischen IfaS und IESE wurde jedoch deutlich, dass selbst vereinfachte Modelle komplexer Zusammenhänge für viele Nutzerinnen und Nutzer schwer verständlich sind. Um dennoch eine breite Zugänglichkeit sicherzustellen, wurde eine alternative Lösung erarbeitet: die Entwicklung einer niedrigschwelligen, interaktiven Anwendung zur Vermittlung von Grundlagen der regionalen Wertschöpfung.

Als leicht verständlicher Einstieg in das Thema wurde die KLARa-App (Kaiserslautern Augmented Reality App) entwickelt. Diese prototypische Anwendung vermittelt die komplexe Thematik der regionalen Wertschöpfung anhand einer nachvollziehbaren Wertschöpfungskette: der Herstellung eines Bäckerbrötchens – vom Getreideanbau über die Ernte, das Mahlen und Backen bis zum Verkauf in der Bäckerei.

KLARa nutzt Augmented Reality (AR) und Storytelling, um den Mehrwert regionaler Produkte erlebbar zu machen. Ziel ist es, das Bewusstsein für die Bedeutung regionaler Kreisläufe zu fördern und ein grundlegendes Verständnis für wirtschaftliche Zusammenhänge im Alltag zu schaffen.

Die Entwicklungsgeschichte²¹ sowie die App für die mobilen Betriebssysteme Android (Open source)²² und iOS (Apple)²³ sind online abrufbar bzw. zum Download verfügbar.

Die Analyse der Regionalen Wertschöpfung (RWS) sollte im Rahmen des vorliegenden Arbeitspakets auch projektspezifisch auf Quartiersebene erfolgen.

Da eine ganzheitliche Betrachtung aller Investitionsmaßnahmen im Quartier zu komplex und ressourcenintensiv gewesen wäre, wurde der Fokus auf vier besonders relevante Bereiche gelegt, die voraussichtlich den größten Beitrag zur regionalen Wertschöpfung leisten:

- PV-Stromversorgung
- Nahwärmeversorgung
- Bauliche Dämmmaßnahmen
- Zukunftsfähige Mobilität

Für jedes dieser Themenfelder wurden digitale Wertschöpfungsrechner entwickelt, die es ermöglichen, Investitionen auf ihre wirtschaftlichen Effekte für die Region zu analysieren. Dabei wurden auch die Wirkungen öffentlicher Fördermaßnahmen berücksichtigt und simuliert, um deren Effekte auf die regionale Wertschöpfung zu bewerten.

Die Kombination aus wissenschaftlicher Methodik, digitaler Aufbereitung und praktischer Anwendung im Pfaff-Quartier zeigt, wie regionale Wertschöpfung nachvollziehbar und wirkungsvoll analysiert werden kann. Während die KLARa-App niedrigschwellig Grundlagen vermittelt, bieten die digitalen Wertschöpfungsrechner eine fundierte Entscheidungsbasis für konkrete Investitionen auf Quartiersebene. Langfristig können solche Instrumente dabei helfen, regionale Potenziale gezielt zu fördern, wirtschaftliche Abhängigkeiten zu reduzieren und eine nachhaltige, resiliente Stadtentwicklung zu unterstützen.

II.1.4.2 Vorgehensweise und Methodik zur Entwicklung und Umsetzung der KLARa-App

Die Entwicklung der mobilen Augmented-Reality-Anwendung KLARa wurde als innovativer Ansatz konzipiert, um die breite Öffentlichkeit auf niedrigschwellige, spielerische Weise für die Bedeutung regionaler Wirtschaftskreisläufe zu sensibilisieren. Die Herausforderung bestand insbesondere darin, das

²¹ Online unter: <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/ar-and-storytelling-to-convey-ideas/>

²² Online unter: <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.fhg.iese.pfaff.klara>

²³ Online unter: <https://apps.apple.com/de/app/klara-regionale-wertsch%C3%B6pfung/id6448877297>

abstrakte Konzept der RWS so aufzubereiten, dass es leicht verständlich, anschaulich und zugleich ansprechend vermittelt werden kann.

Zur Erreichung dieses Ziels wurde ein interdisziplinärer, methodisch strukturierter Entwicklungsprozess durchlaufen, der kreative, technische sowie gestalterische Komponenten miteinander verband. Der gesamte Prozess, von der Ideengenerierung und inhaltlichen Konzeption über das Storytelling und die Modellierung bis hin zur technischen Implementierung und Veröffentlichung, wird in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich dokumentiert.

Dabei lag der Fokus insbesondere auf der Frage, wie ein interaktives digitales Erlebnis gestaltet werden kann, das sowohl die emotionale als auch die kognitive Beteiligung der Nutzer stärkt. Die Kombination aus AR-Technologie, narrativem Ansatz und lokal verorteter Handlung wurde gezielt gewählt, um ein hohes Maß an Nutzerbindung und Identifikation mit dem Thema zu erreichen.

Die folgenden Abschnitte geben einen detaillierten Einblick in die einzelnen Entwicklungsschritte, die gestalterischen und technischen Entscheidungen sowie die eingesetzten Tools und Methoden, die letztlich zur erfolgreichen Umsetzung der KLARa-App geführt haben.

II.1.4.2.1 Die Entwicklung der KLARa-App

Im Rahmen des Pfaff-Projekts wurde festgestellt, dass es immer noch wichtig ist die Öffentlichkeit für den Wert regionaler Produkte zu sensibilisieren. Da das Konzept der Regionalen Wertschöpfung (RWS) selbst etwas vage und schwer verständlich ist bestand die größte Herausforderung dabei darin, die Idee vereinfacht und leicht verständlich näher zu bringen, um das Interesse des Publikums während der Vermittlung des Konzeptes nicht zu verlieren.

Um mögliche Lösungen zu erkunden, wurde anfänglich ein Kreativitätsworkshop zur Ideensammlung durchgeführt. Eine interessante Idee, die während des Workshops entstand, war die Nutzung der Methode des „Storytellings“. Es musste lediglich eine passende Geschichte entwickelt werden, welche für Menschen unterschiedlicher Altersgruppen interessant sein könnte. Eine weitere Idee war der Einsatz von Augmented Reality (AR) aufgrund seiner attraktiven Funktionen. Es wurde sich darauf geeinigt, beide Ideen in die Entwicklung von KLARa zu integrieren: Eine mobile Anwendung, die AR-Technologie und Storytelling kombiniert, um ein unterhaltsames Erlebnis zu bieten, welches die Aufmerksamkeit der Nutzer fesselt und sie im besten Fall dazu anregt, es mit anderen zu teilen.

II.1.4.2.2 Entwicklung der Geschichte (Storytelling)

Der erste Schritt zur Umsetzung der Lösung war das Schreiben einer geeigneten Geschichte. Da Brot ein beliebtes Lebensmittelprodukt ist, welches auf fast jedem Frühstückstisch nicht fehlen darf, wurde beschlossen, RWS anhand der Geschichte eines kleinen Brötchens aus dem Landkreis Kaiserslautern zu erzählen und zu erläutern.

Die Geschichte besteht aus fünf Kapiteln, welche jeweils an einem anderen Ort im Landkreis Kaiserslautern erzählt werden. Im ersten Kapitel, das auf einem Spielplatz in Kaiserslautern beginnt, spielt das Brötchen auf einer Schaukel, während die fiktive Erzählerin KLARa die Bühne dafür bereitet und dazu verschiedene Fragen stellt. Z. B. welche Beziehung zwischen dem Brötchen und der Schaukel besteht und wie das Brötchen auf die Schaukel kam. Auf diese Fragen gibt KLARa später in der Geschichte Antworten.

Im Verlauf der Geschichte nimmt KLARa die Nutzer auf mehrere Exkursionen zu den an der Herstellung des Brötchens beteiligten Akteuren mit und bittet sie ihre Rolle und ihren Beitrag zum Prozess zu erklären. So spielt das zweite Kapitel auf einem Bauernhof, wo auf den zugehörigen Feldern Weizenkorn gepflanzt wird. Das dritte Kapitel wird in der Mühle, wo das Mehl hergestellt wird, erzählt und das vierte in der Bäckerei, wo das Brötchen gebacken und verkauft wird. In jedem Kapitel werden neue Charaktere vorgestellt: Frau Acker, die Bäuerin; Herr Müller, der Mühlenbesitzer; Herr Schrauber, der Handwerker; Frau Wagner, die LKW-Fahrerin, und Frau Korn, die Bäckereibesitzerin. Im letzten Kapitel fasst KLARa die Reise zusammen, die während der Geschichte unternommen wurde, und beantwortet die ursprüngliche Frage: „Wie kam das Brötchen auf die Schaukel?“

So wird am Ende der Geschichte das Verständnis dafür aufgebaut, wie ein starker regionaler Wirtschaftskreislauf entstehen kann, wenn die Menschen in einer Region arbeiten, Steuern zahlen und in ihrer Region hergestellte Produkte kaufen.

II.1.4.2.3 Gestaltung und Erstellung der Modelle und Animationen

Nach dem die Geschichte entworfen war, wurde an der Gestaltung der Charaktere und Umgebungen für die mobile App KLARa gearbeitet.

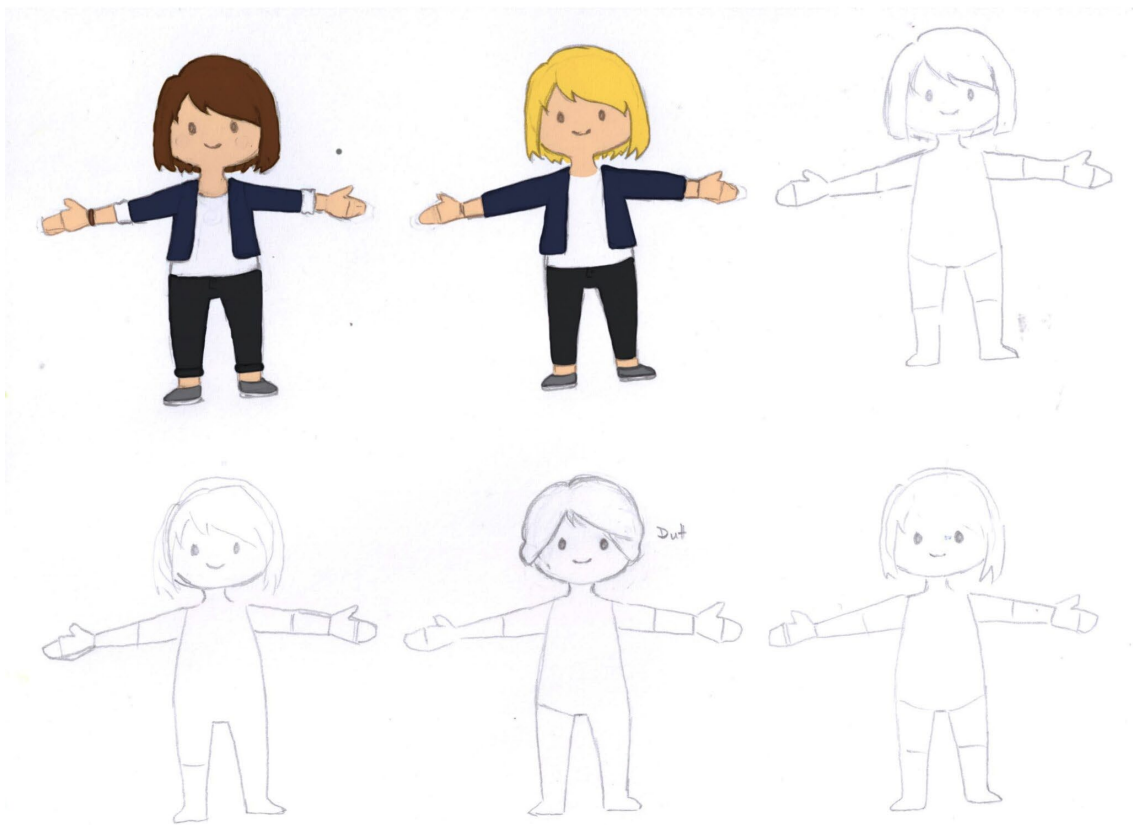


Abbildung II-16: Die skizzierten Designvarianten von KLARa – © Fraunhofer IESE

Vor dem Entwurf eigener Assets wurden bereits vorhandene Referenz-Charaktere und -Umgebungen unterschiedlicher Stile zur Inspiration genutzt. So konnte eine grobe Vorstellung davon entwickelt werden, wie die Charaktere und Umgebungen in den Story-Szenen aussehen sollten. Darauf aufbauend skizzierte ein zuständiger Designer verschiedene Varianten der Charaktere, um sie zu vergleichen, Verbesserungsvorschläge zu ermöglichen und diejenigen auszuwählen, welche am besten der Vision entsprachen.

Für KLARa wurde schließlich ein cartoonhafter Charakter ausgewählt. Die Charaktere wurden mit runden Gesichtern und relativ kurzen Körpern entworfen, um ein liebenswertes Aussehen zu schaffen, welches Empathie zu wecken vermag. Da KLARa die Bedeutung des Kaufs regionaler Produkte vermitteln soll, war Authentizität ein wesentliches Kriterium. Daher wurden den Details in den Umgebungen der verschiedenen Szenen besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Z. B., indem der berühmte bunte Fisch (das Symbol von Kaiserslautern) in die Spielplatzszene eingefügt wurde oder die Mühle und das Bauernhaus in einer Weise gestaltet wurden, welche dem deutschen Architekturstil entspricht. Zudem wurde das lokale Brot, bekannt als „Pfälzer Landbrot“ in das Menü der Bäckerei aufgenommen und es wurde die Karte des Landkreises Kaiserslautern verwendet. Weiterhin wurde das Rathaus von Kaiserslautern in die Schlusszene eingefügt.

Praktische Hinweise:

Bereits zu Beginn des Projekts stellte sich die grundlegende Frage, für welche Altersgruppe die Anwendung entwickelt werden sollte. Diese Überlegung beeinflusste maßgeblich die spätere gestalterische Umsetzung, etwa bei der Entscheidung, ob ein realistischer oder ein cartoonhafter Stil besser geeignet ist. Um sich visuell inspirieren zu lassen, bot es sich an, Beispiele aus Animationsfilmen oder Handyspielen zu analysieren. Auch erste eigene Skizzen – sowohl von Charakteren als auch von Umgebungen – erwiesen sich als hilfreich, um ein Gefühl für den gewünschten Stil und die Atmosphäre zu entwickeln. Dabei war es weniger wichtig, besonders gut zeichnen zu können, als vielmehr Ideen und Stimmung sichtbar zu machen.

Ein weiterer Schritt bestand darin, sich mit bestehenden Spielmechaniken auseinanderzusetzen. Besonders erfolgreich schienen Konzepte zu sein, bei denen die Spielfigur beispielsweise von einem Monster verfolgt wird oder Hindernissen ausweichen muss – ein Prinzip, das leicht verständlich ist und Spannung erzeugt. Das sogenannte „Endlos-Spielprinzip“ (Endless Runner) erschien dabei besonders attraktiv: Es bietet nicht nur einen unkomplizierten Einstieg, sondern lässt sich auch technisch effizient umsetzen. Zusätzlich entsteht ein Wiederspielwert, etwa durch das Ziel, die eigene Punktzahl zu überbieten.



Abbildung II-17: Erstellung des digitalen Modells – KLARa in verschiedenen Ansichten – © Fraunhofer IESE

Für die Körper der Charaktere wurden verschiedene Animationen (z. B. Gehen, Winken, Armbewegungen usw.) mittels Blender erstellt. Zur Vereinfachung wurden Gesichtsanimationen weggelassen. Animiert wurde mit einer Bildrate von 24 Bildern pro Sekunde (fps). Für Audioaufnahmen der Charaktere liehen einige Kollegen ihre Stimmen, welche als (.wav) Audioclips erstellt und abgespeichert wurden.

II.1.4.2.4 Gestaltung der AR-Anwendung (Benutzeroberflächen und Benutzererlebnis)

Um die Synchronisation zwischen den Animationen und den Audioclips zu gewährleisten waren mehrere Durchläufe nötig. Zunächst wurden Referenz-Audioclips für die Skripte aller Charaktere aufgenommen, um die jeweiligen Zeiträume für die Clips abzuschätzen; anschließend nutzte ein Designer die Referenzaufnahmen, um die Animation synchron zu erstellen. Sobald ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht war, wurden schließlich die offiziellen finalen Audioclips aufgenommen.

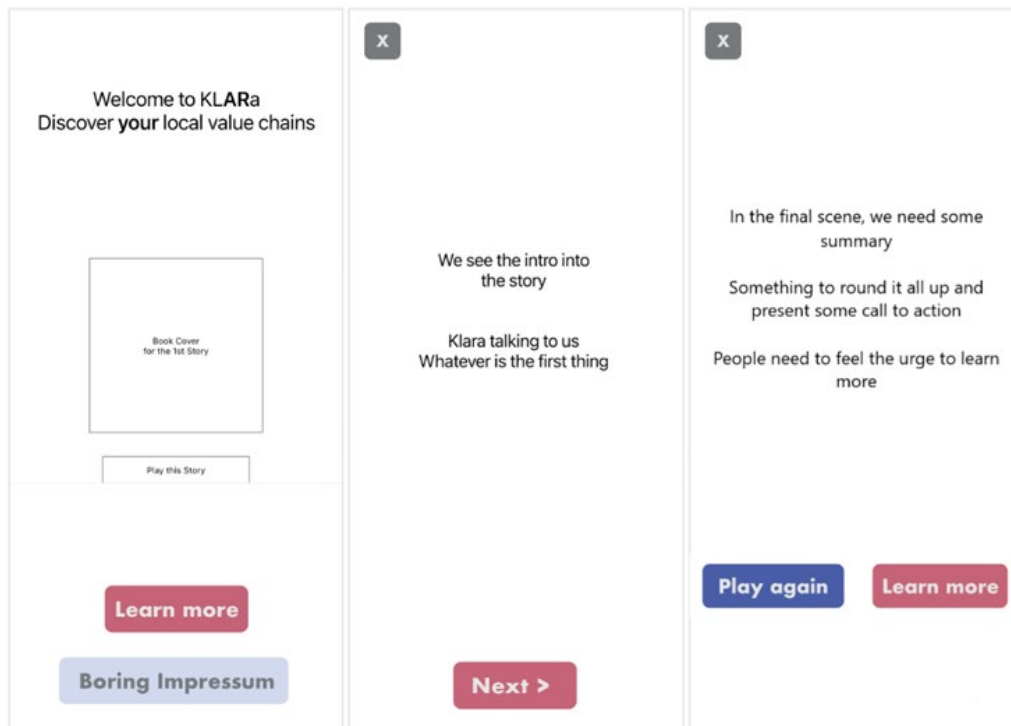


Abbildung II-18: V.I.n.r.: Hauptmenü – Story-Szene-UI-Design – Endmenü – © Fraunhofer IESE

Vor der Entwicklung von KLARA wurden einige schon bestehende AR-Anwendungen untersucht, um ein besseres Verständnis für AR-Erlebnisse zu entwickeln. Wertvolle Hinweise und Anregungen wurden z. B. aus Googles AR Elements-App, einer AR-Anwendung, welche Designer und Entwickler von AR-Anwendungen bei der Entwicklung unterstützt, gewonnen.

Für die Gestaltung der KLARA-Benutzeroberflächen wurden zunächst detailgetreue Skizzen erstellt. Anschließend wurden diese und die Übergänge zwischen den Skizzen mit Adobe XD in digitale Designs übertragen und für das Layout mit verschiedenen Farben und Schriftarten experimentiert. Hierbei wurde das Farbschema des Pfaff-Projekts angewendet. Um die Aufmerksamkeit des Nutzers direkt nach dem Start der Anwendung und nach der Kamerafreigabe weiter aufrecht zu erhalten, wurde entschieden, die Umgebung des Nutzers (die Kameraansicht) als Hintergrund für die Benutzeroberflächen zu verwenden, anstatt statische Umgebungen zu verwenden. Dies soll dem Nutzer einen Einblick in das Thema der Anwendung ggf. in seiner eigenen vertrauten Umgebung geben und seine Neugier wecken.

Für ein reibungsloses Benutzererlebnis wurde eine spezielle Benutzeroberfläche entwickelt, die dem Nutzer erklärt, was ihn zu Beginn der Geschichte erwartet. Darüber hinaus werden dem Nutzer während der Instanziierung²⁴ Anleitungen gegeben, um einen nahtlosen Ablauf zu gewährleisten.

Vor dem Übergang von einer Szene zur nächsten wird die Szene angehalten und ein „Zur nächsten Szene“-Button auf dem Bildschirm angezeigt, damit der Nutzer die Umgebung erkunden und sich frei darin bewegen kann.

Um das Benutzererlebnis zu intensivieren, wurden Hintergrundgeräusche hinzugefügt (Vogelgezwitscher in der Spielplatzszene, Hühnergeräusche in der Bauernhofszene etc.). Durch Untertitel für die Dialoge der Charaktere wurde außerdem dafür gesorgt, dass der Nutzer die Geschichte auch dann verstehen und genießen kann, wenn er die Lautstärke nicht erhöhen möchte.

Praktische Hinweise:

Im weiteren Verlauf des Projekts zeigte sich, wie wichtig eine strukturierte Vorgehensweise bei der Planung der Spielumgebung ist. Besonders hilfreich war es, zunächst ein grobes Storyboard zu entwerfen, um zentrale Spielmechaniken, Bewegungsrichtungen und mögliche Interaktionen zu visualisieren. Dies erleichterte nicht nur die spätere technische Umsetzung, sondern half auch dabei, gestalterische Entscheidungen im Gesamtzusammenhang zu betrachten.

In der frühen Phase der Entwicklung lohnt es sich außerdem, verschiedene grafische Elemente zunächst als Platzhalter („Dummies“) einzusetzen. Auf diese Weise kann die Funktionalität getestet und die grundlegende Spielmechanik aufgebaut werden, bevor viel Zeit in die finale Ausgestaltung investiert wird. Erst wenn die Struktur funktioniert, empfiehlt es sich, mit der detaillierten Gestaltung – beispielsweise von Figuren oder Hintergründen – fortzufahren.

Hilfreich war es zudem, frühzeitig eine realistische Einschätzung des eigenen Zeitrahmens vorzunehmen. Denn obwohl viele Ideen zu Beginn reizvoll erscheinen, lässt sich nicht jedes Detail im verfügbaren Umfang umsetzen. Eine klare Priorisierung der Elemente – also zu entscheiden, was wirklich notwendig ist und was als Ergänzung denkbar wäre – trägt wesentlich dazu bei, die Komplexität des Projekts zu bewältigen und am Ende ein funktionsfähiges, stimmiges Ergebnis zu erzielen.

²⁴ Der Begriff „Instanziierung“ steht für die Erzeugung eines Objekts in der objektorientierten Programmierung

II.1.4.2.5 Ergebnis der KLARa-App: Implementierung der AR-Anwendung

Nachdem alle Bausteine erstellt wurden, ging es an die Zusammenführung und Implementierung von KLARa. Dafür musste das richtige Tool mit den passenden Funktionen für die gestellten Anforderungen gefunden werden.

Im vorliegenden Fall war ein plattformübergreifendes Framework wichtig, um die Anwendung einmalig zu implementieren und sowohl für iOS- als auch für Android-Geräte zu entwickeln. Dafür wurde die Unity Game Engine genutzt. Unity bietet das AR Foundation Framework an, ein speziell für die Augmented-Reality-Entwicklung geschaffenes Framework, mit dem einmalig umfassende Erlebnisse erstellt und diese dann auf mehreren mobilen und tragbaren AR-Geräten eingesetzt werden können. Das AR Foundation-Paket enthält Schnittstellen für Kernfunktionen sowohl der Augmented-Reality-Plattform von Apple für iOS-Geräte (ARKit) als auch des Augmented-Reality-SDK von Google (ARCore). Um diese Funktionen nutzen zu können, wurden zusätzlich die Plug-in-Pakete der jeweiligen Anbieter für diese beiden Plattformen (Google ARCore XR Plug-in und Apple ARKit XR Plug-in) installiert.

Zur Versionskontrolle wurden Git und die offizielle Gitignore-Datei für Unity-Projekte angewendet. Um die Möglichkeiten von AR Foundation und unterstützte Funktionen zu erkunden und um diesbezüglich Basiswissen und eine gewisse Vertrautheit zu erlangen, wurde das GitHub-Repository „AR Foundation Samples“ genutzt.

Das Repository bietet mehrere AR-Beispielszenen, welche AR Foundation zur Demonstration der Funktionen verwenden. Jede Funktion wird in einer minimalen Beispielszene mit Beispielcode eingesetzt. Darüber hinaus wurde das GitHub-Repository „AR Foundation Demos“ genutzt, welches fortgeschrittenere Beispiele bietet.

Praktische Hinweise:

Um Unity zu nutzen, muss Unity Hub heruntergeladen und in der passenden Unity-Version installiert werden. Anschließend kann ein erstes „3D-Projekt“ erstellt und benötigte Pakete heruntergeladen werden. Zudem muss auch die IDE²⁵ installiert werden, mit welcher der Code für das Unity-Projekt geschrieben wird (im vorliegenden Fall wurde Microsoft Visual Studio verwendet und mit C# programmiert). Vor der Nutzung von Unity muss unbedingt die Unity-Lizenz und die Berechtigung für das entsprechende Vorhaben geprüft werden.

²⁵ Der Begriff steht für „Integrated Development Environment“, zu Deutsch: Integrierte Entwicklungsumgebung

Um das Layout einer Anwendung schnell auf verschiedenen Geräten mit unterschiedlichen Auflösungen und Seitenverhältnissen, verschiedenen Layouts für die Aussparungen, sowie abgerundeten oder abgeschrägten Kanten (z. B. Apple iPad 9. Generation, iPhone 13, Google Pixel 7, Samsung Galaxy S20 usw.) und die grundlegenden Interaktionen zu testen, muss das Device Simulator-Paket installiert werden. Der Device Simulator simuliert die Ansicht auf verschiedenen Mobilgeräten. So kann eine Vorschau der Darstellung einer Anwendung auf einem bestimmten Gerät erzeugt werden, ohne dass diese selbst erstellt und auf dem entsprechenden Gerät getestet werden müsste.

Im Folgenden werden die wichtigsten Funktionen von KLARa aufgelistet und Einblicke in deren Implementierung gegeben.

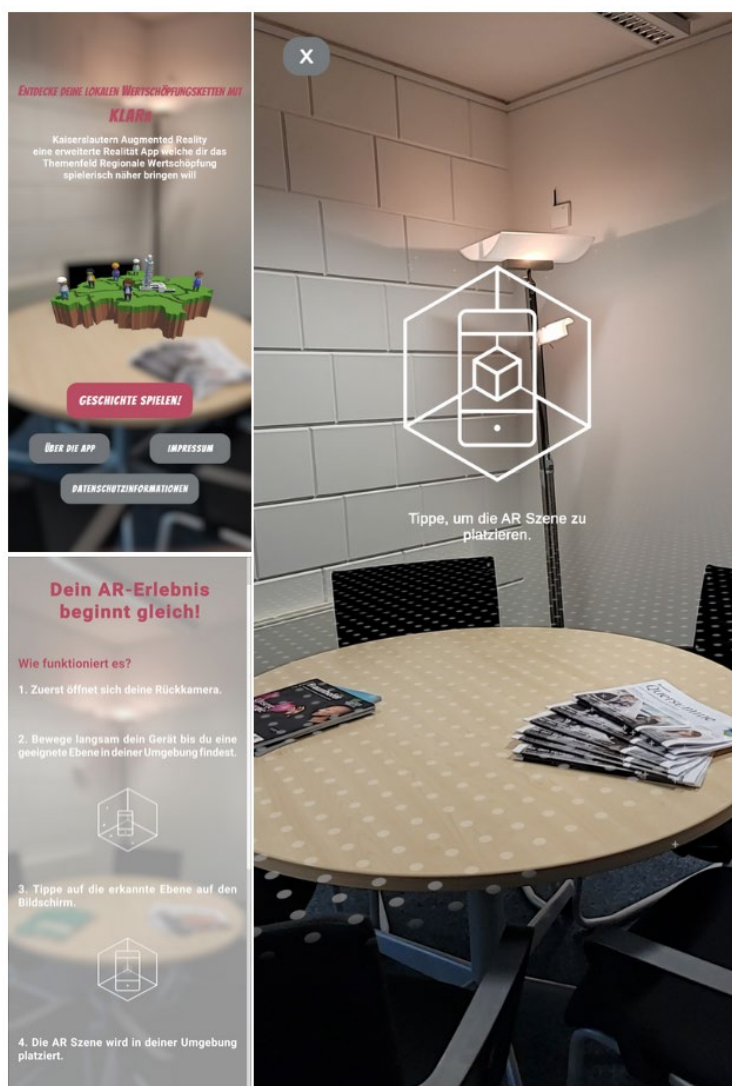


Abbildung II-19: V.l.n.r.: Hauptmenü – Lernerfläche – Ebenen-Erkennung – © Fraunhofer IESE

Um das AR-Erlebnis zu starten, muss der Nutzer mit der mobilen Kamera durch die Umgebung navigieren, um eine horizontale Ebene zu finden, auf der die erste Szene platziert werden kann.

Für die Ebenen-Erkennung, die Benutzerführung während des Prozesses und die Objektplatzierungsfunktionen wurde Code aus der Onboarding-UX-Beispielszene aus dem GitHub-Repository „Demo Projects“ der Unity-Technologies AR Foundation wiederverwendet.

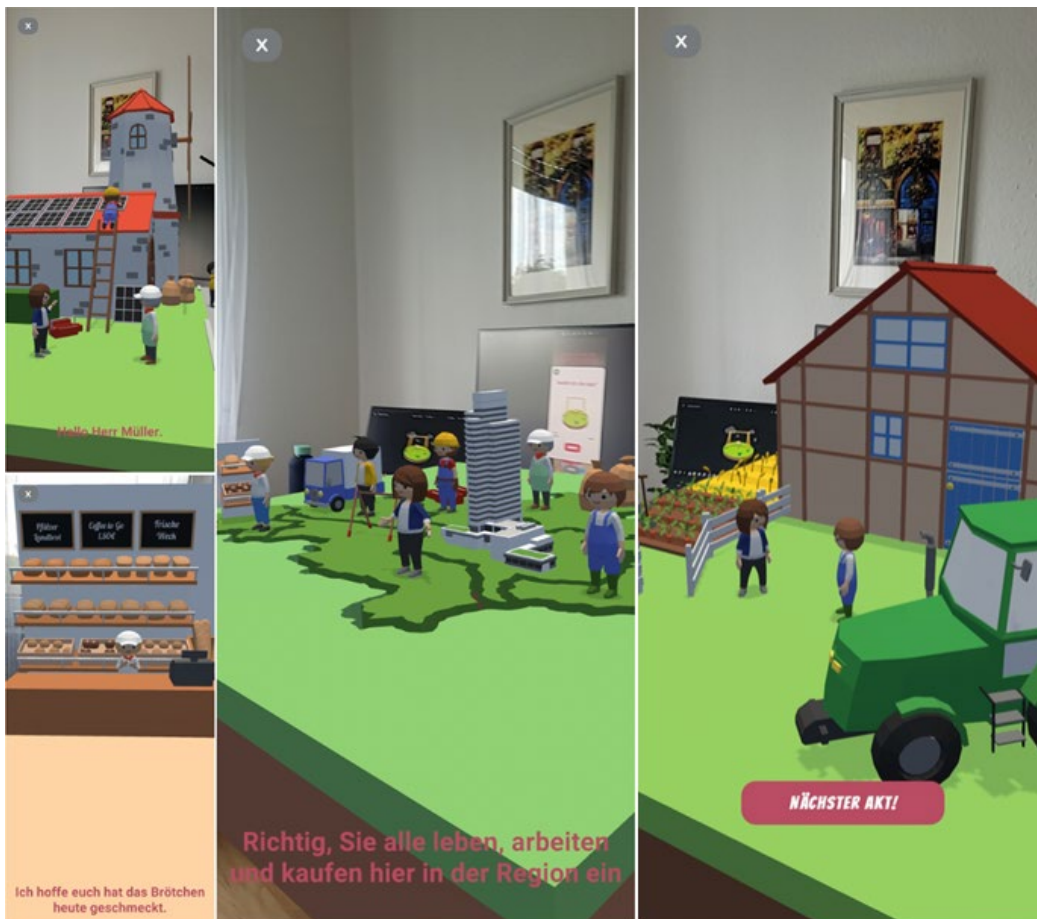


Abbildung II-20: V.l.n.r.: Mühlenszene – Bäckereiszene – Schlusszene – Farmszene – © Fraunhofer IESE

Um die Story-Szenen abzuspielen, wird die Unity Timeline genutzt. Der Unity Timeline Editor ist ein integriertes Tool, mit dem filmische Inhalte, Gameplay-Sequenzen, Audiosequenzen und komplexe Partikeleffekte erstellt und bearbeitet werden können. Um eine Timeline zu erstellen, müssen Clips zu Spuren hinzugefügt werden; eine Timeline besteht aus mehreren Spuren. Ein Clip ist eine Aktion, welche über einen bestimmten Zeitraum abgespielt wird.

Im vorliegenden Fall wurde die gesamte Story mit einer einzigen Timeline abgespielt. Für die Timeline wurden die folgenden Spurtypen verwendet:

Aktivierungsspur: Eine Spur, mit der ein Objekt ab einem bestimmten Zeitpunkt gesteuert (aktivieren/deaktivieren) werden kann. Diese Spur wurde genutzt, um Teile der Geschichte (Umgebungen und Charaktere) ein- und auszublenden und so durch die Story-Szenen zu navigieren.

Animationsspur: Diese Spur ermöglicht den Import vorhandener oder die Erstellung neuer Animationen. Diese Spur, wurde genutzt, um Animationsclips der 3D-Charaktere hinzuzufügen.

Audiospur: Diese Spur ermöglicht den Import vorhandener Audioclips und deren Bearbeitung. Diese Spur wurde genutzt, um die Soundclips der Charaktere und die Hintergrundsoundclips (Soundeffekte) hinzuzufügen.

Benutzerdefinierte Spur: Diese Spur ermöglicht es Entwicklern, eigene benutzerdefinierte Spuren zu erstellen. Im vorliegenden Fall wurde eine „Benutzerdefinierte Dialogspur“ erstellt, um die Untertitel der Dialoge anzuzeigen. Dafür wurde Code aus der benutzerdefinierten Dialogspur des Demospiels „A Terrible Kingdom“ verwendet.

Um die Zeitleiste nach jeder Story-Szene zu pausieren, wurden Timeline-Signale genutzt. Ein Signal ist ein spezieller Markertyp, welcher einen Zeitpunkt auf einer Zeitleiste markiert. Die Signalfunktion ermöglicht die Einrichtung eines Kommunikationskanals zwischen der Zeitleiste und externen Systemen. Am Ende jeder Story-Szene wird ein benutzerdefiniertes Signal „Nächste Szene anzeigen“ gesendet. Der Game Manager empfängt das Signal, pausiert die Zeitleiste und zeigt die Schaltfläche „Nächste Szene abspielen“ auf der Benutzeroberfläche an.

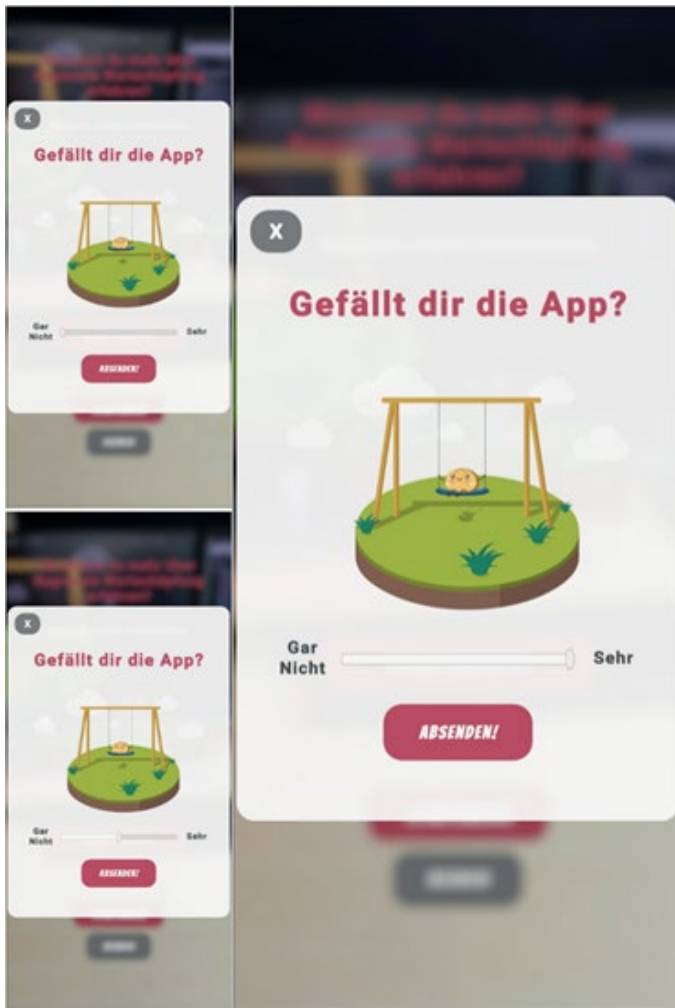


Abbildung II-21: Bewertung der AR-Anwendung – © Fraunhofer IESE

Nach der letzten Szene der Story fordert KLARa den Nutzer über eine Benutzeroberfläche auf, das Erlebnis zu bewerten.

Um das Nutzerfeedback zu speichern, wurde eine einfache Express.js (Node.js)-Backend-Anwendung entwickelt. Die Backend-Anwendung stellt eine RESTful-API mit einem Endpunkt bereit, der von KLARa aufgerufen wird, um die Nutzerbewertung zu veröffentlichen.

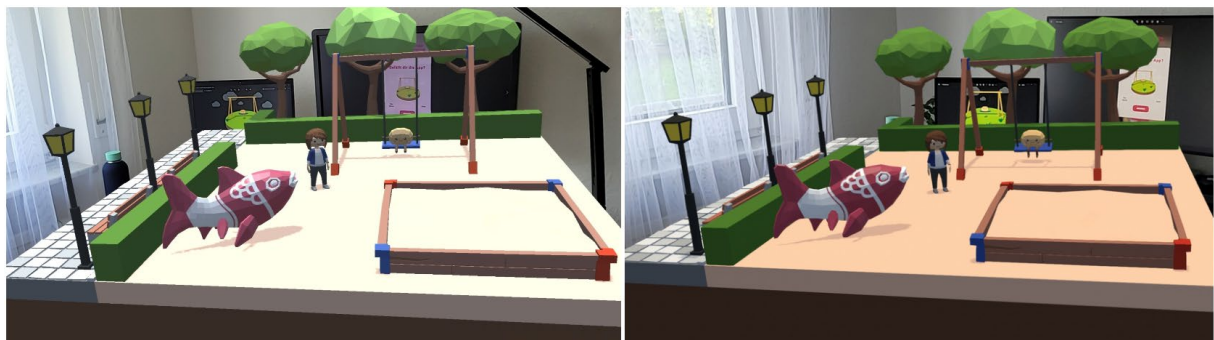


Abbildung II-22: V.I.n.r.: Spielplatzszene vor und nach der Nachbearbeitung – © Fraunhofer IESE

Als letzter Schliff wurden die Farben und Schatten in den Story-Szenen für ein realistischeres Erscheinungsbild optimiert. Dazu wurde mit verschiedenen Beleuchtungs- und Nachbearbeitungseinstellungen sowie Effekten experimentiert, wodurch beachtliche Unterschiede erreicht werden konnten. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass Effekte gewählt werden, welche den Leistungsanforderungen der genutzten Anwendung entsprechen.

KLARa wurde während der Entwicklung kontinuierlich getestet. Jedes Mal, wenn eine neue Funktion hinzugefügt wurde, wurde ein erneuter Test durchgeführt. Für rasche unkomplizierte Tests sollte, wie bereits erwähnt, immer der Gerätesimulator verwendet werden. Abschließend haben zudem mehrere Testpersonen die finale Version von KLARa auf verschiedenen End-Geräten begutachtet.

Der letzte Schritt ist schließlich die Veröffentlichung. Dafür wurde die Anwendung beschrieben und repräsentative Screenshots erstellt, welche den Stores zur Prüfung vorgelegt wurden. Nach der Freigabe der Stores stand die AR-APP KLARa dann zum Download dort bereit.

Neben der App-Anwendung als Einführung in das Thema RWS auf niederschwelligem Niveau waren im Projekt innerhalb des AP 1.2.2. auch und vor allem die realen wertschöpfungstechnischen Auswirkungen im zu sanierenden Quartier selbst von besonderer Bedeutung. Die komplette Betrachtung der RWS innerhalb eines dynamischen Systems ist jedoch u. U. hochkomplex und kompliziert. Es existieren oftmals eine Vielzahl von Wertschöpfungsketten, von denen jedoch nur einige wenige große Auswirkungen, oder zumindest das Potenzial dafür, auf die Gesamtwertschöpfung mit sich bringen. Dies gilt gleichwohl für das Pfaff-Quartier, weswegen sich im weiteren AP-Verlauf darauf verständigt wurde, v. a. jene Wertschöpfungsketten abzubilden, welche der Einschätzung nach die größten Wertschöpfungsauswirkungen auslösen. Die Wahl viel hierbei, wie bereits in der Einleitung erläutert, auf die PV-Stromerzeugung, die (Nah-)Wärmenetzbetrachtung, die Gebäudedämmung und die Betrachtung der zukunftsfähigen Mobilität im Quartier. Insgesamt wurden daher vier komplexe Kalkulations-Tools entworfen, um die Wertschöpfung für die genannten Bereiche zu ermitteln und abzubilden.

II.1.4.3 Vorgehensweise und Methodik zur Entwicklung der vier digitalen Wertschöpfungsrechner (Tools)

Die Ermittlung der regionalen Wertschöpfung für die vier relevanten Bereiche PV-Stromversorgung, Nahwärmeversorgung, Bauliche Dämmmaßnahmen und Zukunftsfähige Mobilität umfasst mehrere Arbeitsschritte:

1. Datenerhebung

Im ersten Schritt erfolgte eine systematische Sammlung ökonomisch relevanter Daten aus verschiedenen Quellen:

- volks- und betriebswirtschaftliche Statistiken
- Unternehmensberichte
- Beschäftigungs- und Steuerdaten
- Kostenentwicklungen und Förderprogramme
- regionale Struktur- und Fundamentalanalysen

2. Datenverarbeitung und Analyse

Die gesammelten Informationen wurden aufbereitet und zur Berechnung der regionalen Wertschöpfung verwendet. Dabei wurden Wertschöpfungsanteile für unterschiedliche Akteure und Profiteure identifiziert und quantifiziert. Im Fokus stand die Berechnung des regionalen Gesamtwerts innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraums.

Ziel war es, sowohl den absoluten als auch den relativen wirtschaftlichen Nutzen für die Region zu erfassen sowie Einflussfaktoren zu identifizieren, die die Wertschöpfung maßgeblich beeinflussen. Darüber hinaus wurde die Effektivität regionalwirtschaftlicher Maßnahmen, insbesondere von Förderprogrammen, hinsichtlich ihres Beitrags zur Steigerung der RWS bewertet.

Die Berechnung der RWS für die vier genannten Bereiche zielt darauf ab, die wesentliche Wertschöpfungssituation von beteiligten, regional ansässigen, Unternehmen darzustellen. Hierfür wurde ein weitgehend mikroökonomischer Ansatz gewählt, für welchen die beteiligten Unternehmen in Wertschöpfungsebenen in verschiedene Kategorie-Ebenen unterteilt wurden. Angefangen bei den Herstellern, über Groß- & Einzelhändler, zu zusätzlich benötigten Dienstleistern (z. b. Architekten, Planer etc.) und Handwerkern sowie Versicherungen und Kreditinstituten bis hin zur Betrachtung der Betreiber- und/oder Konsum-Ebene.

Die Wertschöpfungsebenen können dabei je nach Betrachtungsgegenstand innerhalb der einzelnen Ebenen, relevante Unternehmen abweichender Wirtschaftszweige beinhalten. Vom oberen Ende der Wertschöpfungskette bis nach weiter unten sind jedoch folgende Kategorie-Ebenen i. d. R. stets enthalten:

- Hersteller
- Großhändler/Einzelhändler
- Dienstleister
- Handwerk
- Versicherung
- Kreditinstitut

Die Wertschöpfungsebenen werden zudem i. d. R. in folgende Sektoren bzw. Profiteure unterteilt:

- Unternehmensgewinn
- Beschäftigung (Entgelte)
- Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Unternehmensgewinnen)
- Kommunale Einnahmen (GewSt- Anteil aus Unternehmensgewinnen)
- Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Beschäftigung)

Gegebenenfalls kommen hier weitere hinzu. Zum Beispiel aus Ersparnissen auf der Konsum-Ebene oder aus Unternehmerngewinnen auf der Betreiber-Ebene, welche wiederum zu weiteren kommunalen Einnahmen führen können.

Die weitere Darstellung der RWS-Berechnung wird hauptsächlich anhand der im Quartier vorgesehenen Photovoltaik-Anlagen (Mieterstrom-Modell) mit einer Gesamtleistung von 5.386 kWp vollzogen. Einerseits deswegen, da das PV-RWS-Tool im Gegensatz zu den drei anderen Kalkulatoren eine, relativ repräsentative, mittlere Komplexität aufweist und andererseits, da die PV-Stromerzeugung im Quartier synergetisch, ohne zusätzlichen Flächenbedarf, einbringen lässt und einen hohen Mehrwert für Bewohner (Einsparungen) und Betreiber (Unternehmensgewinn) bietet. Zudem ließ sich für die PV auch die höchste RWS (ca. 5,5 Mio. € im Zeitraum von 20 Jahren) ableiten. Bei Interesse oder im Bedarfsfall sind die ausführlichen methodischen Erläuterungen und Ergebnisse zu den vier einzelnen RWS-Tools jedoch in den vier dafür angelegten „Berichten zur Entwicklung des Aufbaus der Berechnungsarchitektur der Kalkulations-Anwendungen für Regionale Wertschöpfung“ zu finden.

Die folgende Tabelle II-7 zeigt dazu ein Kurz-Schema für das PV-RWS-Tool. Hier ist festgehalten, welche Profiteure bzw. RWS-Sektoren für welche RWS-Ebenen erfasst und kalkuliert werden.

Tabelle II-7: RWS-Matrix (PV-Anlage; Contracting-Mieterstrommodell) – © IfaS

RWS-Matrix	Profiteure	Unternehmer	Beschäftigte	Kommunen	Konsumenten	Betreiber
RWS-Ebenen / Akteure	RWS-Verortung	Unternehmensgewinne	Beschäftigungsentgelte	kommunale Einnahmen	Ersparnis (Konsumenten)	Betriebsgewinne
A Hersteller		x	x	x		
B Großhändler/Einzelhändler		x	x	x		
C Dienstleister		x	x	x		
D Handwerk		x	x	x		
E Versicherung		x	x	x		
F Kreditinstitut		x	x	x		
G Konsum-Ebene				x	x	
H Betreiber-Ebene						x

Dementsprechend beziehen sich die am häufigsten erforderlichen RWS-Teilberechnungen auf Unternehmensgewinne, Beschäftigungsentgelte und kommunale Einnahmen. Die kommunalen Einnahmen

lassen sich dabei wiederum in Einkommensteuer-Anteil aus Unternehmensgewinnen, Gewerbesteuer-Anteil aus Unternehmensgewinnen und Einkommensteuer-Anteil aus Beschäftigung unterteilen.

Im nunmehr folgenden Teil wird unter anderem eine Reihe von Abbildungen und Tabellen aus den einzelnen Berechnungs-Modulen gezeigt, um die Beschreibung der Funktionsweise der RWS-Tools zu veranschaulichen. Bezüglich der farblichen Gestaltung stellen hierbei blaue Zellen Parameterbeschreibungen oder berechnete Parameter dar, während grüne Zellen für freie Eingabeparameter stehen. Dunkelblaue Zeilen stehen für Titel und übergeordnete Benennungen.

II.1.4.3.1 Allgemeine Parameter

Am Anfang der RWS-Berechnung stehen grundlegende allgemeine Eingangsparameter. Diese dienen überwiegend der Ableitung und Modellierung der Finanzierung und der Kostenentwicklung. Beide Themengebiete sind hierbei für ein nachhaltiges Wertschöpfungsmodell substantiell.

Bezüglich der finanzierungsrelevanten Parameter sind hierbei der EK-Anteil, Zinssätze, Darlehenslaufzeiten, darunter auch tilgungsfreie Anlaufzeiten, von großer Bedeutsamkeit.

Tabelle II-8: Basisparameter Fremdfinanzierung für 5.386 kWp PV (Mieterstrom-Modell) – © IfaS

Finanzierung	
Eigenkapitalanteil	0%
Darlehenszinssatz	4,00% p.a.
Darlehenslaufzeit	20,00 a
Tilgungsfreie Anlaufzeit	1,00 a
Rate (monatliche zahlweise)	23.633,43 €
Kreditinstitut (Zinseinnahmen - ges. Laufzeit)	1.769.157,50 €

Aus diesen Parametern erfolgt, zusammen mit der Investitionssumme, die Berechnung der periodischen Rate der Rückzahlung und der Zinseinnahmen des Kreditinstituts. Die nächste Tabelle II-9 zeigt diesbezüglich einen Ausschnitt aus dem Zins- und Tilgungsplan. Im Bereich links sind die monatlichen Zins- und Tilgungsanteile der ersten zwei Jahre der Darlehenslaufzeit festgehalten. Im Bereich rechts befinden sich die nach Jahren kumulierten Beträge.

Tabelle II-9: Zins- und Tilgungsplan (links: nach Monaten; rechts: kumuliert nach Jahren) – © IfaS

			Restschuld				
Monat	Zinszahlung	Tilgung	Restschuld	Jahr	Zinszahlung	Tilgung	Restschuld
1	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	1	150.802,68 €	0,00 €	3.770.067,00 €
2	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	2	148.340,79 €	135.260,36 €	3.634.806,64 €
3	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	3	142.830,07 €	140.771,08 €	3.494.035,56 €
4	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	4	137.094,84 €	146.506,31 €	3.347.529,25 €
5	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	5	131.125,95 €	152.475,20 €	3.195.054,05 €
6	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	6	124.913,87 €	158.687,28 €	3.036.366,77 €
7	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	7	118.448,71 €	165.152,44 €	2.871.214,33 €
8	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	8	111.720,14 €	171.881,01 €	2.699.333,32 €
9	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	9	104.717,44 €	178.883,70 €	2.520.449,62 €
10	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	10	97.429,45 €	186.171,70 €	2.334.277,92 €
11	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	11	89.844,52 €	193.756,62 €	2.140.521,29 €
12	12.566,89 €	0,00 €	3.770.067,00 €	12	81.950,58 €	201.650,57 €	1.938.870,72 €
13	12.566,89 €	11.066,54 €	3.759.000,46 €	13	73.735,02 €	209.866,12 €	1.729.004,60 €
14	12.530,00 €	11.103,43 €	3.747.897,03 €	14	65.184,75 €	218.416,39 €	1.510.588,20 €
15	12.492,99 €	11.140,44 €	3.736.756,59 €	15	56.286,13 €	227.315,01 €	1.283.273,19 €
16	12.455,86 €	11.177,57 €	3.725.579,02 €	16	47.024,97 €	236.576,18 €	1.046.697,01 €
17	12.418,60 €	11.214,83 €	3.714.364,19 €	17	37.386,49 €	246.214,66 €	800.482,35 €
18	12.381,21 €	11.252,22 €	3.703.111,97 €	18	27.355,33 €	256.245,82 €	544.236,53 €
19	12.343,71 €	11.289,72 €	3.691.822,25 €	19	16.915,48 €	266.685,67 €	277.550,86 €
20	12.306,07 €	11.327,35 €	3.680.494,90 €	20	6.050,29 €	277.550,86 €	0,00 €
21	12.268,32 €	11.365,11 €	3.669.129,78 €	21	0,00 €	0,00 €	0,00 €
22	12.230,43 €	11.403,00 €	3.657.726,79 €	22	0,00 €	0,00 €	0,00 €
23	12.192,42 €	11.441,01 €	3.646.285,78 €	23	0,00 €	0,00 €	0,00 €
24	12.154,29 €	11.479,14 €	3.634.806,64 €	24	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Aus den Zinseinnahmen kann schließlich wiederum der potenziell regional wertschöpfende Anteil des Kreditgebenden Institutes errechnet werden. Hierzu sind jedoch weitere Parameter notwendig, welche im Verlauf dieses Berichtes noch vorgestellt werden.

Weiterhin relevant bezüglich des Geschäftsbetriebes ist die Berücksichtigung verschiedener Teuerungs-raten. Diesbezüglich sind vor allem die Allgemeine Teuerungsrate, z. B. für Roh-, Hilfs- und Betriebs-stoffe, aber auch für Personalaufwendungen und Betriebskosten, im Zuge der Einkommensentwicklung, zu nennen. Spezifisch für die PV ist zudem die Preissteigerung für die Stromkosten zu benennen. Für die Mobilität wären es darüber hinaus z. B. auch jene für Treibstoffe wie Benzin, Diesel, Erd- und Autogas.

Tabelle II-10: Preissteigerungsraten – © IfaS

		von	bis
Betrachtungsspanne für Preisentwicklung (Strom)		2010	2019
Betrachtungsspanne für Allg. Teuerungsrate (Inflation)		1950	2022
Produkt der Betrachtung	Nutzungsgrad	Preis	Preissteigerung
Allg. Teuerungsrate (Inflation)	-	-	2,54% p.a.
Betriebskosten	-	-	2,00% p.a.
Strom	1,00 kWh/kWh	40,00 €-Cent/kWh	2,17% p.a.

Die blaue Füllung der Zellen mit Preissteigerungsraten deutet daraufhin, dass diese aus dem langjährigen Durchschnitt der Preissteigerungen in Deutschland berechnet werden (Allg. Teuerung & Strom). Die grüne Füllung (Betriebskosten) zeigt an, dass der Wert frei gewählt werden kann. Hierbei muss jedoch darauf geachtet werden, dass frei wählbare Werte nicht ohne Begründung unrealistisch stark von der allgemeinen Teuerungsrate abweichen.

Weiterhin werden auch eine Vielzahl an spezifischen Eingangsparametern bezüglich des betrachteten Gegenstandes herangezogen.

II.1.4.3.2 Spezifische Parameter

Bei einer PV-Anlage sind das z. B. die installierte Leistung, die in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung erreichbaren Volllaststunden des Systems und die Kapazität sowie die Wechselrichterleistung eines PV-Speichers, falls ein solcher genutzt wird. Außerdem auch dezidierte Angaben zur Kostenaufteilung für die Systeme, PV-Anlage und PV-Speicher, welche eine Allokation zu regionalen (Planung, Montage, Inbetriebnahme etc.) und nicht-regionalen Kostenbestandteilen (überregional erworbene Komponenten) zulassen (siehe Tabelle II-11).

Tabelle II-11: Spezifische Aufwendungen für Investitions-Komponenten – © IfaS

Investitionsübersicht (PV)	spezifisch	relativ
Spezifische Netto-Investitionen in PV (Ø)	700 €/kW	100%
davon Planung (7,7%)	54 €/kW	8%
davon für Montage	64 €/kW	9%
davon für Module	290 €/kW	41%
davon für Wechselrichter	153 €/kW	22%
davon Anschlusskosten (Module, WR, AC etc.)	49 €/kW	7%
davon für Sicherung und Verkabelung	89 €/kW	13%
zusätzlich Umsatzsteuer	133 €/kW	19%
Gesamtkosten	3.770.067 €	

Quelle für Eingabefelder: <https://www.solaranlage.de/preise-kosten/photovoltaik-kosten>

Investitionsübersicht (PV-Speicher)	spezifisch	relativ
Spezifische Netto-Investitionen in PV (Ø)	750 €/kWh	100%
davon Planung (23,1%)	173 €/kWh	23%
davon für Montage	72 €/kWh	10%
davon für Batteriekörper inkl. Elektronik & Peripherie	350 €/kWh	47%
davon für Wechselrichter	250 €/kW	0%
davon Anschlusskosten (Batterie, WR, AC etc.)	55 €/kWh	7%
davon für Sicherung und Verkabelung	100 €/kWh	13%
zusätzlich Umsatzsteuer	143 €/kWh	19%
Gesamtkosten	0 €	

Quelle für Kosten (Montage, Anschluss, Sicherung und Verkabelung): <https://www.solaranlage.de/preise-kosten/photovc>

Materialkostenanteil (Anschluss, Sicherung und Verkabelung)	10%
--	------------

Der obere Bereich der Abbildung zeigt die Investitionen in die PV-Anlage. Die Positionen Module, und Wechselrichter, sowie 10% der Summen aus den Anschlusskosten und der Sicherung und Verkabelung werden hier der über- bzw. nicht-regionalen Wertschöpfung zugerechnet. Das Gros, von 90%, an den Anschlusskosten und der Sicherung und Verkabelung sowie die Montage werden als regionale Einnahmen beim Handwerk gesehen. Die Planung wird als Dienstleistung und damit ebenfalls als RWS angesetzt.

Im unteren Teil, der die Positionen für den PV-Speicher zeigt, stellt sich die Allokation nach sehr ähnlichem Muster dar. Auch hier werden die Positionen Anschlusskosten sowie Sicherung und Verkabelung zu 90% als regional und zu 10% als nicht-regional kalkuliert. Die Positionen Batteriekörper inkl. Elektronik & Peripherie und Wechselrichter werden weiterhin als nicht-regionale Wertschöpfung eingestuft, die Montage dagegen als RWS. Die Planung stellt als Dienstleistung erneut RWS dar.

Die Mehrwert- bzw. Umsatzsteuer geht dagegen nur zu sehr geringen Anteilen, zum Zeitpunkt der Berechnung 3,2%, an die Kommune und stellt ansonsten überwiegend nicht-regionale staatliche Einnahmen (Bund und Land) dar. Weiterhin lassen sich, zumindest im Falle von Photovoltaik (PV), die Betriebskosten in geeigneter Weise über die Investitionen ableiten.

Tabelle II-12: Relative Kosten von W&I, Modul-Pflege und Versicherung für PV – © IfaS

Betriebskosten (PV + ggf. Speicher)	v. Invest.
davon für Wartung und Instandhaltung (Module, WR, AC etc.)	1,00%
davon für Modul-Pflege und -Reinigung (2 x p.a.)	1,03%
davon für Versicherung	1,00%

* beinhaltet Haftpflicht- & Betreiberhaftpflicht-, Nutzungsausfall- (3 Monate) und Minderertrags-Versicherung (>10%), auch Batteriespeicher ist mitversichert

Für PV sind hierbei vor allem die Wartungs- und Instandhaltungskosten, die Versicherung und ggf. die Modulpflege- und Reinigungskosten zu benennen. Zudem sind zur weiteren Berechnung der Wertschöpfung noch weitere systemische, betriebswirtschaftliche und rechtliche, Parameter relevant. Im speziellen Fall beziehen sich diese auf ein dem Projekt angepasstem Contracting-Mieterstrommodell.

II.1.4.3.3 Systemische und reglementarische Parameter

Zu den systemischen Parametern zählen die Anlagendegression, sowie Angaben zur Stromerzeugung und Stromnutzung, welche ihren Ursprung aus Daten zum Nutzungsgrad, zur Anlagenleistung und zu den Vollbenutzungsstunden haben.

Tabelle II-13: Parameter zur Stromerzeugung und Stromnutzung für 5.386 kWp PV (Mieterstrom-Modell) – © IfaS

Stromerzeugung und Stromnutzung	
PV-Strom-Erzeugung (in P1)	4.560.405 kWh/a
Eigenstromverbrauchsquote (im Quartier)	58,79%
PV-Stromlieferung nach Mieterstrom-Modell (in P1)	2.681.200 kWh/a
PV-Strom-Netzeinspeisung (in P1)	1.879.204 kWh/a
Benötigter Netzstrombezug (in P1)	5.199.954 kWh/a
Anlagendegression	0,50% p.a.

Bezüglich der reglementarischen und betriebswirtschaftlichen Parameter stehen der Vergütungssatz oder stattdessen der erzielbare Marktpreis abzüglich Vermarktungskosten, ggf. die EEG-Umlage (seit 01.07.2022 auf 0 gesetzt und im Anschluss abgeschafft), der Mieterstromzuschlag und der angepeilte Konsumentenendpreis als Variablen im Vordergrund. Daraus lassen sich wiederum Umsatzsteueranteil und Deckungsbeiträge errechnen.

Tabelle II-14: Strompreiskomponenten – © IfaS

Strompreiskomponenten	
Vergütungssatz / erzielbarer Marktpreis abzgl. Vermarktungskosten	5,66 €-Cent/kWh
EEG-Umlage	6,50 €-Cent/kWh
Mieterstromzuschlag	2,70 €-Cent/kWh
Endpreis für Konsumenten (Netto)	30,25 €-Cent/kWh
Umsatzsteueranteil (Endkonsumenten-Preis)	5,75 €-Cent/kWh
Deckungsbeitrag (Endkonsumentenpreis)	23,75 €-Cent/kWh
Deckungsbeitrag aus Stromweiterleitung vom ÜNB	-3,36 €-Cent/kWh

Letztendlich können die Parameter und Werte aus den Bereichen Stromerzeugung und Stromnutzung sowie Strompreiskomponenten dazu genutzt werden die Einnahmen und Ersparnisse auf Betreiber-Ebene bzw. dem PV-Betrieb zu ermitteln.

Tabelle II-15: Einnahmen und Ersparnisse aus PV-Betrieb (5.386 kWp) – © IfaS

Einnahmen und Ersparnis	in Periode 1
Unternehmenseinnahmen aus PV-Strom-Netzeinspeisung	106.363 €/a
Unternehmenseinnahmen aus PV-Strom-Mieterstrom-Modell	636.841 €/a
Unternehmenseinnahmen aus Mieterstromzuschlag	72.392 €/a
Unternehmenseinnahmen aus Netzstromweitergabe	1.573.095 €/a
Unternehmensausgaben aus Netzstrombezug	-1.747.884 €/a
EEG-Umlage aus Unternehmenseinnahmen	174.278 €/a
Umsatzsteuer aus Unternehmenseinnahmen	453.001 €/a
Stromkosteneinsparung (Konsumenten)	107.248 €/a

Als mikroökonomische Grundlage zur Bestimmung der Wertschöpfung bietet sich die Gewinn- und Verlust- (GuV-Statement oder kurz GuV) sowie Cashflow-Rechnung (CF-Statement) an. Eine GuV ist dazu

Die folgende Abbildung zeigt in diesem Kontext nun einen sieben Jahre umfassenden Ausschnitt aus der auf 20 Jahre ausgelegten GuV aus Betreibersicht:

[illegible]

Hier zeigt die GuV ein sehr mieterfreundliches Beispiel mit gleichbleibendem Umsatz bzw. Mieter-Strompreisen. Der Gewinn wird dabei, trotz steigender Betriebskosten, durch die sinkenden Zinskosten des Annuitätendarlehens stabil gehalten.

Um aus allen Eingabeparametern und Annahmen sowohl die Steuerabgaben und die kommunalen Anteile daraus als auch die Wertschöpfung durch Beschäftigung ermitteln zu können wird eine weitere Berechnungsebene benötigt.

II.1.4.3.4 Regionale Unternehmensgewinne und Beschäftigung

Diese Berechnungsebene umfasst Informationen über die allgemeinen Gewinnmargen, Personalaufwendungen und der regionalen Ansässigkeit der Unternehmen bzw. Akteure der unterschiedlichen Wertschöpfungsebenen als auch deren Beschäftigten. Die Daten hierzu ergeben sich z. B. aus Veröffentlichungen der dt. Bundesbank oder aus Fundamentalanalysen für Unternehmen (einzusehen unter Finanzportalen wie z. B. finanzen.net). Bei Bedarf können Abschlüsse einzelner relevanter Unternehmen auch im Bundesanzeiger betrachtet und diesem entnommen werden. Die entsprechenden Daten sind in der folgenden Tabelle II-17 akkumuliert und ersichtlich.

Tabelle II-17: Gewinnmargen und regionale Anteile der Akteure – © IfaS

Akteure	
Hersteller	
Gewinnmarge vor Steuern	4,82%
Gewinnmarge nach Steuern	3,72%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	22,08%
regionaler Anteil (Unternehmen)	100%
regionaler Anteil (Beschäftigung)	100%
Großhändler	
Gewinnmarge vor Steuern	1,99%
Gewinnmarge nach Steuern	1,56%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	10,59%
regionaler Anteil (Unternehmen)	100%
regionaler Anteil (Beschäftigung)	100%
Einzelhändler	
Gewinnmarge vor Steuern	3,36%
Gewinnmarge nach Steuern	2,78%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	12,99%
regionaler Anteil (Unternehmen)	100%
regionaler Anteil (Beschäftigung)	100%
Dienstleister	
Gewinnmarge vor Steuern	2,00%
Gewinnmarge nach Steuern	1,40%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	13,72%
regionaler Anteil (Unternehmen)	100%
regionaler Anteil (Beschäftigung)	100%
Handwerk	
Gewinnmarge vor Steuern	4,51%
Gewinnmarge nach Steuern	3,71%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	29,30%
regionaler Anteil (Unternehmen)	100%
regionaler Anteil (Beschäftigung)	100%
Versicherung	
Gewinnmarge vor Steuern	5,72%
Gewinnmarge nach Steuern	4,00%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	9,32%
regionaler Anteil (Unternehmen)	100%
regionaler Anteil (Beschäftigung)	100%
Kreditinstitut	
Gewinnmarge vor Steuern	18,71%
Gewinnmarge nach Steuern	12,48%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	35,80%
regionaler Anteil (Unternehmen)	100%
regionaler Anteil (Beschäftigung)	100%

Zur besseren Veranschaulichung werden die jeweiligen regionalen Anteile von Unternehmen und Beschäftigten auf 100 % normiert. Auf diese Weise kann auch der mitunter hohe Wertschöpfungsanteil durch Herstelleraktivitäten dargestellt werden, selbst wenn diese insbesondere auf kleinräumiger Ebene, wie etwa bei Gemeinden, Landkreisen oder Bezirken, nur eine geringe oder gar keine regionale Bindung aufweisen.

Auch Handelsunternehmen, differenziert in Einzel- und Großhandel, erzielen in der Regel keinen vollständig regionalen Wertschöpfungsanteil. Dabei ist davon auszugehen, dass Einzelhändler typischerweise eine stärkere regionale Verankerung aufweisen als Großhändler. In der eigentlichen Betrachtung im Rahmen der Regionalen Wertschöpfungskette (RWS) werden die Handelsaktivitäten aggregiert und als Gesamtergebnis ausgewiesen.

Im Anschluss folgen weitere relevante Akteure der RWS, darunter:

- Dienstleister (Planungsebene),
- Handwerksbetriebe (Montage und Instandhaltung),
- Versicherungsunternehmen (z. B. Betreiberhaftpflicht-, Ertragsausfall-, Diebstahl- und Vandalismusversicherung, Allgefahrenabsicherung),
- Kreditinstitute (Bereitstellung von Darlehen).

Im speziellen Fall der Nutzung von Photovoltaik im Mieterstrommodell können darüber hinaus auch die wirtschaftlichen Kennzahlen großer Energieversorger (z. B. E.ON, RWE, EnBW) von Bedeutung sein.

Aus den allgemeinen sowie den spezifischen betriebswirtschaftlichen Parametern lassen sich die absoluten Bruttobeträge der regionalen Wertschöpfung ermitteln. Darauf aufbauend können mithilfe steuerlicher Parameter und Regelwerke auch die durch Abgaben generierten Wertschöpfungseffekte berechnet werden. Diese stellen insbesondere auf kommunaler Ebene eine zentrale Größe für die RWS dar. Bei Betrachtung großräumiger Einheiten – etwa auf Landes- oder Bundesebene – gewinnt auch der länderspezifische Anteil an den Steuereinnahmen an wertschöpfungstechnischer Relevanz.

II.1.4.3.5 Kommunale RWS durch Steuereinnahmen

Für die Ermittlung der kommunalen Steuereinnahmen im Rahmen der Regionalen Wertschöpfung (RWS) ist eine Vielzahl von Parametern erforderlich. Von besonderer Relevanz sind dabei, abgesehen von den Umlagen an Bund und Länder, insbesondere die Gewerbesteuer sowie anteilige Einkommensteuerzuweisungen. Die Umsatzsteuer hingegen leistet, wie bereits erläutert, nur einen sehr geringen Beitrag zur regionalen Wertschöpfung.

Die wesentlichen Daten zur Berechnung des kommunalen Anteils der RWS sind, innerhalb der Berechnungstools, in die Steuerdaten I bis III unterteilt (siehe Tabelle II-18). Die Steuerdaten I beziehen sich hierbei auf die Gewerbesteuer (GewSt), die Steuerdaten II stehen im Kontext zur Einkommensteuer und die Steuerdaten III zeigen Daten zur Aufteilung von Einkommensteuer an Kommune, Land und Bund sowie den Anteil der Kommunen an der Umsatzsteuer.

Tabelle II-18: Im Rahmen der Ermittlung der kommunalen RWS relevante steuerliche Daten – © IfaS

Steuerdaten I (GewSt-Teil)	
Gewerbsteuersatz	3,5%
Gewerbsteuerhebesatz	410,0%
Gewerbsteuerfreibetrag	24.500,00 €
GewSt-Gesamtumlage-Vervielfältiger	35,0%
Gewerbsteuerumlage	8,5%
Landesvervielfältiger (GewSt-Umlage)	20,5%
Kommunaler Anteil der GewSt am Ertrag	13,13%
Länderanteil - GewSt-Umlage	58,6%
Gewerbsteuer-Anrechnungsfaktor	4,0
Auf ESt anrechenbarer Anteil der GewSt	97,6%
Steuerdaten II (ESt-Teil)	
Einkommensteuersatz - Beschäftigte (Bundes-Ø)	17,8%
Angenommenes Unternehmereinkommen	85.000 € p.a.
Angenommener Unternehmer-ESt.-Satz (Ø)	31,25%
Anteil des regional verorteten Betreibergewinns	100,0%
Steuerdaten III (Allokations-Teil - Bund, Länder, Kommunen)	
Länderanteil/Bundesanteil - Einkommenssteuer	42,5%
Kommunaler Anteil - Einkommensteuer	15,0%
Kommunaler Anteil - Umsatzsteuer	3,2%

Unter Steuerdaten I finden sich der allgemeine Gewerbsteuersatz von 3,5%, sowie der Hebesatz für Kaiserslautern von 410% (bis 2020), aktuell liegt dieser bei 430%. Außerdem, der Gewerbsteuerfreibetrag für natürliche Personen und Personengesellschaften nach § 11 Abs. 1 Nr. 1 GewStG.

Die Gewerbesteuer kann somit im Beispiel mit 14,35% auf Erträge oberhalb von 24.500 € ermittelt werden. Die Gewerbesteuer steht grundsätzlich, bis auf die Gewerbsteuerumlage, den Kommunen zu, in deren Einzugsgebiet ein wirtschaftender Gewerbebetrieb ansässig ist. Die Gewerbsteuerumlage (8,5%) wird ermittelt, indem der Gewerbsteuerumlage-Vervielfältiger durch den Gewerbsteuerhebesatz geteilt wird. Von 14,35% Gewerbesteuer am Ertrag verbleiben somit 13,13% als kommunaler Anteil. Der übrige Ertragsanteil steht Bund und Ländern gemeinsam zu. Der Länderanteil daran, von 58,6%, kann durch Division von Landesvervielfältiger (20,5%) durch Gewerbsteuer-Gesamtumlagevervielfältiger (35%) ermittelt werden. Um eine Doppelbelastung zu vermeiden ist die Gewerbesteuer auf die

Einkommensteuer anrechenbar. Die Einkommensteuer wird demnach um die Gewerbesteuer gemindert. Hier gilt jedoch ein Gewerbesteuer-Anrechnungsfaktor von 4,0. Das bedeutet, dass bezüglich der Gewerbesteuer maximal 400% vom Gewerbesteuerhebesatz bei der Anrechnung Berücksichtigung finden können.

Dies führt bei Gewerbesteuerhebesätzen von über 400% stets dazu, dass nicht der volle Betrag der Gewerbesteuer von der Einkommensteuer angerechnet bzw. abgezogen werden kann. Der Anteil der anrechnungs- bzw. abzugsfähigen Gewerbesteuer, von 97,6%, lässt sich dabei über das Verhältnis von Anrechnungsfaktor (4,0 bzw. 400%) zur Höhe des Gewerbesteuerhebesatzes (410%) ermitteln.

In Steuerdaten II ist zuerst der Einkommensteuersatz eines Durchschnitts-Deutschen Arbeitnehmers angegeben. Dieser lässt sich z. B. auf makroökonomischem Wege über das Verhältnis von Einkommensteueraufkommen zu Arbeitnehmerentgelten ermitteln. Ein anderer Weg besteht darin, in Kenntnis des Durchschnittseinkommens in Deutschland, für den entsprechenden Wert den Einkommensteuersatz nach § 32a EStG zu berechnen. Von Belang ist dieser für die Ermittlung der RWS auf kommunaler Ebene, hier im speziellen für den Anteil der Kommunen aus dem Einkommensteueraufkommen aus Beschäftigung. Sind spezifischere Daten zum Durchschnittseinkommen in der analysierten Region zu ermitteln, so sind diese zu verwenden. Weiterhin werden ein angenommenes (fiktives) Unternehmereinkommen und der zugehörige Einkommensteuersatz aufgezeigt. Diese Kennzahlen werden ebenso zur Ermittlung des Einkommensteueraufkommens herangezogen, allerdings, zusammen mit dem „Anteil des regional verorteten Betreibergewinns“, für jenes aus Unternehmergewinnen aus dem betrachteten Geschäft.

In Steuerdaten III sind zudem die Anteile von Bund, Land und Kommune an der Einkommensteuer und der kommunale Anteil an der Umsatzsteuer festgehalten.

Um die kommunale RWS aus Einkommensteuer korrekt zu berechnen, müssen des Weiteren auch die Sozialabgaben auf Beschäftigungsentgelte berücksichtigt werden (siehe Tabelle II-19).

Tabelle II-19: Sozialabgaben und deren relative Auswirkung auf Beschäftigungsentgelte – © IfaS

Sozialabgaben und Gehaltsrelationen	relativ
AG-Sozialabgaben im Verhältnis zum AN-Brutto-Gehalt	21,025%
AN-Sozialabgaben im Verhältnis zum AN-Brutto-Gehalt	19,925%
AN-Brutto-Gehalt im Verhältnis zum AG-Brutto-Gehalt	82,63%
AN-Netto-Gehalt im Verhältnis zum AN-Brutto-Gehalt	62,26%
AN-Netto-Gehalt im Verhältnis zum AG-Brutto-Gehalt	51,45%

Um zu komplexe und ausufernde Berechnungsformeln in den Ergebnis-Berechnungen zu vermeiden, verfügen die RWS-Tools über einen Bereich bzw. Dateireiter namens „RWS Steuer-Basis-Tabelle“. Hier werden die wichtigsten Informationen zur steuerlichen Berechnung zusammengeführt und jeweils drei

Steuerbetrachtungen zur Einkommen- und Gewerbesteuer auf zwei unterschiedlichen Ebenen (Unternehmens- und Beschäftigungsebene) für alle Akteure der Wertschöpfungskette durchgeführt. Es handelt sich hierbei um:

- die Einkommensteuerbetrachtung auf Unternehmensebene
- die Gewerbesteuerbetrachtung auf Unternehmensebene
- die Einkommensteuerbetrachtung auf Beschäftigungsebene

Tabelle II-20: Steuer-Basis-Tabelle für 5.386 kWp PV – © IfaS

Steuerentstehung durch Investition (nur in Periode 0)

Hersteller	Steuerlast	davon komm. Anteil
Est-Betrachtung (Unternehmensebene)	21.683,45 €	1.261,28 €
GewSt-Betrachtung (Unternehmensebene)	13.606,76 €	12.445,21 €
Est-Betrachtung (Beschäftigungsebene)	63.928,22 €	9.589,23 €

Händler	Steuerlast	davon komm. Anteil
Est-Betrachtung (Unternehmensebene)	2.115,80 €	111,92 €
GewSt-Betrachtung (Unternehmensebene)	1.403,92 €	1.284,07 €
Est-Betrachtung (Beschäftigungsebene)	7.664,30 €	1.149,65 €

Planer	Steuerlast	davon komm. Anteil
Est-Betrachtung (Unternehmensebene)	1.751,82 €	140,15 €
GewSt-Betrachtung (Unternehmensebene)	837,96 €	766,42 €
Est-Betrachtung (Beschäftigungsebene)	5.895,88 €	884,38 €

Handwerk	Steuerlast	davon komm. Anteil
Est-Betrachtung (Unternehmensebene)	8.208,68 €	266,13 €
GewSt-Betrachtung (Unternehmensebene)	6.595,36 €	6.032,34 €
Est-Betrachtung (Beschäftigungsebene)	43.936,11 €	6.590,42 €

Steuerentstehung durch Betrieb (in allen Perioden)

Handwerk	Steuerlast	davon komm. Anteil
Est-Betrachtung (Unternehmensebene)	303,74 €	9,85 €
GewSt-Betrachtung (Unternehmensebene)	244,05 €	223,21 €
Est-Betrachtung (Beschäftigungsebene)	1.625,76 €	243,86 €

Versicherung	Steuerlast	davon komm. Anteil
Est-Betrachtung (Unternehmensebene)	2.348,00 €	204,05 €
GewSt-Betrachtung (Unternehmensebene)	1.012,33 €	925,91 €
Est-Betrachtung (Beschäftigungsebene)	1.986,72 €	298,01 €

Kreditinstitut	Steuerlast (P0)	davon komm. Anteil
Est-Betrachtung (Unternehmensebene)	9.391,99 €	816,22 €
GewSt-Betrachtung (Unternehmensebene)	4.049,31 €	3.703,64 €
Est-Betrachtung (Beschäftigungsebene)	7.946,86 €	1.192,03 €

Hierbei wird in einmalige, auf Investitionen zurückzuführende, und periodische, durch Unternehmens- bzw. Gewerbebetrieb entstehende, Steuern unterschieden (siehe Tabelle II-21).

Es wird die gesamte Steuerlast aus der entsprechenden Akteurs-Ebene berechnet und anschließend der kommunale Anteil daraus ermittelt. Die Gewerbesteueranrechnung auf die Einkommensteuer findet dabei gleichwohl Berücksichtigung.

II.1.4.3.6 Ergebnisse aus dem RWS-Tool für PV

Schlussendlich münden alle Zwischenergebnisse und Ergebnisse von Berechnungsmodulen in der Ergebnisberechnung der RWS-Betrachtung. Hier sind alle Wertschöpfungsebenen nach RWS-Sektoren bzw. Profiteuren aufgeführt und berechnet. Hersteller, Groß- & Einzelhändler sowie planerische Dienstleister als einmalige Wertschöpfungsereignisse (aus Investition und Implementierung), Handwerk sowohl als einmalig als auch periodisch und die Versicherungen, Kreditinstitute sowie die Konsum- und Betreiber-Ebene als periodische Wertschöpfungsereignisse bzw. RWS aus Geschäfts- bzw. Gewerbebetrieb. Der Betrachtungszeitraum liegt im Beispiel bei 20 Jahren, die folgende Tabelle II-21 zeigt die ersten 10 Jahre daraus. Bei Bedarf lässt sich der Betrachtungszeitraum unkompliziert, durch Veränderung der Zellen für „Betrachtungszeitraum“ und „Darlehenslaufzeit“, auf bis zu 50 Jahre erweitern.

Tabelle II-21: RWS-Betrachtung nach WS-Ebenen und Akteuren (erste 10 a) für 5.386 kWp PV – © IfaS

RWS-Betrachtung											
Wertschöpfungskette mit den Ebenen Unternehmensgewinn, Beschäftigung und Kommune											
	Periode	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Hersteller (A)		319.887 €									
A1 Unternehmensgewinn		73.137 €									
A2 Beschäftigung (Entgelte)		223.454 €									
A3a Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Unternehmensgewinnen)		1.261 €									
A3b Kommunale Einnahmen (GewSt- Anteil aus Unternehmensgewinnen)		12.445 €									
A3c Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Beschäftigung)		9.589 €									
Großhändler/Einzelhändler (B)		37.003 €									
B1 Unternehmensgewinn		7.668 €									
B2 Beschäftigung (Entgelte)		26.790 €									
B3a Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Unternehmensgewinnen)		112 €									
B3b Kommunale Einnahmen (GewSt- Anteil aus Unternehmensgewinnen)		1.284 €									
B3c Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Beschäftigung)		1.150 €									
Dienstleister (C)		26.487 €									
C1 Unternehmensgewinn		4.088 €									
C2 Beschäftigung (Entgelte)		20.608 €									
C3a Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Unternehmensgewinnen)		140 €									
C3b Kommunale Einnahmen (GewSt- Anteil aus Unternehmensgewinnen)		766 €									
C3c Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Beschäftigung)		884 €									
Handwerk (D)		211.771 €	7.517 €	7.475 €	7.431 €	7.385 €	7.337 €	7.287 €	7.236 €	7.183 €	7.129 €
D1 Unternehmensgewinn		39.149 €	1.390 €	1.382 €	1.375 €	1.368 €	1.361 €	1.354 €	1.346 €	1.339 €	1.332 €
D2 Beschäftigung (Entgelte)		159.256 €	5.653 €	5.623 €	5.594 €	5.564 €	5.535 €	5.506 €	5.477 €	5.449 €	5.420 €
D3a Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Unternehmensgewinnen)		276 €	10 €	10 €	10 €	9 €	9 €	9 €	9 €	8 €	8 €
D3b Kommunale Einnahmen (GewSt- Anteil aus Unternehmensgewinnen)		6.256 €	222 €	220 €	216 €	212 €	206 €	200 €	193 €	185 €	176 €
D3c Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Beschäftigung)		6.834 €	243 €	240 €	236 €	231 €	225 €	218 €	211 €	202 €	193 €
Versicherung (E)		4.744 €	4.719 €	4.670 €	4.597 €	4.501 €	4.384 €	4.248 €	4.095 €	3.926 €	3.745 €
E1 Unternehmensgewinn		1.509 €	1.501 €	1.485 €	1.462 €	1.431 €	1.394 €	1.351 €	1.302 €	1.249 €	1.191 €
E2 Beschäftigung (Entgelte)		1.807 €	1.798 €	1.779 €	1.751 €	1.715 €	1.670 €	1.618 €	1.560 €	1.496 €	1.427 €
E3a Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Unternehmensgewinnen)		204 €	203 €	201 €	198 €	194 €	189 €	183 €	176 €	169 €	161 €
E3b Kommunale Einnahmen (GewSt- Anteil aus Unternehmensgewinnen)		926 €	921 €	911 €	897 €	879 €	856 €	829 €	799 €	766 €	731 €
E3c Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Beschäftigung)		298 €	296 €	293 €	289 €	283 €	275 €	267 €	257 €	247 €	235 €
Kreditinstitut (F)		52.301 €	50.174 €	47.114 €	44.103 €	41.139 €	38.221 €	35.346 €	32.513 €	29.721 €	26.968 €
F1 Unternehmensgewinn		18.826 €	18.061 €	16.959 €	15.876 €	14.809 €	13.758 €	12.723 €	11.703 €	10.698 €	9.707 €
F2 Beschäftigung (Entgelte)		27.777 €	26.648 €	25.023 €	23.424 €	21.850 €	20.299 €	18.772 €	17.268 €	15.785 €	14.323 €
F3a Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Unternehmensgewinnen)		801 €	769 €	722 €	676 €	630 €	586 €	542 €	498 €	455 €	413 €
F3b Kommunale Einnahmen (GewSt- Anteil aus Unternehmensgewinnen)		3.704 €	3.553 €	3.336 €	3.123 €	2.913 €	2.707 €	2.503 €	2.302 €	2.105 €	1.910 €
F3c Kommunale Einnahmen (ESt-Anteil aus Beschäftigung)		1.192 €	1.144 €	1.074 €	1.005 €	938 €	871 €	806 €	741 €	677 €	615 €
Konsum-Ebene / Ersparnisse (G)		156.844 €	154.630 €	152.978 €	151.396 €	149.881 €	148.432 €	147.047 €	145.722 €	144.458 €	143.252 €
G3 Kommunale Einnahmen (Steuern) aus Invest. & Unternehmensgewinn		49.596 €	47.765 €	46.495 €	45.294 €	44.158 €	43.087 €	42.078 €	41.130 €	40.239 €	39.405 €
G4 Ersparnis (Konsumenten)		107.248 €	106.865 €	106.483 €	106.102 €	105.723 €	105.345 €	104.968 €	104.593 €	104.219 €	103.847 €
Betreiber-Ebene / Unternehmensgewinne (H)		139.570 €	134.106 €	130.495 €	127.096 €	123.903 €	120.909 €	118.107 €	115.492 €	113.058 €	110.799 €
E5 Betriebsgewinne		139.570 €	134.106 €	130.495 €	127.096 €	123.903 €	120.909 €	118.107 €	115.492 €	113.058 €	110.799 €
6.447.494 €		948.606 €	351.145 €	342.732 €	334.623 €	326.810 €	319.283 €	312.035 €	305.058 €	298.346 €	291.893 €
aus Unt.-Gewinnen (Hersteller, Händler, Handwerk etc.)		144.376 €	20.951 €	19.827 €	18.712 €	17.608 €	16.513 €	15.428 €	14.352 €	13.286 €	12.231 €
aus Beschäftigung (Hersteller, Händler, Handwerk etc.)		459.693 €	34.098 €	32.425 €	30.769 €	29.129 €	27.505 €	25.897 €	24.305 €	22.730 €	21.170 €
aus kommunalen Einnahmen (Steuern)		97.720 €	55.125 €	53.503 €	51.944 €	50.447 €	49.011 €	47.634 €	46.315 €	45.053 €	43.847 €
aus Ersparnis (Konsumenten)		107.248 €	106.865 €	106.483 €	106.102 €	105.723 €	105.345 €	104.968 €	104.593 €	104.219 €	103.847 €
aus Betriebsgewinn		139.570 €	134.106 €	130.495 €	127.096 €	123.903 €	120.909 €	118.107 €	115.492 €	113.058 €	110.799 €

Die Tabelle lässt erkennen, dass ein großer Teil der (regionalen) Wertschöpfung aus Beschäftigungseffekten in der Investitions- und Implementierungsphase entsteht, hierbei, im Falle einer regionalen Verortung, vor allem beim Hersteller. An zweiter Stelle folgt das lokal ansässige Handwerk (Montage) und schließlich die Händler. Bei den periodischen Effekten stechen dagegen die regionalen Betreibergewinne und die Konsumenten-Ersparnis hervor, gefolgt von den kommunalen Steuereinnahmen aus Investitionen und Unternehmensgewinnen. Auch der Gewinn und die Beschäftigungsentgelte bei Kreditinstituten sind in den Anfangsperioden, durch hohe Zinseinnahmen, recht respektabel, sinken jedoch, durch Tilgung (Dynamik aus Annuitätendarlehen), relativ zügig ab.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Thematik visuell anhand der Wertschöpfungs-Ebenen bzw. Wertschöpfungsakteure.

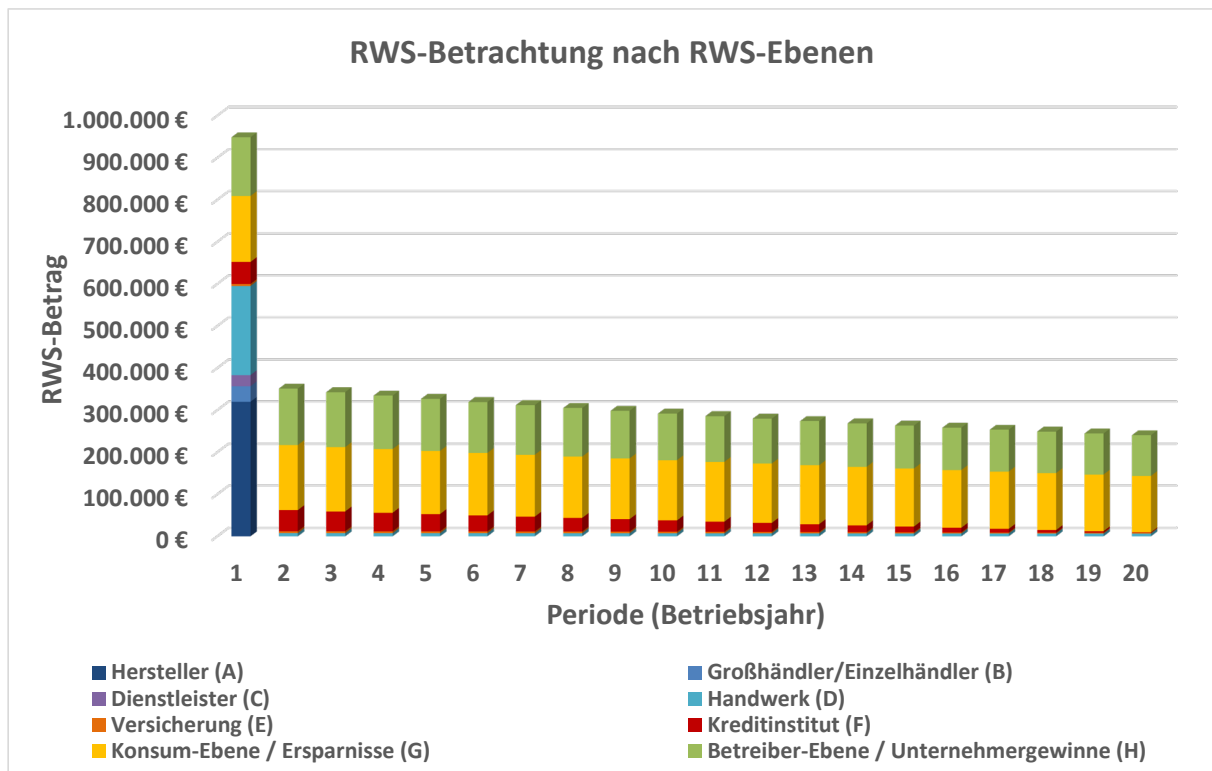


Abbildung II-23: RWS-Betrachtung nach RWS-Ebenen bzw. RWS-Akteuren für 5.386 kWp PV - © IfaS

Im Säulendiagramm sind in der ersten Periode gut die Wertschöpfungsanteile von Hersteller (dunkelblau) und Handwerk (türkis) zu erkennen. Auf der Konsum-Ebene (gelb) sind Konsumenten-Ersparnis und kommunale Einnahmen bzw. Abgaben aus Investitionen und Unternehmensgewinnen zusammengefasst und bilden einen Großteil der periodischen RWS respektive RWS aus Geschäfts- bzw. Gewerbebetrieb ab, wobei der Anteil der Konsumentenersparnis zu den kommunalen Einnahmen im Mittel bei rund 70/30 liegt.

Der zweite große Block der periodischen RWS wird durch den Betreibererfolg (grün) abgebildet. Daneben spielt, zumindest anfänglich, auch die RWS von Kreditinstituten (rot) aus Fremdkapitalfinanzierung eine sichtbare Rolle, welche jedoch im Zuge der Kredittilgung stärker absinkt als andere Positionen. Die weiteren Ebenen bzw. Akteure sind dagegen für die RWS nur von untergeordneter Bedeutung.

Die nächste Abbildung II-24 zeigt indes die RWS-Summen nach Profiteuren anstelle von Akteuren. Hier wird deutlich, dass der größte Teil der einmaligen RWS aus Investition und Implementierung durch die Beschäftigung dargestellt wird. Dahinter folgen, in summarischer Reihenfolge, die RWS aus Betreibererfolg, Konsumenten-Ersparnis, Unternehmensgewinne der Akteure und schließlich, kommunale Einnahmen. Bezüglich der periodischen bzw. betrieblichen RWS sind die Betreibererfolge und die Konsumenten-Ersparnis die maßgeblichen Einflussgrößen.

Schließlich folgen die RWS aus kommunalen Einnahmen, dann aus Beschäftigungsentgelten und letztendlich aus anteiligen Unternehmensgewinnen.

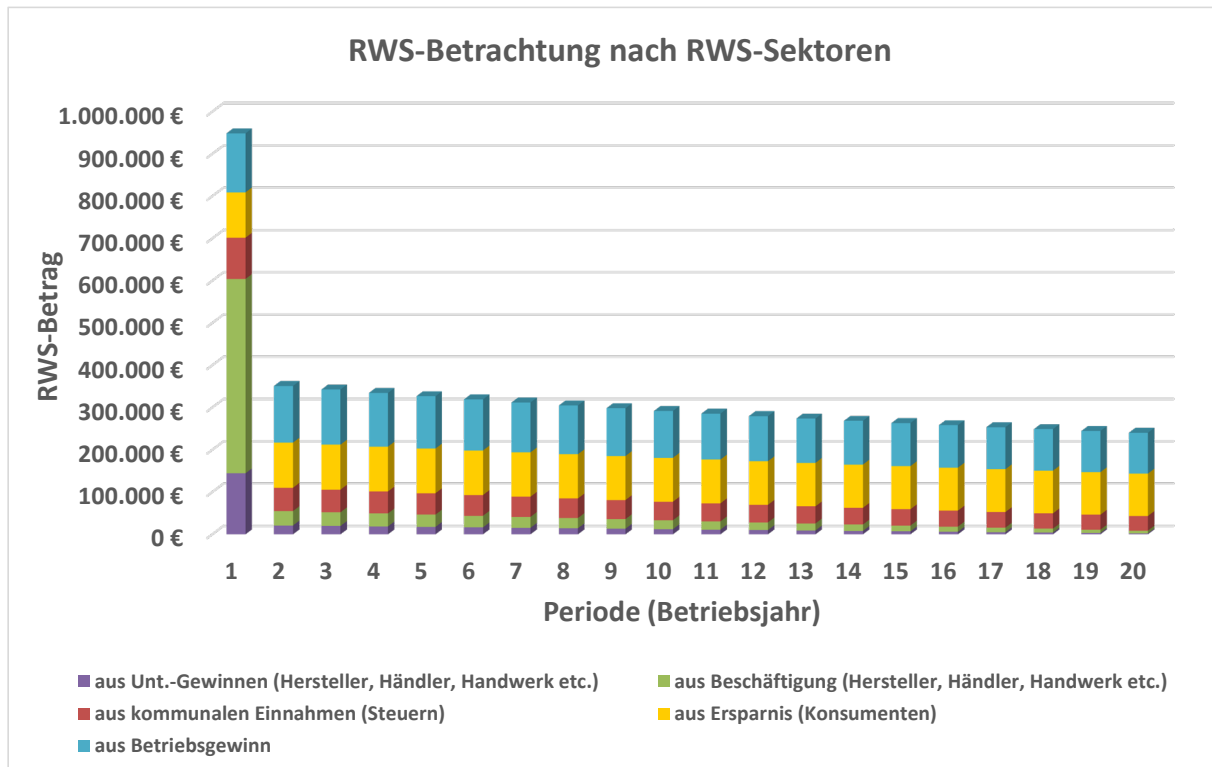


Abbildung II-24: RWS-Betrachtung nach RWS-Sektoren bzw. Profiteuren für 5.386 kWp PV - © IfaS

Insgesamt ist bezüglich der gesamten RWS eine Abwärtsdynamik erkennbar. Die Ursachen liegen hierbei in der GuV-Planung auf der Betreiber-Ebene aber auch in der Kredittilgung. Außerdem findet auch die Inflationsentwicklung, welche im Rahmen der Einstellung der Parameter die Betriebskostensteigerungen leicht übertrifft, Berücksichtigung.

Der Gesamtbetrag der Wertschöpfung durch PV-Strom-Versorgung im Pfaff-Quartier durch das Mieterstrommodell, für alle beleuchteten Akteure, beträgt über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren, im Rahmen der getroffenen Annahmen und gewählten Parameter, ca. 6,5 Mio. €. Davon werden beinahe 1 Mio. € im ersten Jahr, vor allem durch die Investitionen, ausgelöst. Dies entspricht vorerst einer Relation von 1,71 € pro investiertem €.

Wird bezüglich der regionalen Wertschöpfung angenommen, dass die Hersteller, die kreditgebenden Banken, die Versicherer und die Stromversorger, sowie alle mit diesen Akteuren verbundenen Mitarbeiter, außerhalb der Region ansässig sind, die anderen Akteure zusammen mit ihren Beschäftigten jedoch innerhalb der Region verortet werden können, so ergibt sich eine Summe für die RWS von rund 5,5 Mio. €, davon knapp 600.000 € in der ersten Periode. Dies entspricht einer Relation von 1,47 € pro

investiertem €. Die nächsten beiden Abbildungen bilden diese Ergebnisse abschließend noch einmal visuell nach Akteuren und Profiteuren ab.

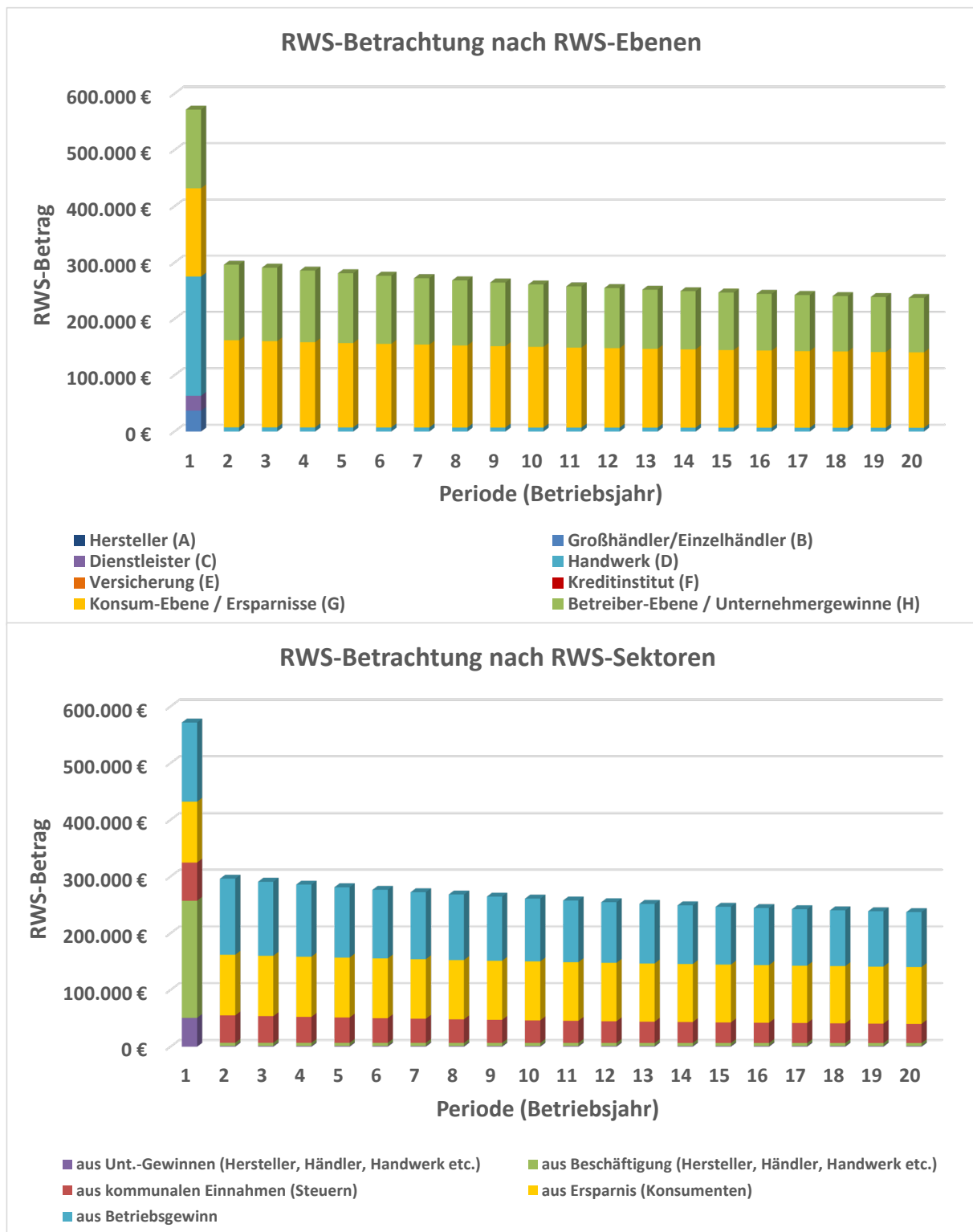


Abbildung II-25: Ergebnis für die RWS nach Ebenen bzw. Akteuren sowie Sektoren bzw. Profiteuren - © IfaS

II.1.4.4 Forschungsergebnisse

Im Ergebnis des Projekts wurden zwei zentrale Komponenten entwickelt, um das Bewusstsein für regionale Wertschöpfung (RWS) zu fördern und praktische Werkzeuge zur deren Analyse bereitzustellen:

1. KLARa-App

Die KLARa-App wurde konzipiert, um einen niedrigschwelligen Einstieg in das Thema der regionalen Wertschöpfung zu ermöglichen. Ziel war es, das Bewusstsein in der Bevölkerung für die Bedeutung regionaler Wirtschaftskreisläufe zu schärfen. Die App nutzt eine Objektplatzierungsfunktion, mit der Inhalte direkt am aktuellen Aufenthaltsort, sei es im privaten Wohnraum oder unterwegs, in die Umgebung eingebunden werden können.

2. Entwicklung spezifizierter RWS-Tools (Excel-Konzepte)

Es wurden vier Excel-Tools zur Abbildung relevanter Wertschöpfungsbereiche innerhalb der Quartiersentwicklung konzipiert. Diese decken die Sektoren Stromerzeugung, Wärmeversorgung, Energieeffizienz und Mobilität ab:

- **Stromerzeugung:** Darstellung über Photovoltaik im Mieterstrommodell. Dieses Modell erlaubt eine Integration von PV-Anlagen ohne nennenswerten Flächenbedarf und bietet Mietern kostengünstigen Zugang zu Solarstrom.
- **Wärmeversorgung:** Verwendung von Nahwärme, insbesondere unter Nutzung bislang ungenutzter industrieller oder gewerblicher Abwärme, wie potenziell im Pfaff-Quartier verfügbar.
- **Energieeffizienz:** Betrachtung der Gebäudedämmung als bevorzugte Maßnahme, da diese vergleichsweise geringe Investitionen erfordert und schnell hohe Einsparpotenziale erzielt.
- **Mobilität:** Analyse der Mobilität über verschiedene Fahrzeugtechnologien. Aufgrund der geringen Fahrzeuganzahl im Beispiel-Pool ist die RWS in diesem Bereich nur eingeschränkt vergleichbar.

Ergebnisse der RWS-Berechnungen:

Die PV-Erzeugung zeigte das höchste Potenzial zur Generierung regionaler Wertschöpfung, da sowohl Bau als auch Betrieb regionale Beschäftigung und Einnahmen fördern. Die Gebäudedämmung erzielt unter der Annahme einer betrachteten Fläche von 40.000 m² beinahe ebenso hohe RWS-Effekte durch erhebliche Einsparungen. Die Nahwärme erbringt insgesamt eine etwas geringere RWS, da hier nur die Verteilinfrastruktur und nicht die Wärmeerzeugung berücksichtigt wurde.

Die Betrachtung der Mobilität innerhalb des Arbeitspaketes war sehr komplex und wurde auf Basis exemplarischer Fahrzeugtechnologien durchgeführt. Durch die geringe Anzahl der Fahrzeuge in den beispielhaft verglichenen Fahrzeug-Pools²⁶ ist die Gesamtsumme der RWS nicht mit den anderen drei RWS-Ermittlungen vergleichbar. Die tatsächliche regionale Wertschöpfung im Bereich Mobilität hängt maßgeblich von der zukünftig im Quartier eingesetzten Anzahl und Art der ersetzten Fahrzeuge ab und insbesondere von deren Antriebstechnologie (z. B. Diesel, Otto, CNG, LPG, Elektromotor oder Brennstoffzelle).

Die monetären RWS-Ergebnisse für PV-Erzeugung, Nahwärme und Gebäudedämmung sind, über eine Laufzeit von 20 Jahren und auf ganze 5.000 € gerundet, auf der nächsten Abbildung II-26, in Form eines Säulen-Diagramms, festgehalten. Die PV-Erzeugung wird hierbei in gelben, die Nahwärme in orangefarbenen und die Gebäudedämmung in blauen Farbtönen dargestellt.

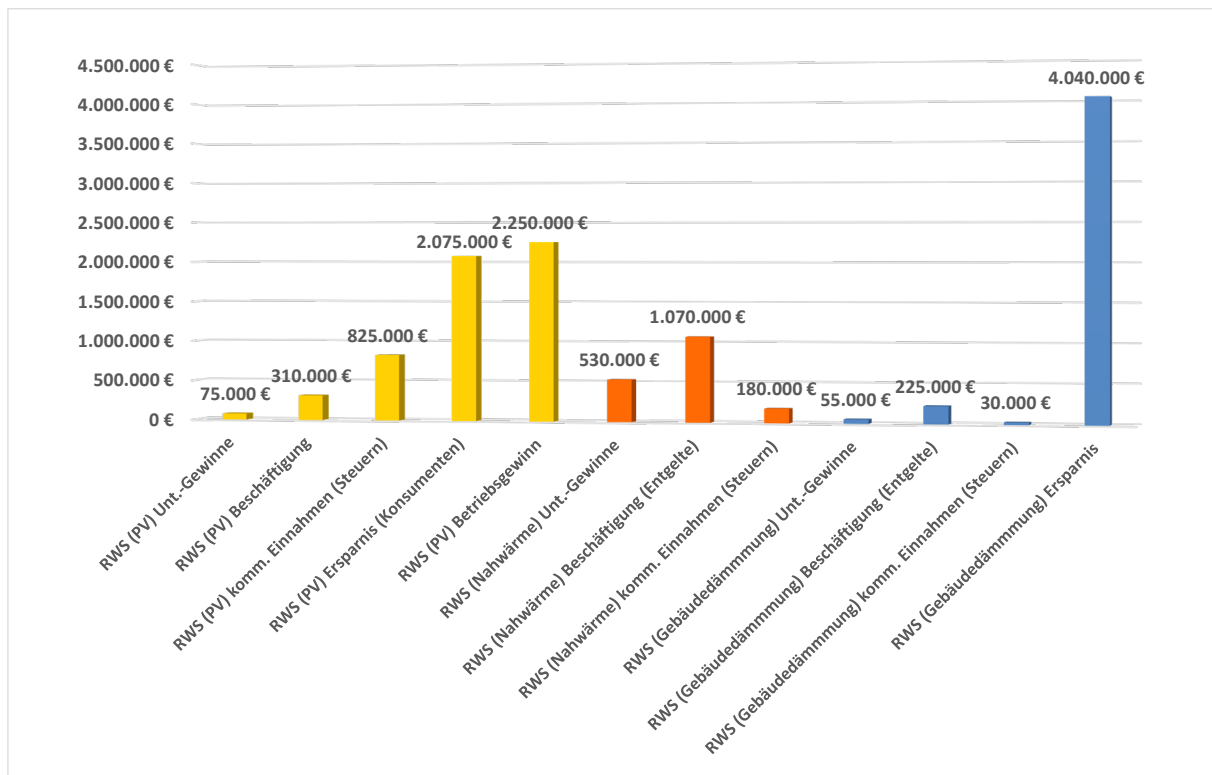


Abbildung II-26: Ausmaß der RWS nach betrachteter Technologie und Sektoren bzw. Profiteuren - © IfaS

Nach Profiteuren erbringt die Gebäudedämmung für die Konsumenten die größte Ersparnis und nimmt mit rund 4 Mio. € den größten RWS-Anteil in der Betrachtung ein. Die übrigen Profiteure der

²⁶ Siehe „Bericht zur Entwicklung des Aufbaus der Berechnungsarchitektur der Kalkulations-Anwendungen für Regionale Wertschöpfung – AP 1.2.2 Regionale Wertschöpfung – Zukunftsfähige Mobilität“

Gebäudedämmung stehen mit zusammen rund 300.000 € für die restlichen ca. 7% der RWS durch Gebäudedämmung.

Die Photovoltaik erbringt jeweils über 2 Mio. € in Form von Betriebsgewinn auf Betreiber-Ebene und Ersparnis auf Konsumenten-Ebene. Hinzukommen gut 800.000 € RWS aus kommunalen Einnahmen und über 300.000 € RWS aus Beschäftigung, wodurch die Photovoltaik, trotz der relativ geringen Unternehmensgewinne von 75.000 €, insgesamt am meisten zur betrachteten Gesamt-RWS im Quartier beiträgt.

Die Beschäftigung in der Nahwärme profitiert mit über 1 Mio. €. Hinzu kommen mehr als 500.000 € aus Unternehmensgewinnen. An kommunalen Einnahmen können rund 180.000 € generiert werden. Ersparnisse werden bedingt durch die Art der Nahwärme-Substitutionsbetrachtung keine ausgewiesen.

Insgesamt können so im Pfaff-Quartier, innerhalb eines Zeitraumes von 20 Jahren, in Summe beinahe 12 Mio. € an RWS durch PV, Nahwärme und Gebäudedämmung generiert werden.

Sowohl die mobile Augmented Reality App-Anwendung (KLARa-App) als auch die Methodik zu den RWS-Tools werden u. a. auf der Homepage „Pfaffquartier – klimaneutral“²⁷ als Themenseite vorgestellt. Die App-Anwendung ist außerdem im Google Playstore²⁸ und dem Mac App Store²⁹ zum Download verfügbar.

II.1.4.5 Herausforderungen bei der Betrachtung der RWS

Essenzielle Herausforderungen bei der Ermittlung der RWS liegen vor allem in der ganzheitlichen Darstellung zusammenhängender gewerblicher und/oder infrastruktureller Strukturen auf der Wertschöpfungsebene.

Die Analyse regionaler Wertschöpfung ist komplex, da sie eine ganzheitliche Betrachtung zusammenhängender wirtschaftlicher und infrastruktureller Strukturen erfordert. Ein zentrales Problem ist die Verfügbarkeit und Qualität relevanter Daten. Regionale Daten liegen häufig nur in aggregierter Form vor (z. B. auf Landesebene) und betriebliche Daten werden selten auf kommunaler Ebene erhoben oder veröffentlicht. Datenschutzauflagen erschweren zudem die Nutzung detaillierter Informationen.

Weitere Schwierigkeiten entstehen durch wirtschaftliche Verflechtungen über die Grenzen des Untersuchungsraums hinaus. Dazu zählen u. a. Zulieferketten, Pendlerströme und Steuerverortungen (z. B. wenn Unternehmenssitze außerhalb der betrachteten Region liegen). Diese Faktoren führen zu

²⁷ Online unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/kommunale-quartiersentwicklung>

²⁸ Online unter: <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.fhg.iese.pfaff.klara>

²⁹ Online unter: <https://apps.apple.com/de/app/klara-regionale-wertsch%C3%B6pfung/id6448877297>

Unsicherheiten in der Allokation von Gewinnen und Beschäftigungsanteilen. Nicht selten müssen, aufgrund uneindeutiger oder fehlender Datengrundlage, bezüglich der Wertschöpfungsebenen (Unternehmen) entlang einer zu untersuchenden Wertschöpfungskette, die regional zu verortenden Anteile von Unternehmensgewinnen oder der beschäftigten Belegschaftsanzahl daher (grob) abgeschätzt werden.

II.1.4.6 Wesentliche Erkenntnisse

Aufgrund der Komplexität und des hohen Aufwands empfiehlt sich ein selektiver Ansatz im Sinne des Pareto-Prinzips³⁰. Dabei sollte der Fokus auf die besonders relevanten Technologien, Prozesse oder Sektoren gelegt werden. Relevanz kann sich dabei aus dem ökonomischen Potenzial, dem Beitrag zur RWS oder der Bedeutung für eine nachhaltige Quartiersentwicklung ergeben.

Im Projekt lag der Schwerpunkt auf:

- Photovoltaik-Erzeugung (hohes RWS-Potenzial)
- Gebäudedämmung (geringe Investitionen, hohe Einsparungen)
- Nahwärmenetze (ohne Erzeugerbetrachtung)
- Mobilität (zukunftsweisender Sektor)

Selbst die Analyse eines einzelnen Prozesses erfordert aufgrund der Vielzahl beteiligter Akteure einen hohen Aufwand. Empfohlen wird eine mikroökonomische Betrachtungsweise, ergänzt durch makroökonomische Elemente (z. B. Branchendaten der Deutschen Bundesbank), wenn Primärdaten fehlen. Bei bekannten Kapitalgesellschaften bietet sich eine Recherche im Bundesanzeiger an.

Generell ist auch der modulartige Aufbau der Berechnungs-Infrastruktur zu empfehlen, da so eine gewisse Struktur und Übersicht über die Fülle an Daten und Kalkulationen gewährleistet werden kann. Einzelne Module können hierbei übergeordnet und (relativ) übersichtlich angelegt werden, während Untermodule zur weiteren Berücksichtigung von Detail-Berechnungen zur Speisung des übergeordneten Moduls dienen können. Zudem hat sich auch die Implementierung eines zentralen Cockpits zur Dateneingabe bewährt, da so nicht alle Module und Untermodule aufgesucht und bearbeitet werden müssen, um die Berechnungs-Infrastruktur mit wichtigen Werten und Parametern zu befüllen. Letztlich ist zur adäquaten Ergebnis-Übersicht auch ein zentraler Bereich, welcher die wichtigsten Ergebnisse bereitstellt, gegenüber der über verschiedene Bereiche und Module verstreuten Ergebnisdarstellung, zu bevorzugen.

³⁰ Auch bekannt als „80/20-Regel“.

II.1.5 AP 2.1.1 Maximierung der solar genutzten Gebäude- und öffentlichen Flächen

Über 75 % der Bevölkerung in Deutschland lebt in urban geprägten Räumen, die typischerweise als Energiesenken fungieren, da ihr Energieverbrauch die lokal erzeugte Energie deutlich übersteigt. Vor dem Hintergrund der internationalen und nationalen Klimaschutzziele sowie angesichts steigender Energiekosten gewinnt die Nutzung erneuerbarer Energien – insbesondere der Solarenergie – als zentrale Strategie zur Minderung der CO₂-Emissionen in Städten zunehmend an Bedeutung. Dach- und Fassadenflächen städtischer Gebäude bieten dabei ein erhebliches Potenzial für die dezentrale Strom- und Wärmeengewinnung. Gleichzeitig stehen diese Flächen häufig in Konkurrenz zu anderen Nutzungsansprüchen, etwa Begrünungssystemen, Regenwassermanagement oder gestalterischen Anforderungen an die Architektur.

Das Arbeitspaket (AP) 2.2.1 „Maximierung der solar genutzten Gebäude- und öffentlichen Flächen“ stand in enger fachlicher und inhaltlicher Wechselwirkung mit mehreren weiteren Arbeitspaketen des Gesamtvorhabens. Diese enge Abstimmung gewährleistete, dass die im Rahmen von AP 2.2.1 erzielten Ergebnisse systematisch in die Quartiersentwicklung integriert und in nachfolgende Entwicklungsstufen des Pfaff-Areals überführt werden konnten. Erkenntnisse zur optimalen Nutzung von Dach- und Fassadenflächen, zur solaren Baukörperausrichtung sowie zur Vermeidung von Verschattungssituationen flossen unmittelbar in das Quartiersenergiekonzept (AP 1.1.2) ein. Parallel dazu wurden im Rahmen des Arbeitspakets 1.2.1 „Postindustrielle Quartierstypologien der energieeffizienten Stadt“ die Ergebnisse der Gebäudetypologie, Gebäudeorientierung und Dachgestaltung berücksichtigt, um eine übergreifende städtebauliche Optimierung im Sinne einer solarenergetisch günstigen Strukturierung zu erreichen. Die im Arbeitspaket 2.2.1 entwickelten Konzepte zur Nutzung öffentlicher Flächen für die Solarenergienutzung – beispielsweise Solarcarports, Solarpergolen und PV-Systeme an Mobilitätsstationen – wurden innerhalb von AP 2.1.5 weiterentwickelt und konkretisiert und die Ergebnisse aus diesem AP wieder in AP 2.2.1 integriert.

Darüber hinaus lieferten die im Rahmen von AP 2.2.1 erarbeiteten Ertragsprognosen und PV-Lastprofile Eingangsdaten für die Weiterentwicklung des Modells „KomMod“ (Kommunales Energiesystemmodell) im AP 1.1.1 „Integriertes Planungs- und Monitoringtool Quartiersenergiesystem“. Schließlich bildeten die technischen und planerischen Ergebnisse aus AP 2.2.1 eine zentrale Grundlage für die Formulierung verbindlicher Anforderungen in städtebaulichen Verträgen, im Gestaltungshandbuch, in textlichen Festsetzungen sowie im Bebauungsplan. Diese Instrumente sichern die Umsetzung der solaren Maßnahmen langfristig ab und leisten damit einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung.

Insgesamt zeigt sich, dass das Arbeitspaket 2.2.1 nicht isoliert, sondern als integraler Bestandteil der gesamten Entwicklung des Pfaff-Quartiers agierte. Es lieferte wesentliche Grundlagen für die

energetische, städtebauliche und planerische Gestaltung eines klimaneutralen Quartiers und bildete eine Schnittstelle zwischen technischen Innovationen und deren konkreter Anwendung in der Stadtplanung.

Das Arbeitspaket 2.2.1 „Maximierung der solar genutzten Gebäude- und öffentlichen Flächen“ adressierte die übergeordnete wissenschaftliche Fragestellung, wie die solaren Erträge eines urbanen Quartiers durch eine integrale Kombination städtebaulicher, technischer und rechtlicher Maßnahmen maximiert werden können.

Im Zentrum stand die systematische Untersuchung folgender wissenschaftlicher Fragestellungen:

- Wie kann Solarenergie frühzeitig und wirksam in städtebauliche Planungsprozesse integriert werden?
- Welche technischen Lösungen tragen zur Maximierung der solaren Erträge auf Gebäuden und im öffentlichen Raum bei?
- Wie können konkurrierende Nutzungsansprüche auf Dach- und Fassadenflächen (z. B. Begrünung, Retention, Aufenthaltsqualität) mit der solaren Nutzung kombiniert werden?
- Welche rechtlichen und planerischen Instrumente sind geeignet, um die verpflichtende Installation von Solaranlagen verbindlich zu verankern?

II.1.5.1 Ziel

Das Arbeitspaket (AP) 2.2.1 hatte das Ziel, Konzepte zu entwickeln, die eine maximale solare Nutzung auf den verfügbaren Gebäude- und Freiflächen im Pfaff-Quartier ermöglichen. Dies umfasst sowohl technische Lösungen zur Optimierung der Photovoltaik-Installation als auch planerische und rechtliche Maßnahmen zur Umsetzung im Quartier. Neben der aktiven Solarenergie wurden auch Potenziale und Technologien zur passiven Solarenergienutzung berücksichtigt.

Das Arbeitspaket hatte somit nicht nur die Maximierung der aktiven Solarstrom- und Solarwärmeerzeugung zum Ziel, sondern verfolgte eine ganzheitliche Strategie, um sämtliche energetisch nutzbaren Strahlungsanteile der Sonne für die energetische Optimierung von Gebäuden und öffentlichen Flächen systematisch zu erschließen.

Durch die Integration passiver Solarnutzung sollte der Endenergiebedarf der Quartiersbebauung reduziert, der Eigenversorgungsgrad erhöht und ein weiterer Beitrag zur klimaneutralen Entwicklung des Pfaff-Quartiers geleistet werden. Schließlich sollten mit dem Meilenstein „Leitfaden Maximierung

solarer Erträge“ die Ergebnisse praxisorientierte zusammengeführt und Fachplanern, Architektinnen und Investoren konkrete Umsetzungshilfen zur Verfügung gestellt werden.³¹

Folgender Meilenstein wurde erreicht.

Tabelle II-22: Meilensteine Arbeitspaket 2.1.1 Maximierung der solar genutzten Gebäude und öffentlichen Flächen – © IfaS

Meilensteinbezeichnung		Titel
M1	06/2021	Leitfaden Maximierung Solarertrag für Investoren und Fachplaner fertiggestellt

II.1.5.2 Methodik

Das Arbeitspaket 2.2.1 verfolgte einen interdisziplinären methodischen Ansatz zur Maximierung der solaren Nutzung von Dach-, Fassaden- und öffentlichen Flächen im Pfaff-Quartier. Ausgangspunkt der Arbeiten war der Umstand, dass städtische Quartiere aufgrund begrenzter Flächen, baulicher Rahmenbedingungen und konkurrierender Nutzungsansprüche nur eingeschränkte Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien bieten. Gleichzeitig gilt die Solarenergie als eine der vielversprechendsten Technologien zur lokalen, dezentralen Strom- und Wärmeversorgung. Vor diesem Hintergrund zielte das Arbeitspaket darauf ab, technische, planerische und rechtliche Maßnahmen zu kombinieren, um die solare Nutzung im Quartier umfassend zu ermöglichen – unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Technik sowie gestalterischer, ökologischer und funktionaler Anforderungen.

Ein zentraler methodischer Baustein war die Erstellung eines detaillierten 3D-Städtebaumodells, das auf den Planungsgrundlagen des städtebaulichen Rahmenplans, auf dem Bebauungsplan sowie dem Gestaltungshandbuch beruhte.

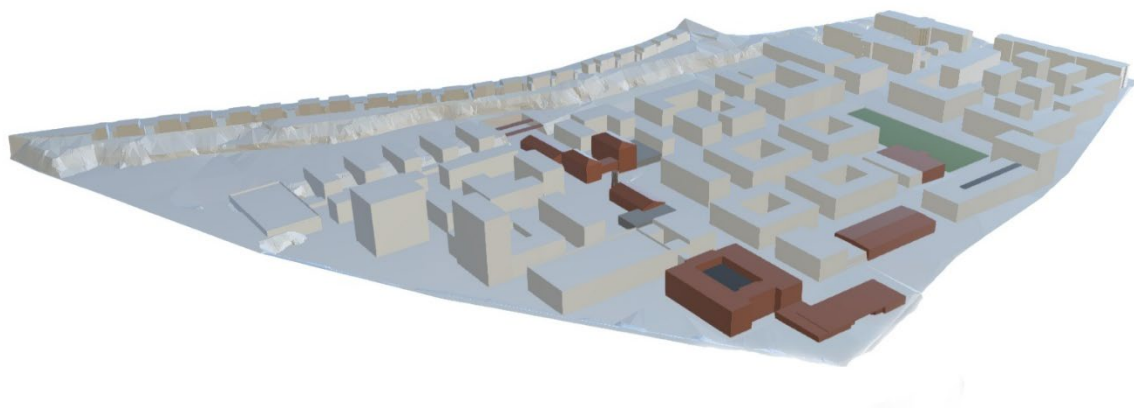


Abbildung II-27: 3D Modell Pfaff – © Astoc|MESS

³¹ <https://solar.stoffstrom.org>

Dieses Modell diente als Grundlage für umfangreiche Verschattungsanalysen, bei denen sowohl tages- als auch jahreszeitliche Verläufe simuliert wurden. Anhand der so gewonnenen Daten wurden nutzbare Flächen für Photovoltaik-Module auf Dächern und Fassaden identifiziert. Darauf aufbauend wurden unterschiedliche Modultypen, Neigungen, Ausrichtungen und Aufständerungsformen simulativ geprüft und verglichen.

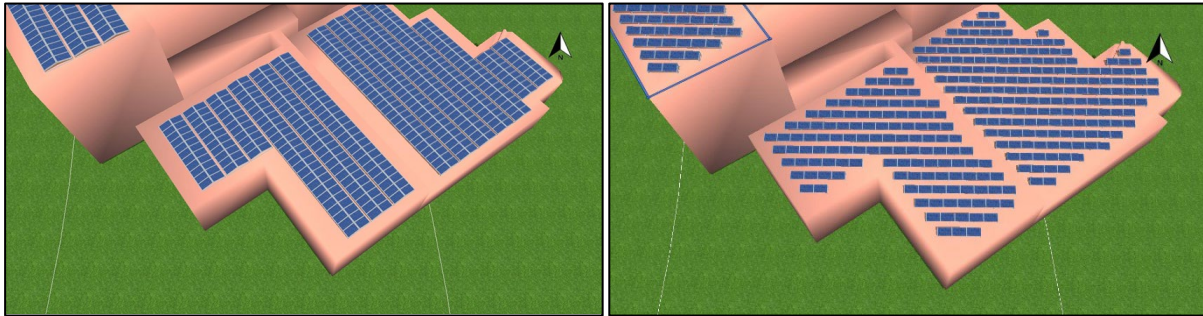


Abbildung II-28: Ausschnitt einer vergleichenden Variante hinsichtlich der Aufständerungsausrichtung (linkes Bild - dachparallel; rechtes Bild - südausgerichtet) – © IfaS

Ergänzend zu diesen Detailanalysen wurden quartiersweite Szenarien zur solaren Energieversorgung entwickelt. Diese Simulationen bezogen sich auf potenzielle Deckungsgrade, Verbrauchsstrukturen sowie infrastrukturelle Rahmenbedingungen. Beispielhaft kann hier die „Abhängigkeit zwischen Mobilitäts- und Energiekonzepten als Voraussetzungen für eine wirksame Sektorenkopplung“³² angeführt werden. Ziel war es, eine abgestimmte Strategie zu entwickeln, die sich nicht nur auf einzelne Gebäude, sondern auf das gesamte Quartier anwenden lässt. Dabei wurden auch Kombinationsmöglichkeiten mit weiteren Nutzungen – etwa Begrünung, Retention oder soziale Aufenthaltsqualität – mitgedacht.

³² Vgl. Poster_AP 2.2.1_Abhängigkeiten zwischen Mobilitäts- und Energiekonzepten - <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

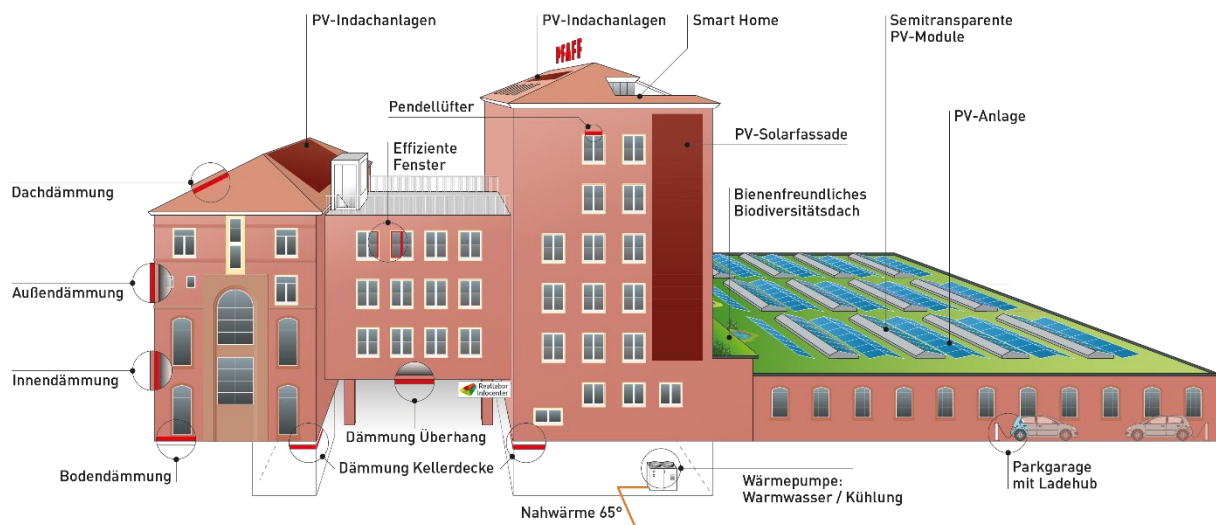


Abbildung II-29: Verschiedene Installationsvarianten am Beispiel des Alten Verwaltungsgebäudes mit PV-Dach- und Fassadenanlage sowie PV-Gründach - © Triolog/EnStadt:Pfaff

Ein besonderer Fokus lag auf der Integration der technischen Ergebnisse in die städtebaulichen und rechtlichen Rahmenbedingungen. So wurde an der Erarbeitung eines Gestaltungshandbuchs mitgewirkt, das sowohl technische als auch gestalterische Leitlinien zur Integration von PV-Anlagen enthält. Darüber hinaus wurden Anforderungen und Empfehlungen in die Planungsinstrumente des Quartiers eingebracht, insbesondere in den Bebauungsplan, das Gestaltungshandbuch sowie in städtebauliche Verträge. Diese Integration zielte darauf ab, die Umsetzung von PV-Anlagen zu fordern und planungsrechtlich abzusichern.



Abbildung II-30: Integraler Planungsprozess - © Triolog/EnStadt:Pfaff

Zur methodischen Umsetzung gehörten weiterhin qualitative und quantitative Datenerhebungen, darunter die Auswertung von Planunterlagen, Geodaten, Wetterdaten sowie Marktrecherchen zu verfügbaren Technologien. Zusätzlich wurden gezielte Abstimmungen mit Akteuren aus Stadtplanung, Architektur, Energiewirtschaft und Verwaltung durchgeführt. Diese Rückkopplungsschleifen stellten sicher, dass die entwickelten Szenarien sowohl praktisch umsetzbar als auch anschlussfähig an laufende Planungsprozesse waren.

Ein zentrales Element der Vorgehensweise war schließlich die Aufbereitung der Ergebnisse und Erkenntnisse in einem praxisnahen Leitfaden. Dieser bündelte die methodischen Schritte, die rechtlichen Rahmenbedingungen und die planerischen Empfehlungen in einer Form, die auch über das Pfaff-Quartier hinaus für andere Städte und Projekte nutzbar ist. Der Leitfaden wurde in enger Abstimmung mit den Projektpartnern entwickelt und mehrfach überarbeitet, um eine hohe Anwendungsorientierung zu gewährleisten.

II.1.5.3 Forschungsergebnisse

Im Verlauf des Arbeitspakets wurden verschiedene planerische, technische und rechtliche Instrumente entwickelt, kombiniert und erprobt, um die solare Nutzung im Pfaff-Quartier systematisch zu maximieren. Die Analysen zeigen, dass eine Nutzung des Daches einen wesentlichen Einfluss auf die installierbare Leistung und Stromerträge haben.

Tabelle II-23: Forschungsergebnisse Maximierung Solarenergie auf den Dachflächen im Pfaff Quartier – © IfaS

	Maximal	Gründach	Gründach + Staffelgeschoss	Gründach + Staffelgeschosse + Solarthermie
Leistung	6.050 kWp	4.242 kWp	3.983 kWp	1.768 kWp
Ertrag	5.600 MWh/a	3.900 MWh/a	3.600 MWh/a	1.600 MWh/a
Spez. Ertrag	925 kWh/kWp	912 kWh/kWp	910 kWh/kWp	910 kWh/ kWp
DF Gesamt	49.982 m ²			
Modulfläche	34.149 m ²	23.942 m ²	22.482 m ²	9.982 m ²
Moduldichte	0,68	0,48	0,45	0,22

Die Tabelle zeigt vier Varianten zur Nutzung der Dachflächen im Pfaff-Quartier, die sich hinsichtlich technischer Leistung, Ertrag und Flächennutzung erheblich unterscheiden. Die Variante „Maximal“ repräsentiert die technische Obergrenze der möglichen Photovoltaiknutzung ohne weitere bauliche Einschränkungen. Mit einer installierten Leistung von 6.050 kWp und einem Stromertrag von 5.600 MWh pro Jahr erzielt sie die höchste absolute Energieausbeute. Die Moduldichte liegt hier bei 0,68, was bedeutet, dass ein sehr großer Teil der verfügbaren Dachflächen mit PV-Modulen belegt ist.

In der zweiten Variante, die eine Kombination von Photovoltaik mit einem Gründach vorsieht, verringert sich die installierbare Leistung auf 4.242 kWp bei einem Ertrag von 3.900 MWh pro Jahr. Die

Modulfläche sinkt auf 23.942 m², was einer Moduldichte von 0,48 entspricht. Diese Reduktion erklärt sich durch die technischen Anforderungen eines Gründachs, insbesondere durch größere Reihen- und Randabstände zur Erhaltung der Vegetation und zur Wartung.

Wird zusätzlich zu den Gründächern die Option eines Staffelgeschosses in die Planung aufgenommen (Variante 3), verringern sich die PV-Potenziale weiter. Die installierte Leistung beträgt dann 3.983 kWp, der Jahresertrag 3.600 MWh. Die Moduldichte liegt bei 0,45. Durch das Staffelgeschoss verringert sich die verfügbare Dachfläche nochmals, was zu einer reduzierten Belegbarkeit führt.

In der vierten Variante werden Gründächer, Staffelgeschosse und Solarthermie kombiniert. Diese multifunktionale Nutzung der Dachfläche, insbesondere durch die Bereitstellung von Flächen für solarthermische Anlagen, hat den stärksten Einfluss auf das PV-Potenzial. Die installierte Leistung sinkt auf 1.768 kWp, der Stromertrag auf 1.600 MWh jährlich. Nur noch 9.982 m² Modulfläche können belegt werden, was einer Moduldichte von 0,22 entspricht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass jede zusätzliche planerische oder technische Anforderung – ob Gründach, Staffelgeschoss oder Solarthermie – die nutzbare Fläche für Photovoltaik verringert und damit auch den potenziellen Stromertrag reduziert. Während die Variante mit maximaler PV-Nutzung die höchsten Energieerträge erzielt, bieten die eingeschränkten Varianten eine bessere Integration ökologischer, architektonischer und städtebaulicher Anforderungen. Besonders die Variante mit kombinierter Nutzung als Gründach, Staffelgeschoss und Solarthermie steht exemplarisch für die in urbanen Quartieren typische Flächenkonkurrenz, bei der technische Potenziale zugunsten multifunktionaler Nutzungen zurückgenommen werden müssen.

Über die Analyse der solaren Nutzungspotenziale horizontaler Dachflächen hinaus wurde im Rahmen des Arbeitspakets auch die systematische Einbeziehung vertikaler Fassadenflächen in die energietechnische Bewertung einbezogen. Angesichts der begrenzten Verfügbarkeit geeigneter Dachflächen in hochverdichteten urbanen Strukturen wurde der Fokus auf eine multidimensionale Erschließung solaraktiver Gebäudehüllflächen gelegt. Ziel war es, unter Berücksichtigung bauordnungsrechtlicher, gestalterischer und technischer Rahmenbedingungen, das maximal erschließbare solare Potenzial innerhalb des Quartiers zu identifizieren und planerisch zu integrieren.

Insbesondere nach Südwesten und Nordosten orientierte Fassaden wurden mittels simulationsgestützter Methoden (z. B. PV*SOL, GOSOL, Solarcomputer) auf ihre photovoltaische Eignung unter Berücksichtigung von Verschattungseinflüssen, Reflexionsverhalten und Öffnungsgraden gemäß Gestaltungshandbuch untersucht. Die spezifischen Herausforderungen vertikaler Solarnutzung – insbesondere

niedrigere spezifische Erträge, gestalterische Restriktionen sowie unterschiedliche bauphysikalische Anforderungen – wurden dabei differenziert berücksichtigt.

Die gewonnenen Erkenntnisse flossen in vielfältige Projektbausteine ein: Neben der planerischen Optimierung im Rahmen des Gestaltungshandbuchs und der Bauleitplanung wurden sie in investorenbezogene Beratungskonzepte (z. B. für das MVZ und Parkhaus [Palatina Wohnbau, IG CP] oder Kesselhaus [Stadt Kaiserslautern]) und städtebauliche Verträge überführt, um eine verbindliche Umsetzung der solaren Zielstellungen zu gewährleisten. Exemplarisch sei die detaillierte Variantenanalyse der PV-Fassadenanlage am MVZ-Parkhaus genannt, die unter Einbeziehung städtebaulicher, technischer und wirtschaftlicher Parameter verschiedene Modulkonfigurationen (horizontal/vertikal, unterschiedliche Ausrichtungen und Neigungen) hinsichtlich ihrer Energieerträge, Wirtschaftlichkeit und gestalterischen Einbindung evaluierte.

- 126 Module (200 m²)
- Ca. 21.000 kWh/a
- Ca. 35 kWp
- 640 kWh/kWp
- Ertragsminderung durch Abschattung: 12%
- Invest: 51.000 €
- Rendite: 0,48 %



- 86 Module (140 m²)
- Ca. 16.000 kWh/a
- Ca. 23 kWp
- 680 kWh/kWp
- Ertragsminderung durch Abschattung: 3%
- Invest: 35.000 €
- Rendite: 1,2 %

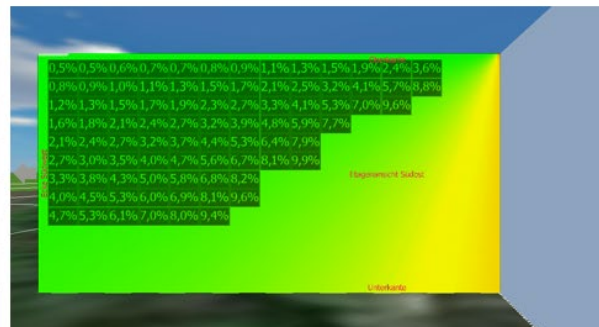


Abbildung II-31: Technisch-ökonomisch beispielhaftes Ergebnis einer Fassadenanlage am Parkhaus – © IfaS

Insgesamt trägt die umfassende Einbeziehung der Fassadenflächen signifikant zur solaren Gesamtstrategie des Quartiers bei. Sie erweitert das Spektrum der solaren Erschließungsoptionen, ermöglicht eine effizientere Nutzung der Gebäudehülle und steigert die energetische Resilienz des Quartiers unter den Bedingungen urbaner Flächenkonkurrenz. Die Kombination aus architektonischer Integration, technischer Simulation, planerischer Verankerung und akteursorientierter Umsetzung bildet dabei ein zentrales Element der im Projekt verfolgten integralen Planungs- und Transformationsstrategie.

Tabelle II-24: Forschungsergebnis Maximierung der solar genutzte Gebäude und öffentlichen Flächen – © IfaS

	Gründach + Staffelgeschoss	Gründach + Staffelgeschoss + Solarthermie	Fassadenanlage	Gesamt ohne Solarthermie	Gesamt mit Solarthermie
Leistung	3.983 kWp	1.768 kWp	1.523 kWp	5.506 kWp	3.245 kWp
Ertrag	3.600 MWh/a	1.600 MWh/a	900 MWh/a	4.500 MWh/a	2.5 MWh/a
Spez. Ertrag	910 kWh/kWp	910 kWh/ kWp	615 kWh/kWp	828 kWh/kWp	770 kWh/kWp
DF Gesamt	49.982 m ²		10.316 m ²	60.298 m ²	
Modulfläche	22.482 m ²	9.982 m ²	8.597 m ²	31.079 m ²	18.579 m ²
Moduldichte	0,45	0,22	0,83	0,52	0,31

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass durch eine gezielte Planung und Optimierung bis zu 5,5 MW_p PV-Leistung im Pfaff-Quartier installiert werden können. Dies entspricht einem jährlichen Stromertrag von 4.500 MWh/a, was bilanziell etwa 37% des Gesamtstrombedarfs des Quartiers abdecken würde. Werden die Ergebnisse des PV-Potenzials aus dem öffentlichen Raum mit einbezogen, erhöht sich das PV-Potenzial des Pfaff Quartiers um 950 kWp auf insgesamt ca. 6.450 kWp.

Mit der Kombination aus technischen Innovationen, strategischer Stadtplanung und regulatorischen Maßnahmen bietet das Arbeitspaket 2.2.1 eine übertragbare Blaupause für zukünftige nachhaltige Quartiersentwicklungen in Deutschland. Durch die Vernetzung mit anderen Arbeitspaketen, insbesondere im Bereich Energieversorgung und Mobilität, konnte das Projekt eine Sektorenkopplung zwischen Solarenergie, Elektromobilität und Quartiersenergiemanagement realisieren.

Der entwickelte Leitfaden „Maximierung solarer Erträge“, der online verfügbar ist, stellt sicher, dass die Erkenntnisse auch über das Pfaff-Quartier hinaus in zukünftige Stadtentwicklungsprojekte einfließen.



Abbildung II-32: Startseite Leitfaden Maximierung solarer Erträge – © IfaS

Zusammenfassend wurden folgende zentrale Forschungsergebnisse erzielt:

1. Erarbeitung eines praxisorientierten Leitfadens „Maximierung solarer Erträge“

Der Solarleitfaden „Maximierung solarer Erträge“ bündelt die Ergebnisse des Arbeitspakets, das sich mit der optimalen Nutzung solar geeigneter Gebäude- und öffentlicher Flächen im urbanen Kontext befasst. Ziel war es, das vorhandene solare Potenzial im Pfaff-Quartier in Kaiserslautern möglichst umfassend auszuschöpfen und zugleich übertragbare Empfehlungen für andere

Stadtquartiere zu formulieren. Angesichts der hohen Flächenkonkurrenz in innerstädtischen Gebieten – etwa durch Gründächer, Retentionsflächen, Dachterrassen oder Aufenthaltsräume – wurde ein interdisziplinärer Ansatz gewählt, der sowohl technische als auch planerische, gestalterische und organisatorische Aspekte integrierte.

Der Leitfaden richtet sich an verschiedene Zielgruppen: Kommunale Entscheidungsträger erhalten Hilfestellung zur Umsetzung von Solarpflichten und solaren Bauleitplanungen, Fachplaner und Architekten finden technische Hinweise zur Gebäudeausrichtung und Modulplatzierung, und Investoren sowie Bauherren werden bei der praktischen Umsetzung solarer Vorgaben unterstützt. Auch rechtliche und gestalterische Aspekte, etwa zur Kombination von Photovoltaik mit Dachbegrünung, werden behandelt. Die Inhalte basieren auf den Ergebnissen des Pfaff-Realabors, wurden aber bewusst so aufbereitet, dass sie auf andere Stadtquartiere übertragbar sind.

Der Solarleitfaden ist seit 2022 online über die Webseite des Instituts für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) abrufbar³³.

2. Verankerung einer Solarpflicht im Bebauungsplan

Im Rahmen der solaren Bauleitplanung wurde eine verbindliche Solarpflicht für Neubauten mit mehr als 20 m² Dachfläche eingeführt. Diese schreibt eine Belegung von mindestens 45 % der Dachfläche mit PV-Anlagen oder Solarthermie vor. Die Regelung berücksichtigt auch gestalterische Aspekte wie Retentionsdächer und erlaubt eine Reduktion bei zu hohen Verschattungsgraden.³⁴ Ein wichtiger Bestandteil war die Entwicklung einer solaren Bauleitplanung, die im Bebauungsplan verankert wurde. So wurde eine Solarpflicht³⁵ für Neubauten mit Dachflächen über 20 m² eingeführt, die vorschreibt, dass mindestens 45% der Dachfläche mit PV-Anlagen oder alternativen Solartechnologien belegt werden. Hierzu wurde im Rahmen der Solarpflicht ein Solarleitfaden „Fotovoltaik auf Gründächern“³⁶ als Beilage zum Bebauungsplan des „Pfaff-Quartiers“ in Kaiserslautern von IfaS mit entwickelt.

³³ <https://solar.stoffstrom.org>

³⁴ <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

³⁵ <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/innovationen/energie>

³⁶ [Solarleitfaden „Fotovoltaik auf Gründächern“](#)

Link: https://www.kaiserslautern.de/mb/themen/pbw/bebauungsplaene/innenstadt/koenigstr-a-s-s-pfaffstr/17_solarleitfaden_fotovoltaik_gruendach_20190815.pdf

3. Einbindung solarer Belange in den Bebauungsplan und das Gestaltungshandbuch

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden umfangreiche Analysen und Simulationen durchgeführt, deren Ergebnisse gezielt in verschiedene städtebauliche Planungsinstrumente rückgekoppelt und integriert wurden. Eine zentrale Rolle spielte dabei die Überarbeitung und Ergänzung des Gestaltungshandbuchs. Hier flossen Erkenntnisse aus Ertrags- und Verschattungsanalysen ebenso ein wie Empfehlungen zur Ausgestaltung multifunktionaler Gebäudehüllen, etwa die Kombination von Photovoltaik mit Gründächern oder die Integration von Staffelgeschossen. Aspekte wie die Orientierung und Höhe der Gebäude, der Öffnungsgrad von Fassaden sowie die Anordnung der Modulflächen wurden planerisch weiterentwickelt und gestalterisch verankert.



Abbildung II-33: Farbige PV-Module an der Fassade des alten Verwaltungsgebäudes - © Triolog/EnStadt:Pfaff

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der technischen Analysen genutzt, um konkrete Anforderungen in städtebauliche Verträge (Kaufverträge) zu überführen. Diese dienen als Instrumente, um qualitative und quantitative Ziele zur Solarenergienutzung verbindlich mit Bauherren und Investoren zu vereinbaren. Dabei standen sowohl die aktive als auch die passive Nutzung der Solarenergie im Fokus.

Die Umsetzung der Erkenntnisse erforderte eine enge Abstimmung zwischen den beteiligten Fachbereichen und Akteursgruppen. Durch fortlaufende Rückkopplung mit der Stadtplanung, den Projektentwicklern und anderen relevanten Beteiligten konnten konkurrierende Anforderungen wie Regenwassermanagement, Stadtbild, Erschließung und Aufenthaltsqualität in einem integrativen Planungsansatz berücksichtigt werden. Auf diese Weise gelang es, die technischen Potenziale der Solarenergienutzung mit den planerischen Rahmenbedingungen in Einklang zu bringen und einen übertragbaren Ansatz zur Integration erneuerbarer Energien in die Quartiersentwicklung zu schaffen.

4. Maximierung der PV-Potenziale im Pfaff-Quartier

Im Projekt wurden verschiedene Varianten zur Maximierung der Solarenergienutzung auf Dach- und Fassadenflächen systematisch untersucht und bewertet. Ziel war es, die solaren Potenziale in einem urbanen Quartier trotz vielfältiger Nutzungskonkurrenzen optimal auszuschöpfen. Die aufgestellten Varianten wurden hinsichtlich technischer Umsetzbarkeit, Verschattung, Modulauslegung sowie Ertragsdaten bewertet. Die Analyse ergab eine installierbare PV-Leistung von rund 5,5 MW_p mit einem maximal möglichen Stromertrag von ca. 4,5 GWh pro Jahr. Daraus ergibt sich ein bilanzieller Deckungsgrad des Quartierstrombedarfs von etwa 37 %. Einschließlich der Nutzung von PV im öffentlichen Raum (zusätzliche 950 kWp), etwa auf Arkaden oder Mobilitätsstationen, kann dieser Anteil auf bis zu 44 % gesteigert werden.

Ein zentrales Ergebnis des Arbeitspakets war die Erkenntnis, dass eine umfassende Nutzung solarer Potenziale im städtischen Kontext nur dann möglich ist, wenn technische, architektonische und stadtplanerische Anforderungen frühzeitig zusammengeführt und in einem integrativen Planungsprozess berücksichtigt werden.

5. Zusammenarbeit mit weiteren Arbeitspaketen und externen Fachplanern

Die Ergebnisse des AP 2.2.1 flossen unmittelbar in weitere AP ein, insbesondere in AP 2.2.1.6 (städtebauliche Verträge, Beratung von Investoren), sowie in das Energieversorgungskonzept und die Mobilitätsstrategie des Quartiers. Die Abstimmung erfolgte in Form regelmäßiger Workshops und projektinterner Rückkopplungen. Die Ergebnisse wurden z. B. während des Pfaff-Symposiums³⁷ oder Infoveranstaltungen im Reallaborzentrum³⁸ vorgestellt.

II.1.5.4 Wesentliche Erkenntnisse

Das AP 2.2.1 zeigt auf, wie groß das ungenutzte Potenzial urbaner Dach- und Fassadenflächen für die solare Strom- und Wärmegewinnung ist – selbst in innerstädtischen, hochverdichteten Quartieren. Der strukturierte, methodisch fundierte Ansatz zur solaren Flächenoptimierung liefert konkrete Werkzeuge zur Umsetzung der Energiewende auf Quartiersebene. Die Überführung der Simulationsergebnisse in rechtsverbindliche Planungsinstrumente (Bebauungsplan, Gestaltungshandbuch, städtebauliche Verträge) macht deutlich, dass technische und planerische Lösungen Hand in Hand gehen müssen.

Das Arbeitspaket entwickelte ein integrales Modell für die solare Quartiersentwicklung, das auf andere urbane Entwicklungsgebiete übertragbar ist und somit ein wesentliches Forschungsergebnis darstellt.

³⁷ Vgl. Präsentation_AP 2.2.1_Fachsymposium_Pitch Max Solar Möller - <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

³⁸ Vgl. Infoveranstaltung, Präsentation_AP 2.2.1_Vortragsreihe RLZ Photovoltaik Bernd Möller - <https://pfaff-quartier-klimaneutral.de/>

Es stellt Planungsmethoden bereit, um Solarpotenziale frühzeitig zu identifizieren und bereits in der städtebaulichen Entwurfsphase zu berücksichtigen. Damit wird ein wegweisender Beitrag zur Transformation hin zu klimaneutralen Quartieren geleistet. Besonders wertvoll ist die Verzahnung von aktiver (PV, Solarthermie) und passiver (Tageslicht, solare Wärmegewinne) Solarenergienutzung.

Im Rahmen des Projekts traten bei der Maximierung der Solarenergienutzung auf Gebäude- und Freiflächen verschiedene Herausforderungen auf, die sowohl technischer als auch planerischer Natur waren. Eine zentrale Problematik war die Flächenkonkurrenz auf den Dachflächen. Diese standen nicht nur für Photovoltaik-Anlagen zur Verfügung, sondern mussten auch Anforderungen wie Begrünung, Regenwasserrückhaltung, Haustechnikinstallationen und zum Teil auch gemeinschaftlich nutzbaren Dachterrassen gerecht werden. Daraus resultierte ein ständiger Zielkonflikt zwischen unterschiedlichen funktionalen und gestalterischen Ansprüchen.

Ein weiteres Spannungsfeld bestand zwischen städtebaulichen Anforderungen und dem solaren Optimum. Vorgaben wie Sichtachsen, Bauhöhen oder ästhetische Gestaltungsvorgaben konnten mitunter den optimalen Einfallswinkel und die Ausrichtung der Solaranlagen erheblich einschränken. Gleichzeitig zeigte sich eine zeitliche Diskrepanz im Planungsprozess: Die städtebaulichen Planungen waren teils bereits weit fortgeschritten, bevor belastbare Simulationsergebnisse zu möglichen Solarerträgen vorlagen. Dies schränkte die Möglichkeit ein, solaroptimierte Gestaltungsoptionen frühzeitig in den Planungsprozess zu integrieren.

Herausfordernd waren zudem die Kommunikation und Abstimmung mit externen Akteuren. Insbesondere bei der Erhebung von Planungs- und Verbrauchsdaten sowie der Integration solarer Anforderungen in Genehmigungsprozesse war der zeitliche Aufwand höher als erwartet. Unterschiedliche Interessen und Erwartungshaltungen zwischen Planern, Investoren, Verwaltung und wissenschaftlichen Partnern erforderten intensive Moderation und Kompromissfähigkeit, um eine integrierte Umsetzung sicherzustellen.

Zur Bewältigung der identifizierten Herausforderungen wurden im Projekt EnStadt:Pfaff verschiedene Lösungsansätze entwickelt. Ein zentrales Element war die Entwicklung multifunktionaler Nutzungskonzepte, bei denen beispielsweise Photovoltaik-Anlagen mit Gründächern, Retentionsflächen oder Aufenthaltsbereichen kombiniert wurden. Auf diese Weise konnten die unterschiedlichen Anforderungen an städtische Dachflächen bestmöglich miteinander in Einklang gebracht werden.

Ein weiterer Lösungsweg bestand in der Verankerung technischer Anforderungen in rechtlich verbindliche Instrumente wie dem Gestaltungshandbuch oder der Solarpflicht im Bebauungsplan. Dadurch

wurde sichergestellt, dass die solarenergetischen Ziele dauerhaft in die städtebauliche Entwicklung eingebunden sind.

Zudem wurde ein iterativer Planungsprozess etabliert, bei dem Simulationsergebnisse, gestalterische Vorgaben und städtebauliche Planung kontinuierlich miteinander rückgekoppelt wurden. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine flexible und anpassungsfähige Planung, die sowohl technischen als auch gestalterischen Anforderungen gerecht wurde.

Zur Dokumentation und Weitergabe der erarbeiteten methodischen und technischen Lösungen wurde ein Online-Leitfaden für Fachplaner und Investoren erstellt. Dieser ist unter <https://solar.stoffstrom.org> abrufbar und bietet umfassende Informationen zur Maximierung solarer Erträge in urbanen Quartieren.

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Solarenergienutzung in urbanen Quartieren empfiehlt sich eine frühzeitige Integration entsprechender Anforderungen bereits in die städtebauliche Rahmenplanung. Nur wenn solare Aspekte von Beginn an mitgedacht werden, lassen sich die räumlichen und gestalterischen Voraussetzungen für eine umfassende Nutzung schaffen. Dabei sollte insbesondere die Koordination zwischen den verschiedenen Planungsebenen gestärkt werden – vor allem zwischen Stadtplanung, Architektur und Energiefachplanung –, um widersprüchliche Zielsetzungen zu vermeiden und Synergien zu nutzen.

Zudem sollten multifunktionale Dächer als neuer Standard etabliert werden. Durch die Kombination von Photovoltaik- und Retentionssystemen oder ergänzenden Begrünungsmaßnahmen lassen sich sowohl ökologische als auch energetische Ziele gleichzeitig verfolgen. Um solche integrierten Ansätze gezielt zu fördern, bedarf es entsprechender Förderinstrumente, die nicht nur technologische Einzelmaßnahmen, sondern ganzheitliche Lösungen adressieren. Auf planerischer Ebene ist es darüber hinaus sinnvoll, verbindliche Gestaltungsleitlinien – etwa aus einem Gestaltungshandbuch – direkt in Bebauungspläne und städtebauliche Verträge zu integrieren, um die Umsetzung der definierten Standards verbindlich abzusichern.

Im Zuge der weiteren wissenschaftlichen Bearbeitung des Themenspektrums stellen sich verschiedene Forschungsfragen, die für die erfolgreiche Integration von Solarenergie in die Stadtplanung von zentraler Bedeutung sind. So gilt es zu untersuchen, wie sich Planungsprozesse beschleunigen lassen, ohne dabei die Qualität der solaren Integration zu beeinträchtigen. Insbesondere in komplexen Abstimmungsverfahren zwischen unterschiedlichen Fachbereichen und Akteuren besteht hier erhebliches Optimierungspotenzial.

Ein weiterer Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung und Bewertung geeigneter Planungsmodelle und Rechenwerkzeuge, die für eine breite Anwendung in Kommunen praktikabel und handhabbar sind.

Diese sollten sowohl technische als auch städtebauliche Parameter integrieren und nutzerfreundlich aufbereitet sein.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie eine verbindliche und nachvollziehbare Bewertung multifunktionaler Dächer – etwa im Hinblick auf deren ökologische und energetische Wirkung – systematisch in Planungsverfahren integriert werden kann. Nur wenn solche Bewertungen standardisiert und rechtlich anerkannt sind, lassen sich multifunktionale Lösungen wirksam durchsetzen.

Nicht zuletzt bedarf es weiterer Forschung zu tragfähigen Systemlösungen für Photovoltaik im öffentlichen Raum. Technische, wirtschaftliche und gestalterische Aspekte von Solarpergolen, PV-Carports oder Straßenüberdachungen und Straßenbelägen müssen systematisch analysiert und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf verschiedene urbane Kontexte bewertet werden.

II.1.6 AP 2.2.3 Sanierung denkmalgeschützter Gebäude

Im Rahmen von Arbeitspaket 2.2.3 wurde die Sanierung des Neuen Verwaltungsgebäudes im Pfaff-Quartier wissenschaftlich begleitet. Der Nachkriegsbau aus den 1950er Jahren steht zusammen mit der zugehörigen Werkstoranlage mit beidseitigem Anbau als bauliche Gesamtanlage unter Denkmalschutz. Im Zuge der Neugestaltung des Pfaff-Quartiers wird er seit 2019 umfassend saniert und zu einem Medizinischen Versorgungszentrum (MVZ) umgebaut. Die energetische Sanierung zielt auf den ambitionierten KfW-Effizienzhausstandard 70 ab und schafft die Voraussetzung für die Integration des denkmalgeschützten Gebäudes in das geplante klimaneutrale Stadtquartier.

Das Neue Verwaltungsgebäude wurde vom Architekten Fritz Seeberger geplant und von 1955-1958 als Vierflügelanlage in Stahlbetonskelettbauweise errichtet, mit einer Nutzfläche von ca. 12.700 m², verteilt auf 2-6 Stockwerke. Seine opaken Bauteile befanden sich zum Projektstart energetisch im Zustand des Baujahres. Mit oberster Geschossdecke und Flachdach wiesen nur die Bauteile des oberen thermischen Gebäudeabschlusses eine Dämmung auf und diese war auf eine 4 cm starke Schicht Styropor beschränkt. In den Heizperioden verantworteten die opaken Bauteile entsprechend hohe Wärmeverluste, gleiches galt für die Fenster. Die zum Projektstart verbauten Modelle stammten aus den 1970er Jahren und kombinierten Zweischeibenverglasung mit Alu-Rahmen, ohne thermische Trennung. Für den Blend- und Hitzeschutz waren sie mit manuell gesteuerten Außenjalousien ausgerüstet. Die Raumwärme wurde bis zur Stilllegung des Gebäudes vom benachbarten Heizwerk des Pfaff-Geländes geliefert, auf Basis des Energieträgers Steinkohle. Die Wärmeübergabe im Gebäude erfolgte über Radiatoren und mit hoher Vorlauftemperatur.

Die folgenden beiden Luftaufnahmen zeigen den Zustand des Gebäudes vor der Sanierung. In der zweiten Aufnahme sind für eine bessere Orientierung die Bezeichnungen der 3 Hauptgebäudeteile aufgeführt. Auf Ebene 1 unterteilt sich das neue Verwaltungsgebäude in die Gebäude 48 und 49 des Pfaff-Quartiers. Auf Ebene 2 wird bei Gebäude 49 zwischen Hauptgebäude Ost und Hauptgebäude West unterschieden.



Abbildung II-34: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht West - © IfaS



Abbildung II-35: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd – © IfaS

II.1.6.1 Ziel und Methodik

Das Ziel von Arbeitspaket 2.2.3 war die Ertüchtigung des denkmalgeschützten Neuen Verwaltungsbäudes auf ein Niveau, das die Klimaneutralität des Pfaff-Quartiers ermöglicht. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen des Arbeitspaketes Konzepte für die umfassende Sanierung seiner Gebäudehülle und Anlagentechnik entwickelt und ihre Implementierung in der Bauphase begleitet. Für den Gebäudebetrieb nach Abschluss der Sanierung wurde ein Monitoring-Konzept entwickelt und umgesetzt. Das Monitoring ermöglicht die Kontrolle und weitere Optimierung der Gebäudeeffizienz. Die im Rahmen des Arbeitspaketes gewonnenen Erkenntnisse wurden abschließend im Denkmaleitfaden systematisch aufbereitet und veröffentlicht. Mit diesem abschließenden Arbeitsschritt wurde im Oktober 2024 der zweite Meilenstein des Arbeitspakets erreicht. Den ersten Meilenstein bildete die Fertigstellung des Sanierungskonzeptes. In einer ersten Version lag dieses bereits im März 2019 vor, wurde in den Folgejahren aber kontinuierlich weiterentwickelt und an sich wandelnde Rahmenbedingungen angepasst.

Tabelle II-25: Übersicht Meilensteine – © IfaS

Nr.	Datum	Titel
M1	03/2019	Fertigstellung Sanierungskonzept
M2	10/2024	Veröffentlichung Leitfaden

II.1.6.2 Forschungsergebnisse

II.1.6.2.1 Energetisches Sanierungskonzept

Das Sanierungskonzept umfasst die Optimierung aller Bauteile der thermischen Gebäudehülle und der vollständigen Anlagentechnik. Mit diesem weitreichenden Maßnahmenpaket wird nach Abschluss der Sanierung der Gebäudestandard KfW 70 erreicht. Seine zentralen Elemente sind nachfolgend zusammengefasst.

- Innenhof: Der Innenhof der Vierflügelanlage wurde mit einer Holz-Glas-Konstruktion überdacht. Durch diesen Schritt verbesserte sich das Verhältnis zwischen Hüllfläche und beheiztem Gebäudevolumen (A/V_e) von 0,31 auf 0,22.
- Außenwände: Die Außenwände wurden von innen mit 6 cm starken Holzfaserplatten gedämmt. Eine Dämmung von außen ist bei diesem Gebäude aufgrund seiner Denkmalschutzaufgaben nicht gestattet.
- Oberer thermischer Abschluss: Alle Dächer wurden erneuert und erfüllen mit einem U-Wert von 0,11 W/(m²K) den Passivhausstandard.

- Unterer thermischer Abschluss: Im Rahmen der Kernsanierung konnte auch die Bodenplatte gedämmt werden. Durch den Einsatz von 10cm starken PUR-Platten verbessert sich ihr U-Wert auf 0,21 W/(m²K).
- Fenster: Die hohen Anforderungen an die Verglasung (Wärme-, Schall- und Denkmalschutz) konnten durch die Entwicklung eines Holzintegralfenster mit vier Glasscheiben und einer Jalousie im äußeren Scheibenzwischenraum erfüllt werden. Die Entwicklung dieser innovativen Fensterlösung ist auf der Webseite des Forschungsprojekts ausführlich dokumentiert.
 - <https://pfaqquartier-klimaneutral.de/innovationen/gebaeudetechnik/holzintegralfenster>
- Heizung: Die neue Wärmequelle bildet die Fernwärme der Stadtwerke Kaiserslautern, mit einem sehr guten Primärenergiefaktor von $f_p=0,3$. Die Wärmeabgabe an die Räume erfolgt über wassergeführte Klimadecken mit Graphitelementen, welche im Sommer auch für die Kühlung der Räume genutzt werden.
- Kühlung: Die Kombination aus hohem Fensterflächenanteil und hohen inneren Lasten erfordert eine aktive Kühlung im Sommer. Diese wird mit zwei Kompressionskältemaschinen realisiert, deren Abwärme in das Wärmenetz des Pfaff-Quartiers eingespeist wird. Ihr Strombedarf kann anteilig mit den geplanten PV-Anlagen von MVZ und zugehörigem Parkhaus gedeckt werden.
- Photovoltaik: Im Zuge der Sanierung wurden PV-Anlagen mit 250 kWp für das MVZ und 300 kWp für das zugehörige Parkhaus geplant. Ihr Strom wird voraussichtlich zu 90% als Eigenstrom verwendet, was einem Viertel des Gesamtstrombedarfs im MVZ entspricht. Seine Mieter können den PV-Strom über eine Kundenanlage nach § 3 Nr. 24a EnWG beziehen, ohne Netzgebühren und Steuern.
- Regelbarer Ortsnetztrafo: Für die Regelung der fluktuierenden Einspeisung der Photovoltaikanlagen und der fluktuierenden Lasten der Elektroladesäulen im MVZ-Parkhaus wurde ein regelbarer Ortsnetztrafo installiert.

Das energetische Sanierungskonzept für das Neue Verwaltungsgebäude wird auf 30 Seiten im ersten Meilensteinbericht von Arbeitspaket 2.2.3 behandelt, mit folgenden Elementen:

- Energetische Bestandsanalyse
 - Analyse der Gebäudehülle
 - Analyse der wärmeübertragenden Bauteile
 - Analyse von Nutzung und Konditionierung
 - Energiebilanz des Ist-Zustandes

- Energetisches Sanierungskonzept
 - Sanierungsmaßnahmen für die thermische Gebäudehülle
 - Sanierungsmaßnahmen im Feld der Anlagentechnik
 - Maßnahmenkombinationen für Effizienzhaus-Level
 - Energiebilanz des sanierten Zustandes

Die vorgenommene energetische Bilanzierung, für den Ist-Zustand und den Soll-Zustand des Gebäudes, folgt einem integralen Ansatz, mit gemeinschaftlicher Bewertung von Baukörper, Nutzung und Anlagentechnik, unter Beachtung des dynamischen Verhaltens und gegenseitiger Wechselwirkungen. Das Verfahren wurde in Deutschland im Rahmen der Umsetzung der EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie entwickelt und ist in der DIN 18599 verankert.

Eine zentrale Datengrundlage für die Bilanzierung bildet das im Rahmen von AP 2.2.3 erstellte 3D-Modell des Gebäudes. Zwei Ansichten dieses Modells sind nachfolgend eingefügt.



Abbildung II-36: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Nord-Ost - © IfaS

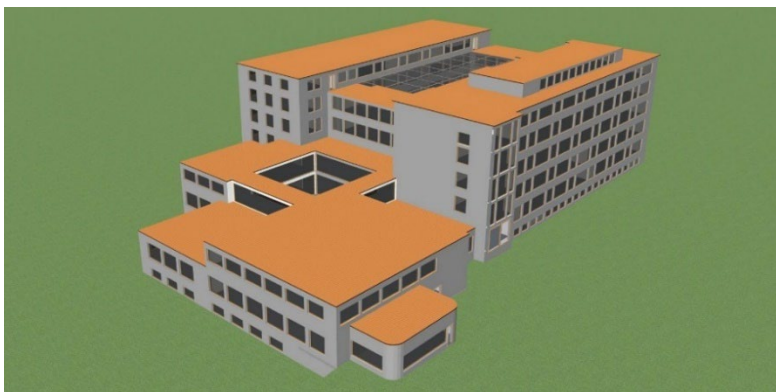


Abbildung II-37: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd-Ost - © IfaS

II.1.6.2.2 Untersuchungen zum sommerlichen Wärmeschutz

Im Rahmen von AP 2.2.3 wurden verschiedene Varianten von Verschattungssystemen, Nachtlüftung und aktiver Kühlung untersucht, als isolierte Maßnahmen und in ihrer Kombination. Dies erfolgte mit thermischen Gebäudesimulation für sogenannte „kritische Räume“, die aufgrund ihrer Lage und Fensterverteilung besonders stark der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind.

Die folgend dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf einen 38 m² großen Raum im 2. Obergeschoss von Hauptgebäude West des neuen Verwaltungsgebäudes, mit einer Fensterfläche von 14 m² nach Südwesten. Für diesen Raum wurden in der ersten Untersuchungsstufe drei verschiedenen Varianten der Verschattung berechnet: Innenjalousie, Außenjalousie und Jalousie im Scheibenzwischenraum (SZR). Die Auswirkungen auf die Raumtemperatur sind im folgenden Diagramm zusammengefasst. Die hier dargestellte Temperaturverteilung bezieht sich auf die Nutzungszeit (Mo-Fr, 8-18 Uhr) im Sommer (Juni bis August).

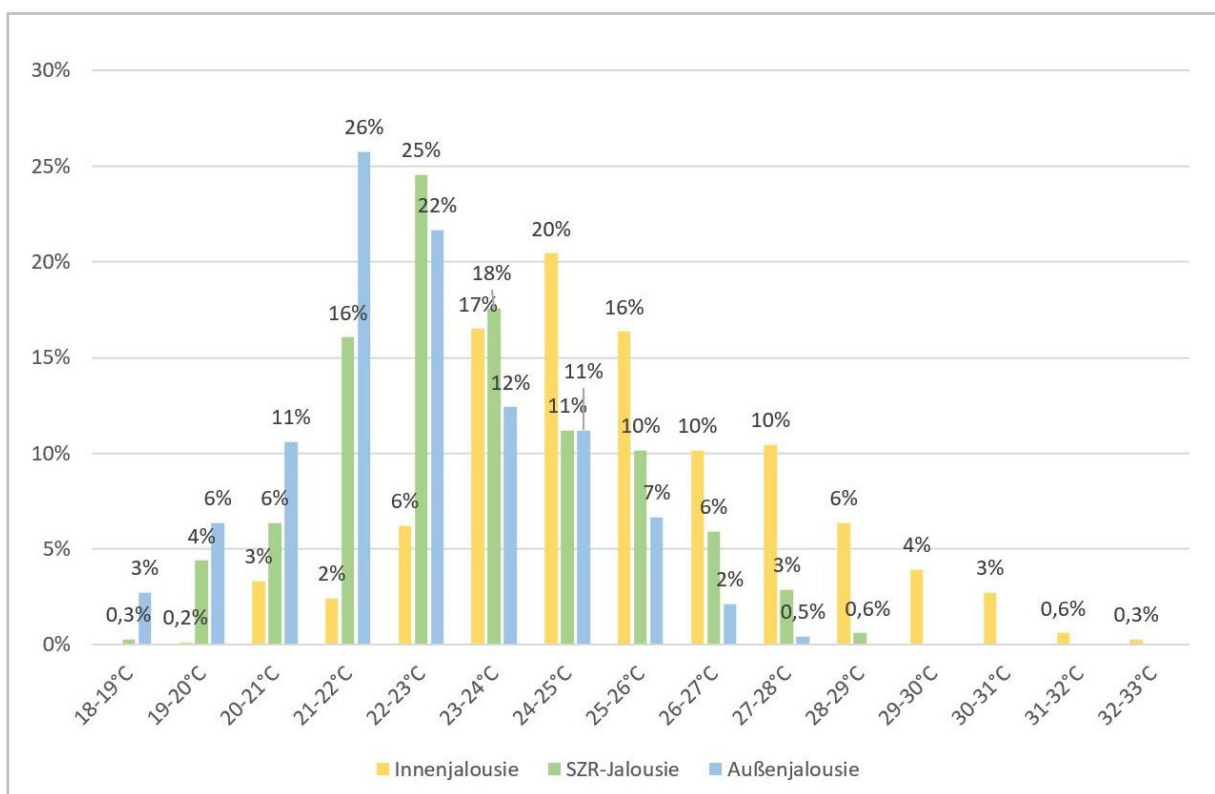


Abbildung II-38: Temperaturverteilung, innerhalb der Nutzungszeit, Zeitraum Juni-August - © IfaS

Mit einer Durchschnittstemperatur von 22,4°C bildet die Außenjalousie den effektivsten Sonnenschutz, dicht gefolgt von der Jalousie im Scheibenzwischenraum (Ø 23,2°C). Auf dem dritten Platz folgt mit größerem Abstand die Innenjalousie (Ø 25,4°C). Für die weitere Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes wurden auf Grundlage der Temperaturverteilung die sogenannten Übertemperaturstunden

berechnet, siehe Abbildung II-39. Für den Standort Kaiserslautern werden Raumtemperaturen größer 25°C als Übertemperatur gewertet.

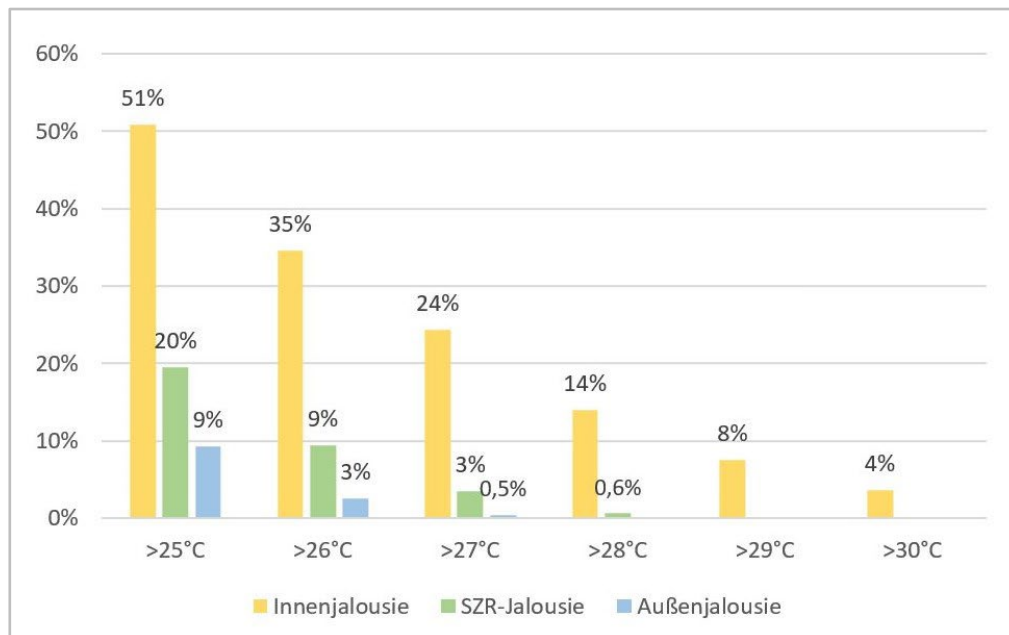


Abbildung II-39: Übertemperaturstunden in der Nutzungszeit, Juni-August - © IfaS

Aufgrund der sehr großen Fensterfläche mit Süd-West-Ausrichtung kann mit keiner der untersuchten Verschattungsvarianten die Raumtemperatur durchgehend auf maximal 25°C beschränkt werden. Mit der Außenjalousie kann der Anteil der Übertemperaturstunden in der Nutzungszeit jedoch auf nur 9% reduziert werden. Die Jalousie im Scheibenzwischenraum (SZR) liefert mit einem Anteil von 20% ebenfalls ein gutes Ergebnis. Im Vergleich mit diesen beiden Verschattungsvarianten fällt die Innenjalousie deutlich ab. Bei ihrem Einsatz wird die Grenztemperatur von 25°C bei knapp über der Hälfte der Nutzungsstunden im Sommer überschritten. Bei rund 25 % der Nutzungsstunden liegt die Raumtemperatur sogar über 27°C. Die Ergebnisse verdeutlichen eindrucksvoll die Wirksamkeit außenliegender Verschattungssysteme im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz. Deren Nachrüstung ist bei denkmalgeschützten Gebäuden aufgrund von Auflagen zum Erhalt der Fassaden jedoch häufig nicht zulässig. Jalousien im Scheibenzwischenraum bilden speziell bei diesen Rahmenbedingungen eine sehr gute Alternative.

In der zweiten Stufe der Untersuchung wurden die Auswirkungen einer Nachlüftung analysiert. Neben der Verschattung bildet die Nachlüftung eine zweite Option des passiven sommerlichen Wärmeschutzes. Sie kann über eine mechanische Lüftung erfolgen, oder über Fensterlüftung, falls eine Auswahl der Fenster automatisch geöffnet und geschlossen werden kann. Für das MVZ ist flächendeckend eine mechanische Lüftung vorgesehen. In der Untersuchung zum sommerlichen Wärmeschutz wurde diese für einen dreifachen Luftwechsel in der Nacht verwendet (22-7 Uhr), in Kombination mit Jalousien im

Scheibenzwischenraum für die Verschattung am Tag. Die Auswirkungen auf die Raumtemperatur sind in Abbildung II-40 dargestellt, aufbereitet auf Ebene der Übertemperaturstunden.

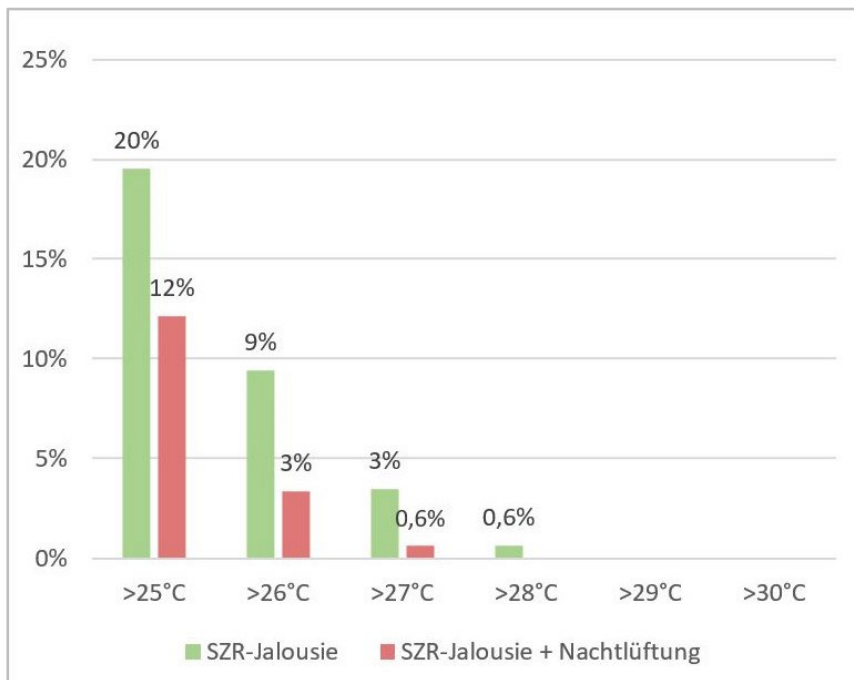


Abbildung II-40: Übertemperaturstunden, in der Nutzungszeit, Juni-August, ohne und mit Nachtlüftung - © IfaS

Durch die Nachtlüftung kann der Anteil der Übertemperaturstunden (>25°C) in der Nutzungszeit (8-18 Uhr) nahezu halbiert werden, von 20 auf 12%. Die Nutzungsstunden mit Temperaturen über 26°C bzw. 27°C verringern sich um zwei Drittel und machen nur noch etwa 3 % bzw. weniger als 1 % der Zeit aus.

Eine weitere Abkühlung der Raumluft ist im Fall des untersuchten Raums nur durch Klimatisierung möglich. Im letzten Schritt dieser Untersuchung wurde analysiert, welche Wärmelast über Klimatisierung aus dem Raum abgeführt werden muss, in Abhängigkeit der passiven Maßnahmen Verschattung und Nachtlüftung. Die Ergebnisse sind in Abbildung II-41 dargestellt. Sie beziehen sich auf eine Soll-Raumtemperatur von 23°C, mit einer zulässigen Schwankungsbreite von 2°C.

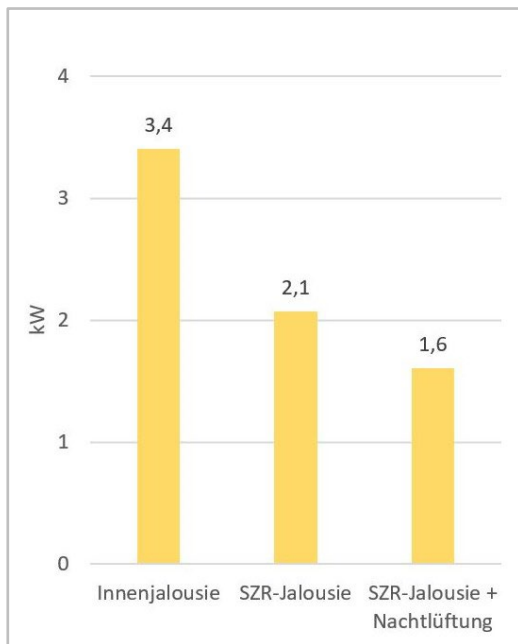


Abbildung II-41: Maximale Kühllast des untersuchten Raums - © IfaS

Das Ausgangsszenario bildet bei dieser Untersuchung eine Verschattung mit einer klassischen Innenjalousie. Über die Klimatisierung muss in diesem Fall eine Kühllast von maximal 3,4 kW aus dem Raum abgeführt werden. Wird an Stelle der Innenjalousie eine Jalousie im Scheibenzwischenraum eingesetzt, sinkt die Kühllast um 41% auf 2,1 kW. Wird diese Form der Jalousie mit einer Nachtlüftung kombiniert, reduziert sich die Kühllast weiter auf 1,6 kW. Im Vergleich zum Ausgangsszenario entspricht dies einer Reduktion der Kühllast um 53 %.

II.1.6.2.3 Ökobilanzielle Bewertung der Sanierung

Im Rahmen von AP 2.2.3 wurden die für die Sanierung der thermischen Gebäudehülle erforderlichen Baustoffe erfasst und auf ihre Umweltauswirkungen untersucht. Im Fokus standen hierbei die sogenannte „graue Energie“ der Baustoffe und die mit ihrem Lebenszyklus verbundenen Treibhausgasemissionen.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungsstufe sind in Tabelle II-26 zusammengefasst. Zur Berechnung der hier aufgeführten Baustoffmassen wurden die Bauteilflächen aus dem 3D-Modell mit dem Schichtaufbau der jeweiligen Bauteile kombiniert. Ihre ökobilanzielle Bewertung erfolgte anschließend mit Hilfe der Materialdatenbank des Forschungsprojektes EnStadt:Pfaff, für die Wirkungskategorien kumulierter Energieverbrauch (KEV) und Treibhauspotential (GWP).

Tabelle II-26: Baustoffe der Gebäudehüllensanierung und verbundene Umweltauswirkungen - © IfaS

	Masse	KEV	GWP
	t	MWh	t CO ₂ eq
Estrich	570,0	280,4	115,0
Brettsperrholz	322,5	812,9	102,6
Klinker	228,3	319,2	69,5
Fliesen	82,6	299,6	59,2
Verglasung Fenster&Türen	77,2	394,1	110,6
Holzfaserdämmung	55,9	532,1	53,4
Rahmen Fenster&Türen	41,2	419,4	38,9
Innenputz	38,9	28,5	5,9
PU/PIR-Dämmung	32,4	70,4	24,1
OSB-Platten	24,8	123,0	16,8
Abdichtungsmaterial	23,0	269,2	33,7
Glasdach	13,7	248,1	66,7
Gipskartonplatten	9,4	13,1	1,7
Holzlaten	4,3	6,7	0,6
Mineralfaserdämmung	1,6	10,3	2,6
Summe	1.525,6	3.826,8	701,1

In einer zweiten Untersuchungsstufe wurden die Ergebnisse von Stufe 1 mit den jährlichen Einsparungen verglichen, die aus der Sanierung der thermischen Gebäudehülle resultieren. Diese Einsparungen wurden als Differenz der Energiebilanzen von zwei Gebäudesimulationen berechnet, siehe Tabelle II-27. Die Gebäudesimulation des sanierten Zustands diente als Ausgangsbasis. Für den Vergleich wurde eine Kopie des Projekts erstellt, bei der lediglich die Gebäudehülle in den unsanierten Zustand zurückversetzt wurde. Alle anderen Parameter der Simulation blieben identisch.

Tabelle II-27: Auswirkungen der Gebäudehülle auf ein davon abgesehen energetisch ertüchtigtes Gebäude - © IfaS

	Primärenergiebedarf						THG-Emissionen
	Heizung	Warmwasser	Beleuchtung	Lüftung	Kühlung	Gesamt	t CO ₂ eq/a
	MWh/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a	
Mit unsanierter Gebäudehülle	855,8	510,4	340,3	906,7	180,6	2.794,0	935,5
Mit sanierter Gebäudehülle	336,7	510,4	338,5	906,7	199,4	2.291,6	742,2
Einsparung	519,1	0,0	1,8	0,0	-18,7	502,3	193,3

Wie erwartet unterscheiden sich die beiden Energiebilanzen primär beim Energiebedarf der Heizung, mit einer Differenz von 519 MWh. Bei den restlichen Gewerken zeigen sich nur kleine Unterschiede, hervorgerufen durch Änderung von Fenstergläsern und Verschattungslösung. Über alle fünf Gewerke resultieren jährliche Einsparungen von 502 MWh Primärenergie und 193 t CO₂eq. Mit diesen Einsparungen und den in Untersuchungsstufe 1 gewonnenen Ergebnissen wurden Amortisationszeiten für die

beiden Wirkungskategorien der Ökobilanz berechnet: 7,6 Jahre für die graue Energie (KEV) und 3,6 Jahre beim Treibhauspotential (GWP). Die mit dem Lebenszyklus der Baustoffe verbundenen Schädwirkungen werden durch die Einsparungen im Gebäudebetrieb schnell ausgeglichen.

In einer dritten Untersuchungsstufe wurde die Sanierung der thermischen Gebäudehülle ihrem Neubau gegenübergestellt. Für das Neubau-Szenario wurden überwiegend ökologische Baumaterialien ausgewählt. Außenwände, Dach, und Decken sind aus Brettspertholz gefertigt, die Außenwände mit Holzfaserdämmung versehen. Stahlbeton kommt nur für die Bodenplatte zum Einsatz. Die Ergebnisse der beiden Untersuchungsvarianten sind in Tabelle II-28 gegenübergestellt.

Tabelle II-28: Vergleich von Sanierung und Neubau der thermischen Gebäudehülle - © IfaS

	Masse		KEV		GWP	
	Sanierung	Neubau	Sanierung	Neubau	Sanierung	Neubau
	t	t	MWh	MWh	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq
Stahlbeton	-	2.362,0	-	927,1	-	420,7
Estrich	570,0	570,0	280,4	283,0	115,0	116,0
Brettspertholz	322,5	698,1	812,9	1.759,5	102,6	222,1
Klinker	228,3	824,2	319,2	1.152,1	69,5	250,9
Fliesen	82,6	82,6	299,6	299,6	59,2	59,2
Verglasung Fenster&Türen	77,2	77,2	394,1	394,1	110,6	110,6
Holzfaserdämmung	55,9	101,9	532,1	970,7	53,4	97,4
Rahmen Fenster&Türen	41,2	41,2	419,4	419,4	38,9	38,9
Innenputz	38,9	-	28,5	-	5,9	-
PU/PIR-Dämmung	32,4	41,5	70,4	90,1	24,1	30,9
OSB-Platten	24,8	50,7	123,0	251,3	16,8	34,2
Abdichtungsmaterial	23,0	33,4	269,2	317,4	33,7	35,5
Glasdach	13,7	13,7	248,1	248,1	66,7	66,7
Gipskartonplatten	9,4	33,8	13,1	47,1	1,7	6,0
Holzlaten	4,3	15,4	6,7	24,0	0,6	2,0
Mineralfaserdämmung	1,6	-	10,3	-	2,6	-
Summe	1.525,6	4.945,7	3.826,8	7.183,6	701,1	1.491,2

Beim Vergleich der beiden Szenarien gilt es zu berücksichtigen, dass die Sanierung des neuen Verwaltungsgebäudes weit über eine klassische Sanierung hinausgeht. Aufgrund schwerer Brandschäden musste ein Teil des Gebäudes abgerissen und im Zuge der Sanierung neu aufgebaut werden. Die Nutzfläche wird zudem durch eine Geschossaufstockung erweitert. In der Kombination führen diese Faktoren zu einem Neubau von ca. 30% der Außenwand- und ca. 64% der Dachfläche.

Im Vergleich zur Sanierung steigt die Baustoffmenge beim Neubau der thermischen Gebäudehülle um den Faktor 3,2. Beim kumulierten Energieverbrauch (KEV) und den Treibhauspotential (GWP) erfolgt eine Steigerung um Faktor 1,9 (KEV) und Faktor 2,1 (GWP).

II.1.6.2.4 Leitfaden für die Sanierung denkmalgeschützter Gebäude

Die in AP 2.2.3 gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem Leitfaden mit einem Umfang von 110 Seiten gebündelt. Aufbereitet als Onlineplattform ist er über die URL <https://denkmal.stoffstrom.org> frei zugänglich. Ein Ausschnitt seiner Startseite ist nachfolgend als Abbildung II-42 eingefügt.

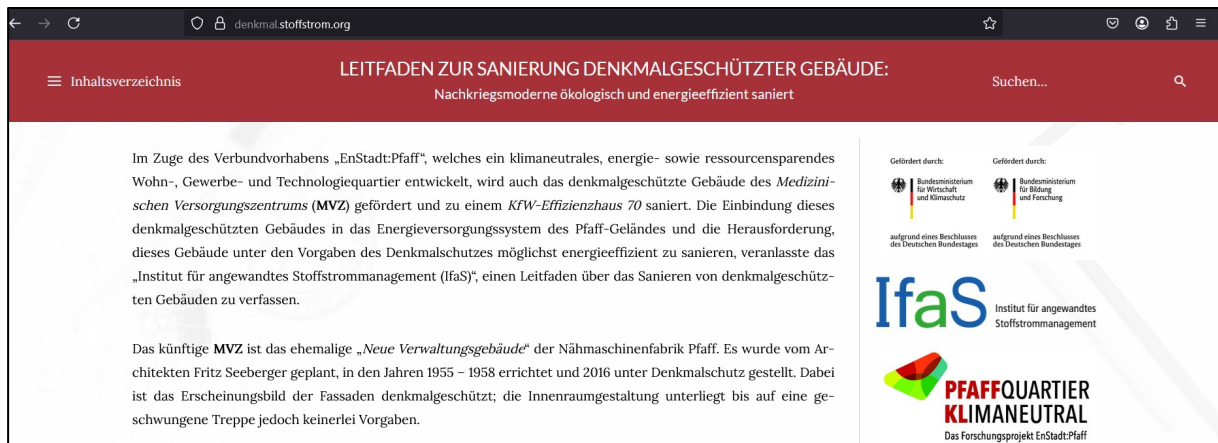


Abbildung II-42: Onlineplattform des Leitfadens - © IfaS

Der Leitfaden behandelt die Sanierung des denkmalgeschützten neuen Verwaltungsgebäudes im Pfaff-Quartier, eingebettet in einen umfassenden theoretischen Rahmen aus diesen Elementen:

- Rechtliche Rahmenbedingungen bei der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude
- Zirkuläres Bauen und Lebenszyklusanalyse im Kontext Denkmalschutz
- Bauphysikalische und technische Aspekte bei der energetischen Sanierung denkmalgeschützter Gebäude
- Förderung und Nachhaltigkeitszertifizierung
- Photovoltaik an denkmalgeschützten Gebäuden

Die Inhalte dieser Elemente sind folgend zusammengefasst.

Rechtliche Rahmenbedingungen bei der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude

Einleitend wird die Rechtslage für Baudenkmäler in Deutschland dargestellt. Nach einer Definition zentraler Begrifflichkeiten wird die Gesetzeslage und die zuständige Behördenstruktur analysiert. Den Abschluss bildet das Genehmigungsverfahren für bauliche Änderungen an denkmalgeschützten Gebäuden, das auch bei energetischen Sanierungen durchlaufen werden muss.

Zirkuläres Bauen und Lebenszyklusanalyse im Kontext Denkmalschutz

Der theoretische Rahmen wird nachfolgend um die zukunftsweisenden Themen zirkuläres Bauen und Lebenszyklusanalyse erweitert.

Beim Konzept des zirkulären Bauens wird die Bauwirtschaft nicht länger als lineare Wirtschaft, sondern als zirkuläre Wirtschaft mit geschlossenen Kreisläufen betrachtet. Um dieses Konzept voranzutreiben, setzen Akteure der Bauwirtschaft an unterschiedlichen Stellen an. Sie betreiben Projekte, Geschäftsmodelle sowie Praktiken, welche zur Ressourcenschonung entlang des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden beitragen sollen. Neben modularen und zirkulären Gebäudedesigns umfasst das Konzept die Einstufung des Gebäudebestandes als wertvolle Sanierungsbasis sowie Materialquelle und -lager.

Die Lebenszyklusanalyse wird in diesem Kontext als zentrales Instrument für die Bewertung der Baumaterialien herangezogen. Bei deren Auswahl sollte nicht nur auf die Qualität und die Herkunft geachtet werden, sondern insbesondere auch auf Sanierungsfreundlichkeit, die Möglichkeit zum Rückbau und zur Wiederverwendung/Rezyklierbarkeit. Diese erweiterten Bewertungskriterien können mit Hilfe von Lebenszyklusanalysen der verschiedenen Baumaterialien abgedeckt werden.

Die aus der Lebenszyklusanalyse hervorgehenden Informationen können in sogenannten Materialpässen zusammen mit anderen Informationen, wie z. B. Herstellerangaben, zusammengeführt werden. Solche Materialpässe geben einen strukturierten Überblick über die verwendeten Materialien und deren Ressourcenwert im Gebäude. Digitale Werkzeuge wie der Materialpass und das Building Information Model (BIM) werden die prozessübergreifende Planung im Bausektor zukünftig deutlich erleichtern.

Bauphysikalische und technische Aspekte bei der energetischen Sanierung denkmalgeschützter Gebäude

Den Schwerpunkt des theoretischen Rahmens bildet die Darstellung der bauphysikalischen und technischen Aspekte bei der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude. Das Themenfeld umfasst sowohl die Sanierung der Gebäudehülle als auch die Modernisierung der technischen Gebäudeausrüstung, insbesondere von Heizung, Kühlung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung.

Die geeignete Wahl der Energiequelle und des bestmöglichen energetischen Standards des Gebäudes stehen heute im Zentrum eines Sanierungsprozesses, auch bei denkmalgeschützten Gebäuden. Dieser Teil des Leitfadens liefert dem Leser das nötige Hintergrundwissen für eine sichere Navigation in diesem zunehmend komplexen Feld.

Förderung und Nachhaltigkeitszertifizierung

In diesem Kapitel des Leitfadens wird die Förderung der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude in Deutschland behandelt. Die Förderung umfasst Zuschüsse und zinsvergünstigte Kredite, für Maßnahmen an der thermischen Gebäudehülle und/oder Anlagentechnik. Das Kapitel behandelt auch die Nachhaltigkeitszertifizierung, mit der das Förderniveau einer energetischen Gebäudesanierung aufgestockt werden kann.

Photovoltaik an denkmalgeschützten Gebäuden

Das finale Kapitel bildet die Photovoltaik-Nutzung an denkmalgeschützten Gebäuden. Einleitend werden die technischen Rahmenbedingungen behandelt, anschließend denkmalkonforme Neuentwicklungen der PV-Branche. Hierbei handelt es sich um dachintegrierte und dachziegelintegrierte Photovoltaik-Module, die sich optisch harmonisch in das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes einfügen. Abgerundet wird die Darstellung mit einer Reihe von Praxisbeispielen für den Einsatz von Photovoltaik im Einklang mit Denkmalschutz.

Der im Rahmen von AP 2.2.3 entwickelte Leitfaden richtet sich an alle Akteure, die ein gesteigertes Interesse am Erhalt und zukunftsfähigen Ausstattung der denkmalgeschützten Bausubstanz haben und die an der energetischen Sanierung von Gebäuden des Denkmalschutzes beteiligt sind. Dies sind hauptsächlich am Planungs- und Realisierungsprozess beteiligte Akteure von kommunalen Verwaltungen, Architekten, Investoren und Bauherren. Die Sanierung des neuen Verwaltungsgebäudes im Pfaff-Quartier – ein Bürogebäude aus der frühen Nachkriegsmoderne – dient als selten dokumentiertes Praxisbeispiel und ist in einen umfassenden theoretischen Rahmen eingebettet. Die darin aufgeführten rechtlichen Rahmenbedingungen liefern ihnen einen Einblick in die komplexere und zeitaufwendigere Planungsphase bei der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude. Mit der Methodik der Lebenszyklusbetrachtung werden sie in das zukunftsweisende Thema zirkuläres Wirtschaften und Bauen eingeführt.

II.1.6.3 Wesentliche Erkenntnisse

Die Sanierung des denkmalgeschützten Neuen Verwaltungsgebäudes im Pfaff-Quartier steht am Ende des Forschungsprojektes kurz vor ihrem Abschluss, ein Teilbetrieb des Gebäudes läuft bereits seit Sommer 2024. Mit dem Gebäudestandard KfW 70 wurde das Ziel eines im Betrieb möglichst energieeffizienten Gebäudes erreicht. Die Verwendung natürlicher Baustoffe trug zusätzlich zur Verbesserung der Ökobilanz bei. Mit diesen Merkmalen fügt sich das denkmalgeschützte Gebäude sehr gut in das energie- und ressourcensparende Stadtquartier ein, das auf dem ehemaligen Pfaff-Werksgelände in Kaiserslautern entsteht.

Durch wissenschaftliche Begleitung und gezielte Investitionsförderung konnten für alle Problemstellungen im Spannungsfeld aus Umwelt- und Denkmalschutz überzeugende technische Lösungen entwickelt, implementiert und in Form eines Leitfadens dokumentiert werden. Ein gutes Beispiel bilden die installierten Holzintegralfenster mit vier Glasscheiben und Jalousien im äußeren Scheibenzwischenraum. Mit dieser innovativen Lösung konnten die hohen Anforderungen von Denkmalschutz, sommerlichem und winterlichem Wärmeschutz sowie Schallschutz erfüllt werden, die bei den Fenstern des Neuen Verwaltungsgebäudes bestehen, mit zusätzlichen Vorteilen bei der Ökobilanz. Ihr Einbau war möglich, da die Mehrkosten der innovativen Lösung durch Fördermittel des Forschungsprojektes abgedeckt wurden.

Die Sanierung verlief insgesamt erfolgreich, verzögerte sich jedoch aufgrund der Corona-Pandemie und des Fachkräftemangels im Bauwesen gegenüber dem ursprünglichen Zeitplan. Aufgrund dieser Entwicklung konnte das Monitoring des Gebäudebetriebs zwar vorbereitet, aber nicht durchgeführt werden. Diese Lücke bei Auswertung und Optimierung der Sanierung wird im Rahmen des Anschlussprojektes geschlossen.

Bei den Arbeiten im Rahmen von AP 2.2.3 erwies sich der Kontakt zum mit der Gebäudesanierung beauftragten Architekturbüro als Schlüsselement. Mit der Förderung der Mehrkosten innovativer technischer Lösungen, war der Einfluss des Forschungsprojektes auf die Gebäudesanierung gesichert. Ein gesondertes Budget würde den Einfluss der Forschung auf Bauprojekte weiter stärken, indem es Architekten und weiteren Planungsbeteiligten ermöglicht, den personellen Mehraufwand für eine enge Zusammenarbeit mit der Wissenschaft zu kompensieren.

II.1.7 AP 2.2.5 Lebenszyklusbetrachtungen, Materialdatenbank

II.1.7.1 Ziel

Im Rahmen des Arbeitspakets 2.2.5 wird ein Quartierplanungstool inklusive umfangreicher Datenbank entwickelt, welches die in den Gebäuden des Quartiers eingesetzten Materialien erfasst und registriert. Dieses Tool ermöglicht eine einfache, ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten durch Entscheidungsträger unter dem Aspekt der Lebenszyklusbetrachtung. Das Ziel besteht darin, Lebenszyklusbetrachtungen in die Energie-, Infrastruktur- und Gebäudeplanungen zu integrieren, um eine zukunftsweisende Kreislaufwirtschaft zu fördern. Dies schließt insbesondere die Förderung eines optimierten Gebäuderückbaus, etwa durch die Wiederverwendung von Materialien, mit ein.

Die Intention, den Gebäudesektor ganzheitlich in die Betrachtung von Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen einzubeziehen, gewinnt auf europäischer Ebene zunehmend an Bedeutung. Begriffe wie Lebenszyklus-(Treibhausgas)emissionen, Gebäude-Lebenszyklusbilanz, Treibhausgaspotenziale sowie Datenbanken für die Gesamtenergieeffizienz stehen im Mittelpunkt dieser Entwicklung. Sie bilden die Basis für die Einführung transparenter Indikatoren und Instrumente zur Bewertung der Gesamtwirkung von Bauprojekten auf Klima und Ressourcen.

Auch wenn zu Beginn des Projekts EnStadt:Pfaff die vollständige Ausgestaltung der regulatorischen Vorgaben auf EU-Ebene noch nicht absehbar war, zeichnete sich bereits eine klare Tendenz in Richtung einer ganzheitlichen Umweltwirkungserfassung ab. AP 2.2.5 trägt diesen Entwicklungen Rechnung, indem es ein Werkzeug zur Verfügung stellt, das die systematische Erfassung relevanter Daten und deren Bewertung über den gesamten Lebenszyklus hinweg ermöglicht.

Zentrales Instrument zur Umsetzung ist die Berechnung und Bewertung anhand dreier Kennzahlen:

- Kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Kumulierter Energieverbrauch (KEV)
- Kumulierter Stoffaufwand (KSA)

Mithilfe dieser Indikatoren wird die Frage beantwortet, ob potenzielle Einspareffekte, Effizienzsteigerungen und Ertragsoptimierungen des Gesamtsystems die zusätzlichen Energieaufwendungen und Treibhausgasemissionen bei Herstellung, Transport, Installation und Betrieb aufwendiger technischer Lösungen langfristig rechtfertigen.

Zusätzlich zur energetischen Betrachtung werden auch weitere Umweltwirkungen wie Treibhauseffekt, Bodenversauerung, Eutrophierung, Ozonabbau und Bildung von bodennahem Ozon berücksichtigt.

Ein zentrales Entwicklungsziel bestand in der Konzeption einer einfach bedienbaren und frei zugänglichen Softwarelösung, die sowohl Laien als auch Fachplaner (z. B. Architekten, Bauingenieure) in die Lage versetzt, Lebenszyklusanalysen frühzeitig und ohne umfangreiche Vorkenntnisse durchzuführen. Die browserbasierte Anwendung wurde von IfaS in Kooperation mit dem Fraunhofer IESE als sogenanntes „LCA BAU“-Tool entwickelt und bildet bereits einen Prototyp zur Berechnung von Lebenszyklus-Emissionen und grauer Energie.

Das Tool ist insbesondere auf die frühen Planungsphasen (HOAI-Leistungsphasen 0–2) ausgerichtet und ermöglicht eine Bewertung sowohl auf Gebäude- als auch auf Quartiersebene. Auch vergleichende Analysen verschiedener Bauweisen oder Materialvarianten sind möglich.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor des Tools ist seine niedrige Zugangshürde: Es wird bewusst auf zusätzliche Eingabepflichten oder komplexe Datenanforderungen verzichtet, wie sie in vergleichbaren Tools üblich sind. Damit trägt die Anwendung zur Überwindung von Hemmnissen in der praktischen Anwendung von Ökobilanzierungen bei und fördert die breite Implementierung von Lebenszyklusanalysen in realen Planungsprozessen.

II.1.7.2 Hintergrund und Rahmenbedingungen

Die zunehmende Dringlichkeit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zur Steigerung der Energieeffizienz stellt insbesondere den Gebäudesektor vor weitreichende Herausforderungen. Der europäische Gesetzgeber hat mit der Überarbeitung und Schärfung zentraler Richtlinien klare Vorgaben formuliert, um die Klimaziele der EU zu erreichen und die Transformation hin zu einem nachhaltigen, ressourcenschonenden Gebäudebestand zu beschleunigen.

Diese Rahmenbedingungen haben direkten Einfluss auf das Arbeitspaket 2.2.5 und bilden die regulatorische und inhaltliche Grundlage für die Entwicklung des digitalen Planungs- und Bewertungstools (LCA-Bau-Tool) zur Lebenszyklusanalyse im Quartierskontext. In den folgenden Kapiteln werden zentrale Aspekte dieser Rahmenbedingungen näher erläutert

II.1.7.2.1 Zusammenhang zwischen AP 2.2.5, der „EU-Energieeffizienz-Richtlinie“ & der „EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“

Die Umsetzung des AP 2.2.5 steht in direktem Zusammenhang mit den Anforderungen aus der überarbeiteten EU-Energieeffizienz-Richtlinie (EED) sowie der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD). Beide Richtlinien betonen die Notwendigkeit eines ganzheitlichen Energie- und Ressourcenkonzepts über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden hinweg.

AP 2.2.5 nimmt diese Entwicklungen auf und zielt darauf ab, ein Werkzeug zu entwickeln, das die Umsetzung dieser Anforderungen auf Ebene der Quartiersplanung unterstützt. Damit wird eine Brücke geschlagen zwischen den regulatorischen Anforderungen auf EU-Ebene und der praktischen Planung vor Ort. Insbesondere die Forderung nach Lebenszyklusbetrachtungen, zirkulärer Nutzung von Materialien und der Erfassung grauer Energie im Gebäudesektor wird durch das Quartierplanungstool adressiert.

Zudem bietet AP 2.2.5 die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die langfristige Umweltwirkung technischer Entscheidungen im Kontext komplexer energetischer und baulicher Wechselwirkungen innerhalb von Quartieren zu ziehen - ein Aspekt, der in beiden EU-Richtlinien als zentral hervorgehoben wird.

II.1.7.2.2 Fristen und Anforderungen aus den EU-Richtlinien

Die überarbeiteten Richtlinien der EU beinhalten klare Fristen und Anforderungen für die Mitgliedstaaten, insbesondere im Hinblick auf die Einführung und Anwendung von Lebenszyklusanalysen im Gebäudereich:

- Die EPBD fordert u. a. ab 2027 die verpflichtende Berechnung von Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus für neue Gebäude.
- Für öffentliche Gebäude soll dies bereits ab 2026 gelten.
- Darüber hinaus sieht die Richtlinie vor, dass ab 2030 alle Neubauten emissionsfrei sein sollen, wobei der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden muss.
- Die EED schreibt den Ausbau von Energieeffizienzmaßnahmen auf Systemebene vor, insbesondere durch die Einführung von Indikatoren, mit denen sowohl der Energieverbrauch als auch die damit verbundenen Umweltwirkungen über die Nutzungsdauer eines Systems erfasst und bewertet werden können.

Die im AP 2.2.5 entwickelten Methoden und Werkzeuge dienen der frühzeitigen Umsetzung dieser Anforderungen und leisten so einen Beitrag zur nationalen und europäischen Zielerreichung im Kontext Klimaschutz, Ressourcenschonung und nachhaltiges Bauen.

II.1.7.2.3 Darstellung des Gesamt-Lebenszyklus nach den EU-Richtlinien

Die beiden maßgeblichen EU-Richtlinien, die EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) und die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD), verdeutlichen den politischen Willen, die Betrachtung des Lebenszyklus von Gebäuden konsequent in die Planung, Bewertung und Steuerung des Gebäudesektors zu integrieren. Der Fokus liegt dabei nicht mehr nur auf dem Energieverbrauch während der Nutzungsphase, sondern auf einer ganzheitlichen Betrachtung über alle Lebensphasen hinweg

– von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung, Bau, Betrieb, Umnutzung, Rückbau bis hin zur Wiederverwendung oder Entsorgung von Materialien.

Ein zentrales Ziel der Richtlinien besteht darin, den Treibhausgasausstoß und Energieaufwand entlang des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden sichtbar und bewertbar zu machen. Hierfür werden verstärkt Methoden wie die Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA) eingefordert. Diese ermöglicht eine transparente, nachvollziehbare Quantifizierung und Bewertung ökologischer Wirkungen, etwa durch Indikatoren wie den Kumulierten Energieaufwand (KEA), den Kumulierten Energieverbrauch (KEV) und den Kumulierten Stoffaufwand (KSA).

Die EU-Richtlinien stellen dabei nicht nur Anforderungen an die Erstellung solcher Bewertungen, sondern liefern auch den methodischen Rahmen und die inhaltliche Grundlage für nationale Implementierungen und Bewertungsstandards. Ein praktisches Umsetzungsinstrument, das diesen Anforderungen Rechnung trägt, ist der von der EU entwickelte und empfohlene Level(s)-Rahmen:

Hierbei handelt es sich um einen Bewertungs- und Berichtsrahmen, der eine gemeinsame Sprache für die Nachhaltigkeitsleistung von Gebäuden bietet. Level(s) fördert die Berücksichtigung des Lebenszyklus von Gebäuden und liefert einen robusten Ansatz zum Messen und Unterstützen von Verbesserungen vom Entwurf bis zum Lebensende von Wohngebäuden und Büroräumen. Level(s) verwendet Basisindikatoren zur Nachhaltigkeit, die im und vom Bausektor getestet werden, um CO₂, Materialien, Wasser, Gesundheit und Wohlbefinden sowie Klimawandelfolgen unter Berücksichtigung von Lebenszykluskosten und Wertermittlungen zu bemessen. Level(s) ist Open Source-Software und steht jedem kostenlos zur Verfügung.³⁹

Der Level(s)-Rahmen erfüllt somit mehrere Funktionen. Er operationalisiert die Anforderungen der EU-Richtlinien, unterstützt öffentliche und private Akteure bei der Umsetzung und erleichtert die europaweite Vergleichbarkeit von Nachhaltigkeitsbewertungen. Darüber hinaus bietet er auch eine methodische Grundlage für die Entwicklung von Instrumenten wie dem „LCA-BAU-Tool“, das im Rahmen des Arbeitspakets 2.2.5 konzipiert wurde.

II.1.7.3 Methodik

Umweltdeklarationen dienen der transparenten und standardisierten Kommunikation über die Umweltauswirkungen von Produkten oder Dienstleistungen. Sie beruhen auf normativen Grundlagen,

³⁹ Vgl. EC (2023), S. 4 ff.

Eine genaue Beschreibung findet sich unter der URL: <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/UM1.ENV-2020-00021-02-00-DE-TRA-00.pdf>

insbesondere den Normen DIN EN ISO 14040 bis 14044, welche die methodischen Anforderungen für Lebenszyklusanalysen (LCA) bzw. Ökobilanzierungen festlegen. Ziel ist es, den gesamten Lebensweg eines Produkts ökologisch zu bewerten. Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPDs) sind ein zentrales Instrument in diesem Prozess, wobei drei verschiedene Typen unterschieden werden.

- Typ-I-Umweltzeichen gemäß DIN EN ISO 14024 sind freiwillige, von unabhängigen Stellen vergebene Umweltkennzeichnungen. Sie basieren auf Lebenszyklusprinzipien, erfassen jedoch nur ausgewählte Umweltindikatoren und Ressourcenparameter. Typ-I-Zeichen bieten eine vergleichende Bewertung innerhalb einer Produktgruppe anhand vorab definierter Kriterien. Beispiele hierfür sind der „Blaue Engel“ oder das EU Ecolabel. Diese Umweltzeichen dienen insbesondere der verbraucherfreundlichen Orientierung auf dem Markt.
- Typ-II-Umweltaussagen nach DIN EN ISO 14021 sind sogenannte Selbstdeklarationen. Dabei handelt es sich um umweltbezogene Aussagen von Herstellern oder Händlern, wie etwa „100 % recycelbar“ oder „klimaneutral produziert“. Diese Aussagen unterliegen keiner externen Prüfung und bieten daher eine hohe Flexibilität, bergen jedoch auch das Risiko potenziell irreführender oder nicht nachvollziehbarer Angaben. Voraussetzung für ihre Glaubwürdigkeit ist eine transparente und belegbare Formulierung.
- Typ-III-Umweltproduktdeklarationen basieren auf der DIN EN ISO 14025 und stellen die umfassendste Form der Umweltdeklaration dar. Sie erfassen die Umweltauswirkungen eines Produkts oder einer Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus hinweg – von der Rohstoffgewinnung bis hin zur Entsorgung oder dem Recycling. Anders als Typ-II-Deklarationen sind Typ-III-EPDs faktenbasiert, quantifiziert und müssen durch unabhängige Dritte extern verifiziert werden. Diese Deklarationen beruhen auf umfangreichen Ökobilanzdaten und dienen insbesondere der objektiven Vergleichbarkeit zwischen Produkten derselben Kategorie. Im Bausektor spielen sie eine zentrale Rolle, wobei die DIN EN 15804 grundlegende Produktkategorie-Regeln (PCR) für Bauprodukte und Bauleistungen bereitstellt.

Am Anfang der Methoden-Entwicklung wurde eine Workshop- und Evaluationsphase genutzt, um ein grundlegendes zielgeführtes Vorgehen zu koordinieren. Im Mittelpunkt standen hierbei die Evaluierung und die Modifikation der vorhandenen Konzept-Alternativen. Dies betraf einerseits die Handhabung der vorhandenen Datensätze aus den verschiedenen analysierten Datenbanken und andererseits die Reflexion des Tool-Entwicklungs-Prozesses im Sinne einer besseren Anwenderfreundlichkeit.

Im Vorfeld und parallel dazu wurden im Zeitraum ab Ende 2018 und Anfang 2019 verschiedene bereits bekannte Quellen von Datensätzen zur Lebenszyklusbetrachtung⁴⁰ von Produkten und Prozessen recherchiert und analysiert.

II.1.7.3.1 Analyse der Datenbanken zur Lebenszyklusbetrachtung

Zur Auswahl geeigneter Datenquellen für die Lebenszyklusanalyse wurde eine systematische Untersuchung relevanter Datenbanken durchgeführt.

GEMIS:

Die ursprüngliche Auswertung betraf zuerst die generische Datenbank „Globale-Emissions-Modelle-Integrierter-Systeme“, kurz GEMIS, in der damals aktuellen Version 4.9, mit ca. 10.000 Einzel-Datensätzen. Die Analyse zeigte, dass viele der Datensätze – gruppiert nach den jeweiligen Ersteller-Institutionen – strukturell sehr ähnlich aufgebaut sind. Es handelt sich somit im Kern nur um einige Hundert unterschiedliche Betrachtungsgegenstände, die in leicht abgewandelter Form mehrfach in der Datenbank vorkommen. Auch wurden nur wenige Datensätze gefunden, welche bezüglich Bautätigkeiten Relevanz aufweisen (ca. 50 Stück), da GEMIS tendenziell den Fokus auf Datensätze liefert, welche auf Energieanlagen bezogen sind.

Ecoinvent und UMBERTO:

Zudem wurde die generische Ökoinventar-Datenbank „Ecoinvent“ in der Version 3.4, zusammen im Lizenz-Paket mit der Stoffstrommodellierungs-Software UMBERTO NXT LCA, untersucht. Das IfaS erwarb hierzu im Rahmen des Projekts Kombi-Lizenzen für Umberto und Ecoinvent. Zum Zeitpunkt der Untersuchung lagen dabei in Ecoinvent rund 30.000 Einzeldatensätze vor, im Wesentlichen untergegliedert nach Weltregionen und Allokations-Klassifikationen. Nach Analyse und Zusammenfassung der vorhandenen Einzeldatensätze ergaben sich, bezogen auf das Bauwesen, jedoch nur weniger als 100 brauchbare Datensätze. Trotz der begrenzten Datenverfügbarkeit erwies sich die Stoffstrommodellierungssoftware UMBERTO im weiteren Projektverlauf als hilfreiches Werkzeug zur Visualisierung und Auswertung von Lebenszyklus-Indikatoren wie dem Primärenergiebedarf oder dem Treibhauspotenzial. Die Anwendung wurde als übersichtlich und intuitiv verständlich wahrgenommen. Die Abbildung II-53 auf Seite 176 bildet ein gutes Beispiel dafür ab.

Baubook:

⁴⁰ Hinweis: Die Bezeichnungen „Life Cycle Assessment“ (LCA) oder „Ökobilanzierung“ werden oft synonym zum Begriff Lebenszyklusbetrachtung verwendet

Darüber hinaus wurde das österreichische Baubook gescreent. Für dieses war zum Untersuchungszeitraum der „Rechner für Bauteile“ online verfügbar und bestand aus knapp 200 vorgefertigten Bauteilen, welche wiederum aus bis zu 15 Schichten aufgebaut sein konnten. Die Datensätze waren realistisch, praxisnah und umfangreich aufgebaut. Es war ersichtlich, dass sowohl Daten aus Umweltproduktdeklarationen als auch generische Datensätze anderer Datenbanken verwendet wurden. Jedoch lagen keine einzeln abrufbaren Datensätze zu spezifischen Bauprodukten oder -materialien vor. Stattdessen wurden die Ergebnisse bereits durch die, im eigenen Haus entwickelte, auf ganze Zahlen gerundete $\Delta OI3$ -Punktzahl nach Bauteilschicht, einer Kombination aus der Berücksichtigung von Primärenergie, Treibhausgaspotenzial und Versauerungspotenzial, dargestellt. Außerdem ließen die Daten zu den vorgefertigten Bauteilschichten und Bauelementen nur wenig, bzw. nur unter hohem Aufwand, Spielraum für eigene Abwandlungen.

PROBAS:

Anschließend wurde auch das vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellte PROBAS untersucht. Hier zeigte sich jedoch, dass sich PROBAS im Wesentlichen aus Werten von Datenbanken wie GaBi, GEMIS und Ecoinvent zusammensetzt, so dass hier kein weiterer nennenswerter Mehrwert gegenüber der Analyse der genannten Datenbanken festgestellt werden konnte.

Ökobaudat:

Weiterhin wurde das damals am Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) und heute im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) angesiedelte Ökobaudat umfangreich analysiert. Sowohl die Datensatz-Datei aus 2019 (OBD 2019 III) als auch, zu einem späteren Zeitpunkt, die Datei aus 2020 (OBD 2020 II) – hierbei handelte es sich einmal um nicht ganz 5.000 und einmal um ca. 4.000 Einzeldatensätze – wurden dabei eingehend begutachtet. Die Datensätze sind nach Lebenswegmodulen aufgegliedert, von welchen insgesamt bis zu 17 existieren, von denen aber nicht alle für jedes Produkt einschlägig sind. Im Schnitt besteht ein Produkt aus etwa fünf bis sechs Lebenswegmodul-Datensätzen bzw. -Datenzeilen, wobei die Herstellungsphase von Lebenswegmodul A1 bis A3 stets enthalten ist.

Wie der Name „Ökobaudat“ bereits andeutet, ist die Datenbank vollständig auf den Hoch- und Tiefbau sowie den Gebäudesektor ausgerichtet und bietet daher eine hohe Relevanz für die im Arbeitspaket verfolgten Zielsetzungen. Um eine komplette Lebenszyklusbetrachtung für enthaltene Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter für ein Produkt zu generieren, müssen lediglich die jeweiligen Lebenswegmodule zusammen betrachtet werden.

Auf eine vertiefte Analyse der kommerziellen Datenbank „GaBi“ wurde aufgrund fehlender Lizenzrechte verzichtet. Viele der in GaBi enthaltenen Daten finden sich jedoch in etwas abgewandelter Form als Umweltproduktdeklarationen in Ökobaumat wieder.

Nicht zuletzt deswegen, setzte sich die aktuell durch das BMWSB zur Verfügung gestellte, Datenbank Ökobaumat als Quelle für die angestrebten Lebenszyklusbetrachtungen durch. Ausschlag gab vor allem die Vielzahl an enthaltenen Baustoffen, Baumaterialien und Gebäudeinstallationen, verfügbar als generische Datensätze aber auch in Form von Umweltproduktdeklarationen Typ III (EPD), welche bereits die Vorgaben, der für die Ökobilanzierung von Gebäuden wichtigen DIN EN 15804, erfüllen. Außerdem maßgeblich war zudem die lizenzfreie Verfügbarkeit der Datenbank, um eine freie Zugänglichkeit zum fertigen Softwareprodukt zu gewährleisten.

II.1.7.3.2 Grundlagen der Entwicklung des Tool-Konzeptes

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen bildet, wie die DIN EN 15804, bereits einen gewissen Rahmen bezüglich der Ökobilanzierung ab. Das BNB führt innerhalb der für die Bewertung ausschlaggebenden Nachhaltigkeitskriterien den Bereich „Ökologische Qualität“, welcher in quantitativer Hinsicht, u. a. zusätzlich zu den THG-Emissionen (GWP) und der eingesetzten Grauen Energie, auch Indikatoren der Umweltwirkung, wie das Versauerungspotenzial (AP), das Überdüngungs- bzw. Eutrophierungspotenzial (EP), das stratosphärische Ozonabbaupotenzial (ODP) und das troposphärische Ozonbildungspotenzial (POCP) berücksichtigt. Die Berechnung der Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter, der im Rahmen des AP 2.2.5 generierten Software, knüpft im Wesentlichen an die Betrachtung der ökologischen Qualität des BNB an (siehe Abbildung II-43).

Nachhaltigkeitskriterien	Bedeutungs-faktor	Gewichtung Gesamt-bewertung
Ökologische Qualität		22,5%
Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt		
1.1.1 Treibhauspotenzial (GWP)	3	3,750%
1.1.2 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	1	1,250%
1.1.3 Ozonbildungspotenzial (POCP)	1	1,250%
1.1.4 Versauerungspotenzial (AP)	1	1,250%
1.1.5 Überdüngungspotenzial (EP)	1	1,250%
1.1.6 Risiken für die lokale Umwelt	3	3,750%
1.1.7 Nachhaltige Materialgewinnung / Biodiversität	1	1,250%
Ressourceninanspruchnahme		
1.2.1 Primärenergiebedarf	3	3,750%
1.2.3 Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	2	2,500%
1.2.4 Flächeninanspruchnahme	2	2,500%

Abbildung II-43: Umweltwirkungen der ökologischen Qualität des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) – Abbildung nach BMUB (2017), S. A6.

Die Abbildung II-43 zeigt den Bereich „Ökologische Qualität“ im Rahmen der für die Bewertung maßgeblichen Nachhaltigkeitskriterien. Umweltwirkungs-Indikatoren und Parameter zur Ressourceninanspruchnahme fließen insgesamt zu 22,5% in das BNB ein. Besondere Bedeutung wird dabei dem Treibhauspotenzial (GWP), der Primärenergie und den Risiken für die lokale Umwelt beigemessen, wobei letztere eine gewisse standortabhängige subjektive Komponente beinhalten. Der Primärenergiebedarf und das GWP sind dagegen quantitativ messbar. Die in diesem Bericht thematisierte Software stützt sich gleichwohl auf quantitativ messbare Parameter und Wirkungen, da Risiken mit ganz oder teilweise subjektiven Bezug stets individuell abgeschätzt werden sollten.

Die Datenbank Ökobaumat ist aus heutiger Sicht, aufgrund ihres Umfangs und ihrer Ausrichtung, als für Deutschland bevorzugt geeignetes Instrument bei der Erstellung von Lebenszyklusbetrachtungen bzw. Ökobilanzen im Gebäudesektor zu betrachten. Die Datenbank enthält für jeden zur Verfügung gestellten Datensatz zu einem Produkt aus dem Bauwesen eine Anzahl von 18 Parametern zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstigen Umweltinformationen sowie eine Fülle weiterer Kern- und Zusatz-Indikatoren zur Umweltwirkung. Darunter auch die für das BNB essenziellen Parameter und Umweltwirkungs-Indikatoren Graue Energie bzw. Primärenergiebedarf (PENRT, PENRE, PENRM, PERT, PERE, PERM), GWP, ODP, POCP, AP und EP. Diese werden entlang von bis zu 17 Teilstadien bzw. Lebenswegmodulen gemäß DIN EN 15804 dargestellt (siehe Abbildung II-44). Die Darstellung reicht hierbei vom Produktionsstadium (A1 bis A3), über das Stadium der Errichtung des Bauwerks (A4 & A5), zum Nutzungsstadium (B1 bis B7), dem Entsorgungsstadium (C1 bis C4), bis hin zu Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze (D). In den ÖKOBAUDAT-Datensätzen werden dabei nur jene Module aufgeführt, für welche auch relevante Daten vorliegen.

Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase					Entsorgungsphase				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau/Erneuerung	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
					B6	Betriebl. Energieeinsatz								
					B7	Betriebl. Wassereinsatz								

Abbildung II-44: Abbildung der Module gemäß DIN EN 15804 in ÖKOBAUDAT – Abbildung nach BBSR (2020), S. 14.

Die im Rahmen des AP 2.2.5 entwickelte Ökobilanzierungs-Software für den Bau bzw. das Bauwesen oder den Gebäudesektor stellt die Lebenswegmodule für jeden Baustoff bereits agglomeriert dar. Es verzichtet jedoch auf die Integration von Lebenswegmodul D, da die betrachteten Prozesse viele Jahrzehnte in der Zukunft liegen können und auf eher aktuellen Technologien, Regelungen,

Verbraucherverhalten und Infrastrukturen beruhen. Es handelt sich daher um das Lebenswegmodul mit den höchsten Unwägbarkeiten. Gleichzeitig wurden und werden auch im Hoch- und Tiefbau bereits vielfältige Projekte und Prozesse angestoßen, um die Recyclingfähigkeit von Baustoffen in Richtung Kreislaufwirtschaft und Zirkularität weiterzuentwickeln. Aufgrund dieser Entwicklung kann gegebenenfalls schon bald erwartet werden, dass das Modul D durch eine zunehmend zirkuläre Lebenszyklusbeurteilung ersetzt oder geprägt werden wird.

II.1.7.3.3 Der Tool-Entwicklungs-Prozess

Im Wesentlichen wurden während der Anfangsphase des Entwicklungsprozesses zwei sich ergänzende Teil-Tool-Konzepte vom IfaS entworfen und zur Diskussion gestellt. Das erste Teil-Tool hatte hierbei im Wesentlichen die Ebene der Erfassung der Gebäudeausmaße zum Inhalt. Das Teil-Tool bzw. Gebäudeaufbau-Modul ermöglicht eine relativ schnelle und anwenderfreundliche Kubatur- bzw. Flächenberechnung für Gebäude-Bauteile wie Böden, Decken, Wände und Dächer.

Die folgende Abbildung II-45 zeigt diesbezüglich die Dateneingabemaske für ein fiktives „Gebäude 1“ des Modul-Konzeptes. Im oberen Bereich (grüne Felder) können – falls bekannt – direkt Flächenangaben zu Böden, Decken, Außen- und Innenwänden sowie Dachflächen erfolgen. Sind diese nicht direkt verfügbar, so wird die Kubatur, je nach Form der Gebäudegrundfläche und Dachform über Eingabewerte berechnet. Der Eingabebereich wurde so gestaltet, dass die Ergebnisse aus möglichst wenigen Dateneingaben ermittelt werden können.

Gebäude 1	Flächengröße
Gebäudegrundfläche (Böden)	
Bruttogrundfläche abzgl. Gebäudegrundfläche (Decken)	
Aussenwandfläche (Außenwände)	
Innenwandfläche (Innenwände)	
Dachfläche (Dächer)	

Alternative Eingabe von Gebäudemaßen zur automatischen Berechnung	
Dachform	Satteldach
Dachneigungswinkel	35 °
Dachüberstand (☞ aus allen betroffenen Seiten)	0,60 m
Form der Gebäudegrundfläche*¹	Rechteck
Länge 1 (l_1)* ²	10,00 m
Länge 2 (l_2)* ³	
Breite 1 (b_1)* ⁴	10,00 m
Breite 2 (b_2)* ⁵	
Höhe 1 (h_1), Traufhöhe, Wandhöhe an der Tropfkante eines Gebäudes	6,00 m
Höhe 2 (h_2), höchste Stelle (ggf. Firsthöhe)	9,50 m
Höhe pro Vollgeschoß* ⁶	3,00 m
Flächenverhältnis von Innen- zu Außenwänden	1,00
Ergebnisse	
Gebäudegrundfläche (Böden)	100,0 m ²
Bruttogrundfläche abzgl. Gebäudegrundfläche (Decken)	200,0 m ²
Aussenwandfläche (Außenwände)	275,0 m ²
Innenwandfläche (Innenwände)	275,0 m ²
Dachfläche (Dächer)	150,2 m ²

*¹ Nebenbedingungen: Alle Wände senkrecht; falls Sattel- oder Nurdach: symmetrischer Aufbau; Firste stets parallel zu oder ggf. gleich Länge 1 (l_1) und Breite 1 (b_1)

*² l_1 : die längste Seite, bzw. ggf. die längste Seite für welche keine Parallele gleicher Länge vorhanden ist

*³ l_2 : bei rechteckigen Gebäuden redundant; bei nicht rechteckigen Gebäuden die Parallele zu l_1 , welche mindestens an einer Innenecke anliegt

*⁴ b_1 : die längste Seite, welche lotrecht zu l_1 steht und diese berührt

*⁵ b_2 : bei rechteckigen Gebäuden redundant; bei nicht rechteckigen Gebäuden die Parallele zu b_1 , welche mindestens an einer Innenecke anliegt

*⁶ inklusive der Stärke des zugehörigen Deckenaufbaus bis OK Boden des nächsten Geschoßes

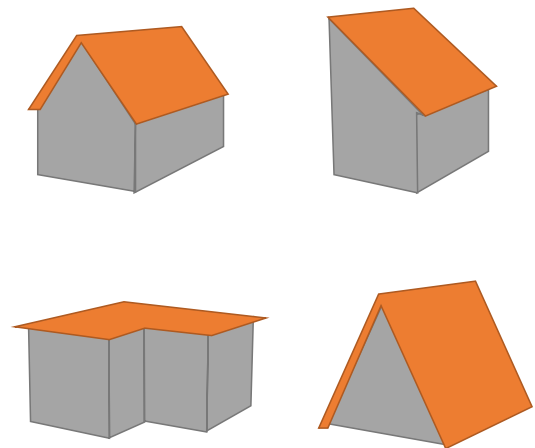


Abbildung II-45: Eingabemaske des Gebäudeaufbau-Moduls – © IfaS

Im vorliegenden Beispiel wurde vereinfacht von einem Gebäude mit Satteldach und einer rechteckigen Grundfläche (10 x 10 m) ausgegangen. Über die Dachneigung (im Bsp. 35°) und Dachüberstand (im Bsp. 0,6 m) kann die Dachfläche berechnet werden. Durch Kenntnis der Länge (10 m), Breite (10 m) und Traufhöhe (im Bsp. 6 m) wird die Außenfläche ermittelt. Über zusätzliche Kenntnis der Vollgeschoßhöhe (im Bsp. 3 m) können im Zusammenhang mit der Grundfläche die Deckenflächen ermittelt werden.

Die etwas abstrakte Flächenverhältniszahl von Innen- zu Außenwänden dient außerdem dazu die Innenwandflächen zu ermitteln. Die Zahl ist nur durch Messungen oder Baupläne genau zu ermitteln. Bei sehr großen Gebäuden mit kleinen Räumen – z. B. Hochhäusern mit vielen Einzelbüros – kann diese im Bereich > 5 liegen. Bei Wohnungen mit wenigen Räumen oder gar einer groß geschnittenen Einraumwohnung kann diese jedoch im Extremfall auch unter 0,2 betragen – z. B., wenn kein Flur vorhanden ist und im Wesentlichen nur ein kleiner Sanitärbereich abgetrennt ist. Auch der Wert 0 kann erreicht werden (Halle ohne Innenwände). Zur Vereinfachung wurde im Beispiel der Wert „1“ verwendet. Es soll hier jedoch angemerkt sein, dass Innenwände in aller Regel geringere Stärken als Außenwände aufweisen, daher kann in diesem Schritt vorerst nur eine Aussage über die Fläche – nicht jedoch über Volumina – getroffen werden.

Bezüglich der Berechnung wurden in der entwickelten Version vier Dachformen (Satteldach, Pultdach, Flachdach und Nurdach) sowie vier Gebäudegrundflächenformen (Rechteck, L-Form, U-Form und Atriumbauweise) unterstützt. Die Berechnungen beziehen sich hierbei auf geometrische und trigonometrische Beziehungen. Die folgende Tabelle II-29 zeigt in diesem Kontext die Berechnungsmatrizen mitsamt Ergebnissen für Außenwand und Dachfläche, beispielhaft anhand der bereits genannten Variablen.

Tabelle II-29: Berechnungsmatrizen für Außenwand- und Dachfläche im Gebäudeaufbau-Modul – © IfaS

Aussenwandfläche				
in m²	Satteldach	Pultdach	Flachdach	Nurdach
Rechteck	275	310	240	35
L-Form	240	310	240	35
U-Form	360	465	360	35
Atriumbauweise	480	620	480	0

Dachfläche				
in m²	Satteldach	Pultdach	Flachdach	Nurdach
Rechteck	150	150	125	150
L-Form	25	25	25	25
U-Form	25	25	25	25
Atriumbauweise	25	25	25	25

Die Bauteile konnten dann in einem zweiten Schritt mit Datenmaterial bezüglich der entsprechenden Bauteile unterfüttert werden, um den aufgewendeten Primärenergieeinsatz und das Treibhauspotenzial zu ermitteln. Ein Beispiel hierfür, für jeweils zwei verschiedene Boden-, Decken-, Außenwand-, Innenwand- und Dach-Konstruktionen, zeigt die folgende Tabelle II-30.

Tabelle II-30: Zuordnung von Baubook-Bauteilen im Gebäudeaufbau-Modul – © IfaS

Gebäudeaufbau			Fläche	PENRT (spec.)	PENRT/KEA
Böden (I)	1	ADh 01 a Massivholzdecke über Außenluft, Nassestrich	248,0 m²	835 MJ/m²	57.522 kWh
	2	Efu 04 b Plattenfundament, unterseitig gedämmt, Distanzboden	144,0 m²	2837 MJ/m²	113.480 kWh
(Zwischen-) Decken (II)	1	GDm 02 a Stahlbeton-Geschoßdecke, Distanzboden	512,0 m²	938 MJ/m²	133.404 kWh
	2	GDm 03 a Ziegel-Geschoßdecke ohne Aufbeton	288,0 m²	870 MJ/m²	69.600 kWh
Außenwände (III)	1	AW 00 Betonhohlsteinmauerwerk mit Innen- und Außenputz	459,1 m²	273 MJ/m²	34.816 kWh
	2	AW 01a: Betonhohlsteinmauerwerk saniert (EPS)	393,0 m²	903 MJ/m²	98.579 kWh
Innenwände (IV)	1	AW 00 Betonhohlsteinmauerwerk mit Innen- und Außenputz	413,2 m²	273 MJ/m²	31.334 kWh
	2	AW 01a: Betonhohlsteinmauerwerk saniert (EPS)	353,7 m²	903 MJ/m²	88.721 kWh
Dächer (V)	1	SD 02: Steildach hinterlüftet	321,7 m²	348 MJ/m²	31.096 kWh
	2	SD 02a: Steildach saniert (Holzfaser)	224,0 m²	916 MJ/m²	57.002 kWh

Der Vorteil hierbei lag in einer zügigen Berechnung der Umweltwirkungs-Indikatoren für Gebäude oder Gebäudeteile. Ein Nachteil bestand darin, dass lediglich vorgefertigte – wenig individualisierte – Datensätze, z. B. aus dem Baubook, eingepflegt werden konnten.

Aus diesem Grund wurde ein weiteres Tool konzipiert, welches im Wesentlichen auf Datenmaterial der Datenbanken von GEMIS, (ggf. Probas) und v. a. ÖkobaDat zurückgriff. Bei der Anwendung dieses Teils konnten aus Datensätzen zu über 1.200 Baustoffen individuelle Gebäudeteil-Schichtaufbauten angelegt werden. Der Vorteil lag hierbei in der Möglichkeit der sehr individuellen Bauteil-Konzeption. Der Nachteil in der hohen Zeitintensität, da Gebäudeschichtaufbauten oft bis zu 15 und mehr Schichten bzw. Komponenten beinhalten können und die Datenbank viele sehr ähnliche Baustoff-Datensätze enthielt, was wiederum den Auswahlprozess erschwerte. Zudem kann der Aufbau eines einzelnen Gebäudes wiederum auf Dutzenden, wenn nicht sogar 100 und mehr verschiedenen, relativ individuellen Schichtaufbauten, beruhen. Bei vollständiger und hinreichend präziser Erfassung des genauen schichtweisen stofflichen Aufbaus eines Gebäudes müssten hier demnach insgesamt Dateneingaben im dreiwenn nicht sogar vierstelligen Bereich berücksichtigt werden.

Die folgende Abbildung II-46 verdeutlicht den aufwendigen Erstellungsprozess für ein einzelnes individuelles Bauteil anhand der dazugehörigen Eingabematrix.

Bauteil

3

Individualname

Trockenbau-Trennwand (95 mm) - Rigips/Gipsfaser (12,5mm/10 mm beidseitig)

Bauteil-komponenten

1.	Beschichtungen> Dispersions-> End of life>	Grundierungen> Innenbeschichtungen> Wand- und Deckenbeläge>	Dispersionsklebstoffe> Innenputz> Wand- und Deckenbeläge>
2.	Beschichtungen> Dispersions-> End of life>	Bandstrich> Fassfugenfugen> Grundierungen>	Grundierungsfugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
3.	Metalle> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
4.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
5.	Beschichtungen> Dispersions-> End of life>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
6.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
7.	Metalle> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
8.	Beschichtungen> Dispersions-> End of life>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
9.	Beschichtungen> Dispersions-> End of life>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
10.	Gefährdeten> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
11.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
12.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
13.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
14.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
15.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
Sonstiges			
16.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
17.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
18.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
19.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>
20.	Mineralische Baustoffe> Sonstige>	Reflexions-> Zurücklage>	Fugen und Putze> Grundierungen> Wand- und Deckenbeläge>

Abbildung II-46: Dateneingabematrix zur individuellen Bauteilerstellung – © IfaS

Um eine höhere Anwenderfreundlichkeit zu erreichen, wurde daher beschlossen Elemente beider Tools auf sinnhafte Art und Weise zusammenzuführen. Das Ergebnis war ein Tool-Konzept, welches zum einen eine schnellere Baustoffauswahl ermöglicht, da ähnliche Baustoff-Datensätze agglomeriert bzw. redundante Datenmaterialien ausgegliedert wurden. Die Menge der vorhandenen Daten zu Bauprodukten wurde hierbei auf knapp 1.000 reduziert und auf Versionen von Ökobaudat beschränkt. Die Beschränkung auf eine Datenbasis führte hierbei zu einer besseren Daten-Vergleichbarkeit. Zum anderen wurden die Mengen der verwendeten Baustoffe nicht mehr nach Einzel-Bauteil erfasst, sondern nach der verwendeten bzw. einzusetzenden Gesamtmenge. Dies vermindert die Anzahl der potenziell auszuwählenden Datensatzeingaben i. d. R. auf eine Menge von weit unter 100, außerdem müssen auch keine unterschiedlichen Schichtaufbauten mehr festgehalten werden. Denn, gerade wenn Schichtaufbauten sich nur gering unterscheiden und trotzdem dafür im Tool neue Bauteile angelegt werden, entsteht ein erhöhter Mehraufwand durch das erneute Durchlaufen des Auswahlprozesses (vierstufige Baumstruktur), obwohl sich das zu berechnende Ergebnis potenziell nur sehr gering verändert. Konsequenterweise muss somit der Einsatz der Gesamtmengen verschiedener Baustoffe jedoch im Vorfeld zur Tool-Anwendung festgehalten bzw. berechnet werden.

Das Tool-Konzept soll als Anwendung demnach eine möglichst einfache Handhabung gewährleisten. Eingaben zur LCA-Berechnung sollen z. B. weniger komplex als beim eLCA-Tool sein. Dieses ist mittlerweile aus Ökobaudat erwachsen und benötigt relativ umfangreiche Dateneingaben entlang des Baugenehmigungsrechts und der architektonischen Planung, auch mit entsprechender Einteilung in Vorplanung, Entwurfsplanung, Ausführungsplanung etc. und z. B. auch der Kenntnis bezüglich der Bauwerkszuordnung, der Bauweise, der Brutto- und Nettogrundfläche etc. Beim im Rahmen des Projekts EnStadt:Pfaff entwickelten Tool-Konzept genügt das Wissen über die Art und die ungefähren Mengen der eingesetzten Baumaterialien. In Unkenntnis der verwendeten Mengen ist, wie bereits erwähnt, eine Vorberechnung nötig, jedoch kann trotzdem schneller ein nachvollziehbares Ergebnis ermittelt werden.

Für die aus der Datenbank Ökobaudat verwendeten Datensätze wurde zudem eine zusätzliche Revision vorgenommen. Redundante Datensätze sowie sich bei näherer Betrachtung sporadisch zeigende, offensichtliche sowie weniger offensichtliche, (Eingabe-)Fehler oder Hemmnisse, wie z. B. Kommastellenfehler, Einheitenfehler oder fehlende Bezugsdaten, wurden dabei, wenn Fehler und Fehlerbehebung hinreichend identifiziert oder Komplementärdaten recherchiert werden konnten, angemessen korrigiert bzw. ergänzt.

Durch eine vereinfachte Re-Allokation der ausgesuchten Datensätze kommt das entwickelte Konzept zudem mit einer dreistufigen Baumstruktur aus, wodurch der Auswahlprozess zusätzlich verkürzt wird.

Einen Überblick über die, im Gegensatz zur Eingabemaske aus Abbildung II-46, sehr überschaubare Dateneingabe des zusammengeführten Konzeptes zeigt die folgende Abbildung II-47.

Auswahl	Eingabebereich	
5		
Baggereinsatz> Bauplatten> Beschichtungen> Beton> Dachbau> Dämmstoffe>	Betonarten> 	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 45/55 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60 Transportbeton C20/25 Transportbeton C30/37 Spannbeton-Fertigteildecken Betonfertigteil Decke 20cm
Nutzmenge		
100,00 m³		

Hinweise: Grün gefärbte Felder dienen der Dateneingabe!
Vor Eingabe eines Stoffes und der dazugehörigen "Nutzmenge" bitte stets im Feld "Auswahl" die Ziffer um "+1" erhöhen!

Abbildung II-47: Auswahl von Beton C 45/55 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-Konzeptes – © IfaS

Hier stehen pro Baustoff oder Baumaterial nur die Eingabe der Auswahlnummer, welche die korrekte Zuordnung der Auswahl im Speicherbereich bewerkstelligt, das Heraussuchen des entsprechenden Datensatzes im Baumdiagramm und die Eingabe der Nutzmenge als Eingabeaufwand an. Die Einheit zur Nutzmenge wird automatisch in der im Datensatz hinterlegten und zugeordneten Maßeinheit angezeigt. Im Falle der Zuordnung einer Masse (kg) erfolgt außerdem die zusätzliche Angabe des entsprechenden Volumens im Bereich hinter der Maßeinheit (siehe Abbildung II-48).

Auswahl		Eingabebereich	
5			
Baggereinsatz> Bauplatten> Beschichtungen> Beton> Dachbau> Dämmstoffe>	Dispersionen> Silikattfarben> Tiefengrund> Latexfarben> Farben auf Epoxidharzbasis> Farben auf PU-Basis>	Grundierungen für Brückenabdichtungen auf Basis von Epoxidharzen, wässrig, ungefüllt MasterTop P 615, MasterTop P 617, MasterTop P 617RC, MasterTop P 621 MasterTop P 660 PCI Epoxigrund 390 / PCI Epoxigrund Rapid PCI Gisogrund 404 / PCI Gisogrund® SCHÖNER WOHNEN Acryl Tiefgrund	
Nutzmenge			
100,00	kg entspricht 0,091 m³		

Hinweise: Grün gefärbte Felder dienen der Dateneingabe!
Vor Eingabe eines Stoffes und der dazugehörigen "Nutzmenge" bitte stets im Feld "Auswahl" die Ziffer um "+1" erhöhen!

Abbildung II-48: Auswahl von MasterTop P660 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-Konzeptes – © IfaS

Unter dem Eingabebereich findet sich der Speicher- und Anzeigebereich, in welchem jeder ausgewählte Datensatz entsprechend seiner Nummerierung zu finden ist (siehe Tabelle II-31). Zusätzlich werden die Bezugseinheit, die Bezugsmasse, die Rohdichte und die Gesamtmasse zum Datensatz angegeben. In einer letzten Spalte findet sich Platz für eigene Bemerkungen (z. B. Hinweise zu Mengenberechnungen) zum jeweils angelegten Datensatz.

Tabelle II-31: Speicher- und Anzeigebereich des Anwendungs-Konzeptes – © IfaS

Auswahl		Bezugseinheit	Bezugsmasse [kg]	Rohdichte [kg/m³]	Masse [kg]	Eigene Hinweise
1	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³	2.400,0	2.400	3.146.880	1.311,2 m³ (u. GOK; Bodenpl. + Fund.)
2	Mineralwolle (Innenanbau-Dämmung)	m³	26,3	26	11.340	10.800 m²; 40 mm
3	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³	2.400,0	2.400	35.574.400	2/3 v. 22.234 m³ (ü. GOK)
4	Vormauerziegel	m³	1.000,0	1.800	13.340.400	1/3 v. 22.234 m³ (ü. GOK)
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Der Speicher- und Anzeigebereich zählt aktuell insgesamt 50 Positionen, ist aber theoretisch unendlich erweiterbar.

Im Bereich rechts des Speicher- und Anzeigebereiches befinden sich die Ergebnisse (siehe Tabelle II-32) für die jeweiligen nummerierten Positionen (siehe Nummer 1 bis 4 in Tabelle II-31).

Tabelle II-32: Ergebnisse zu Positionen im Speicher- und Anzeigebereich – © IfaS

Auswahl	alle in kWh/kg				alle in kg/kg			
	PENRT	PERT	PENRT - PENRM	PERT - PERM	GWP	AP	EP	POCP
	KEA-Ebene		KEV-Ebene		Umweltauswirkungen			
	nicht EE	EE	nicht EE	EE	CO ₂ e	SO ₂ e	PO ₄ ³	C ₂ H ₂ e
1	0,07578125	0,003466667	0,07578125	0,003466667	0,073683333	0,0001238	2,14583E-05	1,53921E-05
2	5,097248677	0,799103704	5,097248677	0,799103704	1,563668571	0,007254743	0,001032587	0,000411371
3	0,07578125	0,003466667	0,07578125	0,003466667	0,073683333	0,0001238	2,14583E-05	1,53921E-05
4	2,247083333	0,139870556	2,247083333	0,139870556	0,539786	0,000576352	8,79608E-05	0,000103083

In der linken Hälfte – in der Einheit kWh/kg – befinden sich hierbei die Werte für die beiden (Ressourceninanspruchnahme-)Kennzahlen KEA und KEV, eingeteilt in „nicht EE“ und „EE“. Zusätzlich genannt sind die alternativen Bezeichnungen PENRT, PERT, PENRM und PERM. Hierbei handelt es sich um englische Abkürzungen für „Primary Energy Non-Renewable Total“, „Primary Energy Renewable Total“, „Primary Energy Non-Renewable Material“ und „Primary Energy Renewable Material“.

Die KEA-Ebene ist hierbei äquivalent zur „Primary Energy“-Ebene. Wird von dieser die „Primary Material“-Ebene in Abzug gebracht wird die KEV-Ebene dargestellt.

In der rechten Hälfte befinden sich – aufgezeigt in der Einheit kg/kg – von links nach rechts, das „Global Warming Potential“ (GWP) bzw. Treibhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten, das „Acidification Potential“ (AP) bzw. Versauerungspotenzial in SO₂-Äquivalenten, das „Eutrophication Potential“ (EP) bzw. Eutrophierungspotenzial in PO₄³-Äquivalenten und schließlich das „Photochemical Ozone pre-Cursor Potential“ (POCP) bzw. troposphärisches Ozonbildungspotenzial in C₂H₂-Äquivalenten.

Das Gesamtergebnis (Aufsummierung aller Positions-Beträge) für die acht Indikatoren steht im Bereich darüber und damit rechts neben dem Eingabebereich und nicht, wie es ggf. zu erwarten wäre, unter den Positionen. Somit ist das Gesamtergebnis, unabhängig von der Anzahl der festgehaltenen Datensätze, immer an der gleichen Stelle verortet und einfach aufzufinden. Im Speicher- und Anzeigebereich ergibt sich damit darüber hinaus die theoretische Möglichkeit, nach unten gerichtet, unbegrenzt

Datensätze anzulegen, ohne die Orientierung in der Anwendung zu verlieren, da Eingabe- und Ergebnisbereich stets die oberen Zeilen der Anwendung belegen.

Ergebnisse								
alle in kWh				alle in kg				
PENRT	PERT	PENRT - PENRM	PERT - PERM	GWP	AP	EP	POCP	
KEA-Ebene		KEV-Ebene		Umweltauswirkungen				
nicht EE	EE	nicht EE	EE	CO ₂ e	SO ₂ e	PO ₄ ³	Ethen	
32.969.140	2.009.225	32.969.140	2.009.225	10.071.806	12.565	2.016	1.976	
Referenz-Heizwerte/MAK-Grenzwerte								
4,17 kWh/kg	4,24 kWh/kg	4,17 kWh/kg	4,24 kWh/kg	9.100 mg/m ³	2,7 mg/m ³	1,8 g/d (Gesamt-P)	11.500 mg/m ³	
Äquivalente/Referenzmenge:								
7.906 t Braunkohle	474 t Brennholz	7.906 t Braunkohle	474 t Brennholz	MAK von 1,2135 km ³	MAK von 4,6536 km ³	365.500 EGW/d	MAK von 0,0002 km ³	
70.928.000 KFZ-km								

Manuel Schaubt:
 Heizwert (atro): 5,1 kWh/kg
 Wassergehalt: 15%

Manuel Schaubt:
 VW Passat Variant 1.6 TDI SCR BlueMotion Trendline
 Quelle: <https://www.adac.de/infotestrat/tests/eco-test/detail.aspx?lDMess=3876&info=VW+Passat+Variant+1.6+TDI+SCR+BlueMotion+Trendline>

Manuel Schaubt:
 9,1 mg/l abzgl. 400 ppm (ca. 0,79 mg/l)

Abbildung II-49: Ergebnisbereich der Anwendung des Tool-Konzeptes – © IfaS

Die Abbildung II-49 zeigt beispielhaft die aufsummierten Ergebnisse für die vier aufgezeigten Positionen (siehe Tabelle II-31 und Tabelle II-32). Zudem werden Äquivalente und Referenzmengen auf Basis von Referenz-Heizwerten und Grenzwerten für die maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) dargestellt. Die MAK wird hierbei als angemessener Wert angesehen, da diese i. d. R. konservativer angesetzt wird als Grenzwerte für die Umwelt. Während unter freiem Himmel meist niedrige Grenzwerte eingehalten werden sollen, ist dies bei der MAK anders. Die zulässigen Konzentrationswerte sind hierbei oftmals um ein Vielfaches höher. Ein Ergebnis in MAK bemisst sich demnach an einer sehr intensiven Belastung und weist eine konservative Bewertung auf, die robust gegenüber Unsicherheiten ist.

Bezüglich der Darstellung von Energie wird der Anteil der Nicht-Erneuerbaren Energie in Tonnen (t) Braunkohle und der Anteil der Erneuerbaren Energie in Tonnen (t) Brennholz dargestellt. Beide Stoffe werden dabei mit dem gleichen Heizwert von 4,17 kWh/kg⁴¹ pro Masseinheit angesetzt, der unterschiedliche Charakter indes durch die abweichenden Energieträgerarten plakativ akzentuiert.

Die CO₂-, SO₂- und C₂H₂-Äquivalente werden dagegen über die MAK ausgedrückt. MAK-Werte sind feststehende Grenzwerte und werden in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), herausgegeben durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), thematisiert.

Die MAK liegt hierbei bzgl. CO₂ etwa 11-fach über dem aktuellen durchschnittlichen atmosphärischen CO₂-Gehalt von ca. 420 ppm bzw. 0,042 Volumenprozent.⁴²

⁴¹ Vgl. Agrarplus (2019), letzter Zugriff in 2025-04-14.

⁴² Vgl. Spiegel (2019), letzter Zugriff in 2020-04-14.

Die MAK für SO₂-Äquivalente liegt dagegen beim 21,6-fachen des Tagesgrenzwertes von 125 µg/m³, welcher nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden darf bzw. beim 135-fachen des kritischen Jahres- und Wintermittelwertes (Oktober bis März) von 20 µg/m³.⁴³ Die Anzeige erfolgt, wegen der großen Volumen, welche bei gasartigen Verunreinigungen schnell erreicht werden, über die Volumeneinheit km³ (entspricht 1 Mrd. m³). Zur besseren Vorstellungsfähigkeit bei Mengen < 1 km³ kann zur Vereinfachung eine Fläche von einem km² als hypothetische Referenz dienen. Diese Fläche wird sodann gedanklich mit einer Luftsäule in m entsprechend der ersten drei Zahlen hinter dem Komma versehen.

Das EP wird dahingegen in Einwohnergleichwerten (EGW) dargestellt, da Phosphor in der Form von PO₄³⁻ – v. a. als Referenzmenge bei der Darstellung der in Abwässern enthaltenen Schmutzfrachten Verwendung findet. Dabei entsprechen 1,8 g Gesamt-Phosphor bzw. ca. 5,5 g PO₄³⁻ – einem Einwohnergleichwert pro Tag (EGW/d).

Mit dem Umfang der Darstellung sind somit die wesentlichen Umweltwirkungs-Indikatoren und Parameter zum Ressourceneinsatz, welche auch im BNB eine wichtige Rolle bei der quantitativen Bewertung der ökologischen Qualität spielen, darstell- und kalkulierbar. Gleichzeitig können die Ergebnisse mithilfe der Vergleiche (siehe: Äquivalente/Referenzmengen in Abbildung II-49) bezüglich Brennstoffmasse in t, MAK und den EGW/d-Werten bildhaft veranschaulicht und interpretiert werden.

Diese vom IfaS entwickelte Tool-Konzeption wurde im entsprechenden Umfang, wenn auch unter anderem Layout, schließlich zu einem Software-Prototyp bzw. einer Browser-Anwendung weiterentwickelt. Lediglich die bildhafte Darstellung der Indikatoren und Parameter über Brennstoffmengen, MAK und EGW/d-Werte wurde hierbei, der Übersichtlichkeit wegen, eingespart. Jedoch wurde das stratosphärische Ozonabbaupotenzial (ODP), als wichtiger Umweltwirkungs-Indikator, noch zusätzlich ergänzt.

II.1.7.3.4 Von der Tool-Entwicklung zum Ergebnis (Software-Prototyp)

Die vom IfaS reversionierte und auf Konsistenz geprüfte Datengrundlage aus Ökobaudat sowie die entwickelte Endversion der Tool-Konzeption wurden ursprünglich im Format MS Excel in mehreren, zum Teil sehr umfangreichen, Dateireitern einer Datei entwickelt. Das endgültige Ziel des AP 2.2.5 lag jedoch darin eine Browser-Anwendung als funktionalen Prototyp für das Internet zu entwickeln. Außerdem wurden auch zusätzlich weitere Webinhalte zum Thema und zur Anwendung erarbeitet.

⁴³ Vgl. UBA (2022), letzter Zugriff in 2020-04-14.

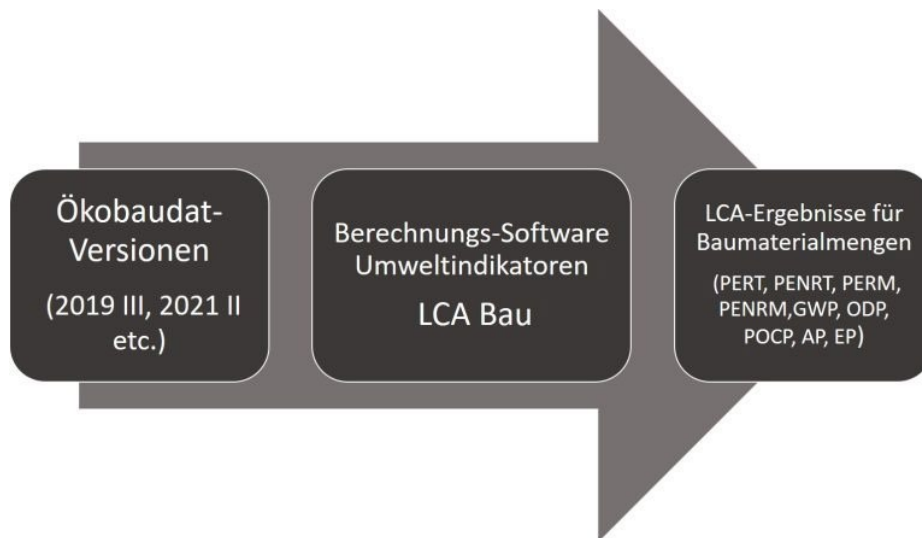


Abbildung II-50: Vereinfachte Darstellung des Aufbaus der LCA BAU Software – © IfaS

Abbildung II-50 stellt die Funktionsweise der Anwendung in stark vereinfachter Form dar. Ausgehend von einer Vielzahl von verschiedenen Datensätzen aus der Ökobaudat-Datenbank, je nach Umfang der Bereitstellung von Materialdatensätzen ggf. auch aus unterschiedlichen Versionen, bereitet die verfügbaren Daten auf und gibt Ergebnisse in Form zentraler Umweltwirkungsindikatoren und Ressourcenparameter aus.

Um die vom IfaS entwickelte Tool-Konzeption, und hierbei v. a. die Datenbasis, in der vom IESE entwickelten Browser-Anwendung zu nutzen, musste diese umformatiert werden.

Dazu war ein mehrstufiges Verfahren erforderlich, um eine spezielle JSON-Struktur (data.json) zu erstellen, die von den Komponenten der Browser-Anwendung verarbeitet werden kann.

Hierbei lag der erste Schritt darin, ein einzelnes MS-Excel-Datenblatt entsprechend den Anweisungen des Fraunhofer IESE-Programmierungs-Teams zu restrukturieren. Besonders wichtig waren dabei die einheitliche und korrekte Benennung sowie die eindeutige Zuordnung relevanter Parameter und Indikatoren zu den jeweiligen Baumaterialien. Alle Parameter, die nicht der Benennung oder Identifikation dienen, mussten als numerischer Zelltyp formatiert werden. Nur so kann die Anwendung quantitative Werte zuverlässig erkennen und korrekt verarbeiten. Da alle namenstragenden Elemente entsprechend ihrer Zugehörigkeit korrekt zugeordnet sein müssen, wurde im Folgenden jede Entität den verschiedenen Typen, Kategorie (1), Subkategorie (2) oder Material (3) zugeordnet. Zudem war es erforderlich, übergeordnete Entitäten als solche zu kennzeichnen, so dass eine Baumstruktur durch die Programmierung erkannt werden kann. Danach war eine Überprüfung notwendig, ob alle numerischen Zellen wirklich frei von nicht-numerischen Einträgen sind. Wenn das Excel-Datenblatt final richtig angelegt war,

musste dieses komplett in ein Konverter-Tool (Mr. Data Converter⁴⁴) überführt werden. Dort ist die Konvertierung in u. a. das JSON-Format möglich. Das Ergebnis ist anschließend über einen herkömmlichen Texteditor in eine Textdatei zu überführen, welche mit der Endung „.json extension“ abgespeichert werden muss. Die so generierte Datei kann schließlich als Quelldatei für die Browser-Anwendung fungieren.

Die Datensätze können nach Integration schließlich innerhalb der puristisch gestalteten Browser-Anwendung⁴⁵ abgerufen und zur Kalkulation der Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter PENRT, PERT, PENRT abzgl. PENRM, PERT abzgl. PERM, GWP, ODP, AP, EP und POCP genutzt werden (siehe Abbildung II-51).

The screenshot shows the 'Materialdatenbank' web application. The top section, 'Ein neues Modell erstellen', contains a form with the following fields: 'Kategorie' (set to 'Beton'), 'Unterkategorie' (set to 'Betonarten'), 'Material' (set to 'Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25'), and 'Nutzmenge' (set to '1' with a unit of 'm3'). A 'Material hinzufügen' button is below the form.

The bottom section, 'Details des Modells', displays a table with environmental indicators. The table has columns for 'Material', 'Nutzmenge', 'Bezeigeneinheit', and a group of indicators under 'Energieverbrauch (alle in kWh)' and 'Umweltauswirkung (alle in kg)'. The indicators include KEA-Ebene (PENRT, PERT), KEV-Ebene (PENRT minus PENRM, PERT minus PERM), GWP, ODP, AP, EP, POCP, and a 'löschen' button.

Material	Nutzmenge	Bezeigeneinheit	Energieverbrauch (alle in kWh)				Umweltauswirkung (alle in kg)					löschen
			KEA-Ebene		KEV-Ebene		GWP	ODP	AP	EP	POCP	
			PENRT	PERT	PENRT minus PENRM	PERT minus PERM						
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	1.0000e+0	m3	3.5054e+2	6.2192e+1	3.5054e+2	6.2192e+1	1.9409e+2	4.7922e-8	3.4593e-1	6.8757e-2	1.0315e-2	löschen
Summe			3.5054e+2	6.2192e+1	3.5054e+2	6.2192e+1	1.9409e+2	4.7922e-8	3.4593e-1	6.8757e-2	1.0315e-2	-

Below the table is a 'Modellname' input field and a 'Modell speichern' button.

Abbildung II-51: Daten-Eingabe & -Ausgabe der Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter innerhalb der Browser-Anwendung – © Fraunhofer IESE & IfaS

Die Abbildung II-51 zeigt im oberen Bereich unter „Ein neues Modell erstellen“ den schlichten Auswahlbereich nach Art einer dreieggliederten Baumstruktur. Ein komplexe und langwierige Materialiensuche entfällt damit.

Alle Baustoffe und Hausinstallationen (TGA) sind möglichst gleichmäßig und homogen in die knappe Struktur eingearbeitet. Das unterste vierte Feld dient der Eingabe der Nutzmenge.

⁴⁴ Online erreichbar unter: <http://shancarter.github.io/mr-data-converter/>

⁴⁵ Online erreichbar unter: <https://materialdatenbank.stoffstrom.org/db/>

Darauf folgt die Ergebnisausgabe unter „Details des Modells“ und zeigt die bereits übernommenen Materialdaten nach Materialname, Nutzmenge, Bezugseinheit sowie den Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparametern. Errechnete Ergebnisse werden in der wissenschaftlichen Notation angezeigt, um den begrenzten Platz bei sehr großen oder sehr kleinen Zahlen nicht zu überreizen.

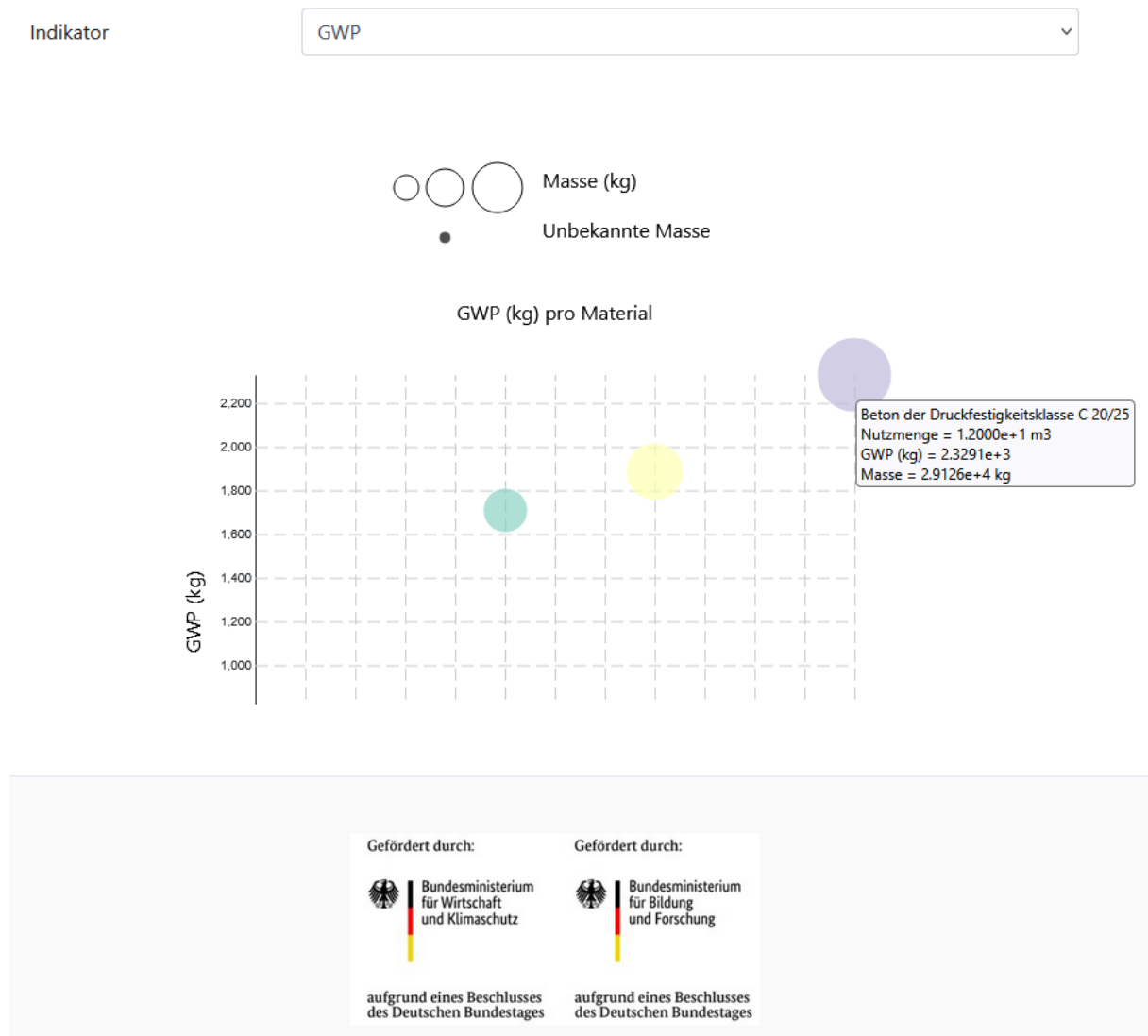


Abbildung II-52: Darstellung der Eigenschaften der ausgewählten Baumaterialien mittels Blasendiagramm

– © Fraunhofer IESE

Unterhalb des Eingabe- bzw. Abrufbereichs befindet sich ein visueller Ausgabebereich. Dort werden die eingegebenen Mengen in einem Blasendiagramm grafisch dargestellt (siehe Abbildung II-52). Die X-Achse zeigt hierbei die Anzahl der eingegebenen Mengen in Tonnen (t), Quadratmeter (m²), Kubikmeter (m³) oder Stück (pcs.). Die Y-Achse bildet dagegen, je nach Auswahl, die Bedarfs- oder Emissions-Menge der jeweiligen Umweltwirkung oder des Ressourceneinsatzes ab. Die Größe der Blase steht für die Masse der jeweils mengenmäßig abgebildeten Baumaterialien oder Hausinstallationen.

Neben der Browser-Anwendung, unter **LCA BAU Software**, finden sich auf den für das AP 2.2.5 angelegten Webseiten weitere kontextbezogene Inhalte. Der Aufbau untergliedert sich in folgende Webinhalte:

- Startseite
- Hintergrundwissen
- Anleitung LCA BAU Software
- LCA Bau Software (Browser-Anwendung)
- Dokumentation
- Graue Energie am Beispiel

Die Startseite stellt die Browser-Anwendung und deren Grundlagen kurz vor und bietet Shortcuts zur Anwendung und zur Anleitung dazu. Außerdem wird die einfache Anwendbarkeit thematisiert und anhand einiger Merkmale kurz erklärt.

Im Bereich Hintergrundwissen finden sich z. B. Hinweise und Informationen im Zusammenhang mit den Klimaschutzzielen der EU und zur Umsetzung des europäischen Green Deals sowie dem Gebäudeenergiegesetz (GEG). Es wird knapp darauf eingegangen, dass ein hoher Anteil des Gesamtgebäudeenergiebedarfs auch und v. a. in der Gebäudemasse zu finden ist und mit steigender Effizienz der Gebäude, durch zusätzliche Nutzung von Materialien und Technischer Gebäudeausrüstung, diese gebundenen Lasten weiter zunehmen. Auch der gemeinsame Level(s)-Rahmen der EU wird kurz erklärt.

Außerdem werden die wichtigsten Grundlagen für die Entwicklung der LCA BAU Software genannt. Darunter z. B. die DIN EN Normen 14025, 14040 bis 14044 und 15804. Zudem wird knapp erklärt, was eine Umweltproduktdeklaration Typ III ist. Auch wird in aller Kürze skizziert, was das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen verkörpert.

Weiterhin wird die Datenbasis der LCA BAU Software bzw. Ökobaumat, mit seiner Darstellung von Produktlebenszyklen, unterteilt in Lebenswegmodule mit Daten zu Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter, kurz erläutert.

Der Bereich Anleitung LCA BAU Software enthält überdies eine übersichtliche Anleitung zur Browser-Anwendung mit den Unterpunkten Dateneingabe (Erstellen eines neuen Modells), Ökobilanz-Ergebnisse (Rechendetails zum Modell), Graphische Darstellung der Ökobilanz-Ergebnisse (Energieverbrauch und Umweltauswirkung der Baustoffe), Speichern der Ökobilanz, Vergleichen der Ökobilanz und Erkunden-Modus als Schnell-Überblick. Zusätzlich folgt die Legende „Umweltindikatoren LCA BAU Software“. Hier sind alle relevanten Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter noch einmal kurz mit ihrer SI-Einheit und ggf. chemischer Summenformel aufgeführt.

Es handelt sich dabei um Folgende:

- KEA [Joule]: Kumulierter Energieaufwand
- KEV [Joule]: Kumulierter Energieverbrauch
- PERT [Joule]: Primary Energy Renewable Total (Erneuerbare Primärenergie, total)
- PENRT [Joule]: Primary Energy Non-Renewable Total (Nicht-Erneuerbare Primärenergie, total)
- PERM [Joule]: Primary Energy Renewable Material (Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung)
- PENRM [Joule]: Primary Energy Non-Renewable Material (Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung)
- GWP [Masse CO₂e]: Globales Erwärmungspotenzial
- ODP [Masse CCl₃F]: Abbau Potenzial der stratosphärischen Ozonschicht
- AP [Masse SO₂e]: Versauerungs-Potenzial von Boden und Wasser
- EP [Masse PO₄e]: Eutrophierungs-Potenzial
- POCP [Masse C₂H₄e]: Photochemisches Bildungspotenzial für (bodennahes) troposphärisches Ozon

Neben dem bereits beschriebenen Aufbau der Browser-Anwendung findet sich außerdem noch die vom Fraunhofer IESE im PDF-Format verfasste sechsseitige Dokumentation⁴⁶ wieder.

Der letzte Webinhalt, unter Graue Energie am Beispiel, zeigt die Ergebnisse für den Anteil des Primärenergiebedarfs der Gebäudemasse bzw. der Baumaterialien eines Beispiel-Gebäudes. Es handelt sich hierbei um ein Sankey-Modell des neu sanierten MVZ-Gebäudes, mit der einstigen internen Nr. 49 auf dem ehemaligen Gelände der Firma Pfaff in Kaiserslautern, welches mit der Stoffstrommanagement-Software UMBERTO NXT LCA und den Ergebnissen aus der hier vorgestellten Datenbank erarbeitet wurde. Die relative Menge der Grauen Energie wird dabei durch die Breite der einzelnen (Sankey-) Pfeile vermittelt, wobei jede (Pfeil-)Farbe für eine bestimmte Materialart steht. Die Abbildung führt von den Materialien ausgehend (grüne Kreise ganz außen), hin zu den wesentlichen Komponenten und Bauteilen (schwarze abgerundete Quadrate), bis zur Zusammenführung zum gesamten Gebäude (mittiger großer roter Kreis). Die Darstellung weicht hierbei von der LCA-Betrachtung des MVZ im AP 2.2.3 (Denkmal geschützte Gebäude) insofern ab, dass auch teilweise der Bestand, z. B. noch nutzbare Beton- und ggf. Klinker-Bauteile des Gebäudes als Referenz-Stromflüsse mitbetrachtet wurden.

⁴⁶ Online erreichbar unter: https://materialdatenbank.stoffstrom.org/wp-content/uploads/2023/06/Materialdatenbank_Tool_v1.0.0_Documentation.pdf

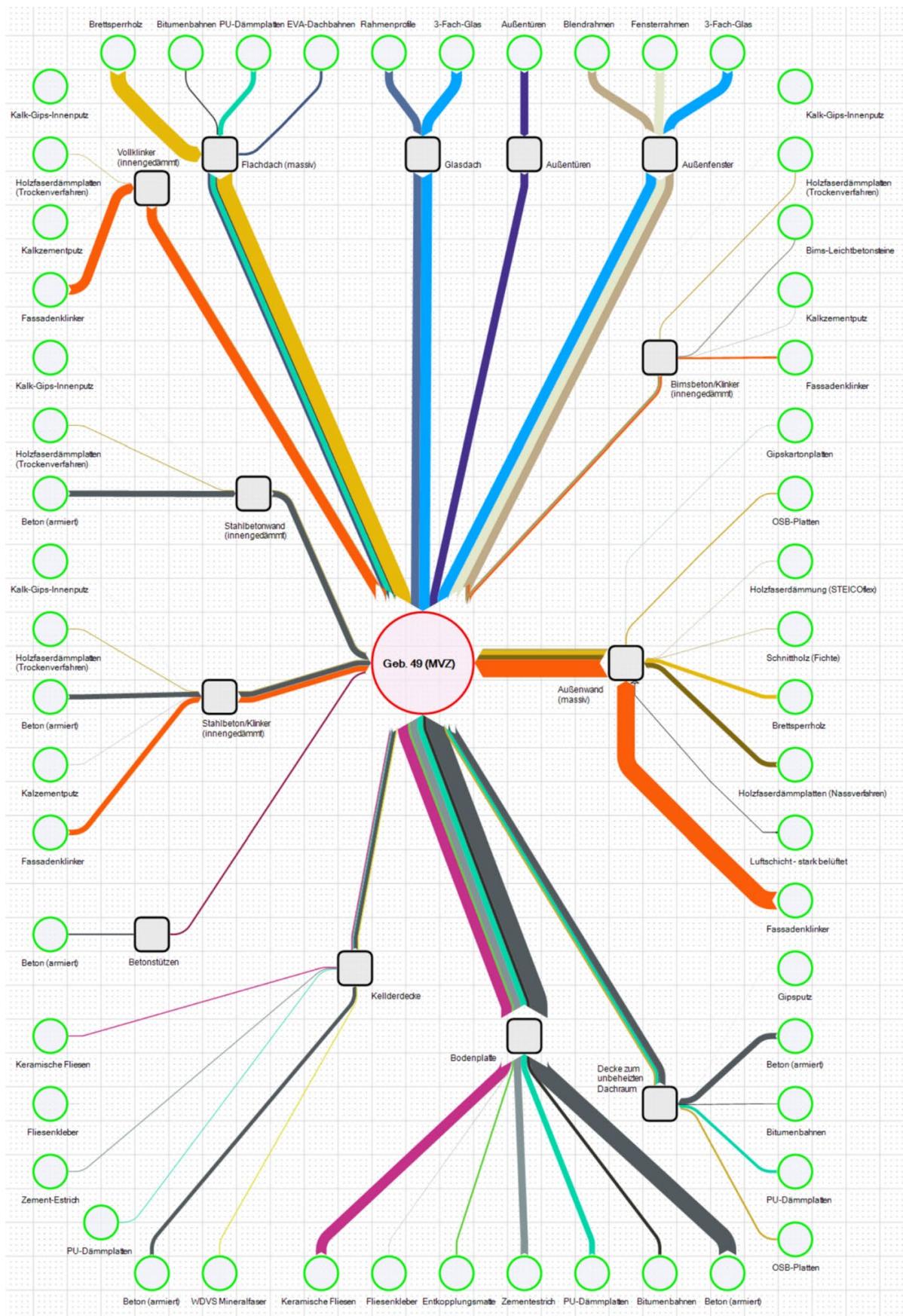


Abbildung II-53: MVZ-Gebäude – UMBERTO-(Sankey-)Darstellung der Grauen Energie der Baumaterialien – © IfaS

Die Abbildung II-53 zeigt, dass die größten Anteile an Grauer Energie in zementhaltigen Bauteilen (graue Farbtöne), Fassadenklinker (orange), keramischen Fliesen (burgunderrot), Brettsper Holz (ockergelb) und Glas (mittelblau) anzutreffen sind. Dies hat jedoch nicht immer nur etwas mit hohen spezifischen Lasten zu tun, oft genug ist die bloße verbaute Masse ebenfalls ein wichtiger Faktor.

Bei zementhaltigen Bauteilen handelt es sich z. B. um ca. 70% der Gebäudemasse aber nur etwas mehr als 25% des Primärenergiebedarfs. Fassadenklinker kommt dagegen auf etwa 16% der Masse und knapp 18% des Primärenergiebedarfs. Brettsper Holz erreicht nur 5% der Masse aber annähernd 10% des Primärenergiebedarfs, jedoch immerhin hauptsächlich auf Erneuerbare Energien beruhend. Bauteilschichten (hauptsächlich Dämmstoffe) aus Polyurethan (türkisgrün) sind ebenso recht gut im Sankey-Diagramm sichtbar, da auf diese ca. 7% vom Primärenergiebedarf entfallen. An der Gebäudemasse sind diese aber nur zu einem minimalen Anteil von < 0,5% beteiligt. Zusätzlich scheinen gipshaltige Produkte (Gipsputz, Gipskartonplatten, Kalk-Gips-Innenputz) energetisch gleichwohl nur eine untergeordnete Rolle einzunehmen (rund 0,6% des Primärenergiebedarfs). Die Ursache darin liegt jedoch hauptsächlich auch in der geringen verbauten Masse (etwa 0,8%). Spezifisch betrachtet liegen die Werte des Primärenergieverbrauchs pro Masseinheit gipshaltiges Produkt dabei etwa doppelt so hoch wie bei den zementhaltigen Bauelementen und Produkten.

Abbildung II-54 und Abbildung II-55 zeigen, bezüglich der aufgezeigten Relationen für das MVZ-Gebäude, die Werte für die einschlägigen Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcen-Parameter zusätzlich jeweils in relativen und absoluten Zahlen.

Tabelle II-33: Baumaterialienübersicht mit relativen Anteilen von ausgewählten Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcen-Parametern am MVZ-Gebäude – © IfaS

Baumaterialienübersicht	Masse-%	GWP-%	PERE-%	PENRE-%	PERE-% + PENRE-%
3-Fach-Glas	1,03%	4,61%	2,24%	7,87%	6,86%
Außentüren	0,04%	2,83%	4,37%	3,92%	4,00%
Blendrahmen	0,30%	4,24%	2,57%	4,55%	4,20%
Beton (armiert)	59,53%	34,45%	23,31%	19,59%	20,26%
Bims-Leichtbetonsteine	2,27%	0,72%	0,44%	0,46%	0,46%
Bitumenbahnen	0,27%	0,49%	0,32%	3,12%	2,61%
Brettsperrholz	4,68%	4,25%	30,50%	5,17%	9,73%
Entkopplungsmatte	0,04%	0,75%	0,27%	0,96%	0,84%
EVA-Dachbahnen	0,06%	1,29%	0,57%	1,52%	1,35%
Fassadenklinker	15,89%	14,51%	6,00%	20,20%	17,65%
Fensterrahmen	0,31%	4,58%	2,88%	4,98%	4,60%
Fliesenkleber	0,23%	0,28%	0,18%	0,12%	0,13%
Gipskartonplatten	0,16%	0,09%	0,23%	0,18%	0,19%
Gipsputz	0,16%	0,08%	0,09%	0,11%	0,10%
Holzfaserdämmplatten (Nassverfahren)	0,31%	0,95%	9,39%	1,03%	2,54%
Holzfaserdämmplatten (Trockenverfahren)	0,29%	1,05%	0,92%	1,42%	1,33%
Holzfaserdämmung (STEICOflex)	0,03%	0,13%	0,14%	0,16%	0,16%
Kalk-Gips-Innenputz	0,46%	0,36%	0,23%	0,30%	0,29%
Kalkzementputz	0,80%	0,56%	0,70%	0,34%	0,41%
Keramische Fliesen	1,88%	4,38%	2,51%	6,66%	5,91%
Luftschicht - stark belüftet	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
OSB-Platten	0,36%	0,72%	2,17%	1,42%	1,55%
PU-Dämmplatten	0,47%	9,46%	2,79%	8,38%	7,38%
Rahmenprofile	0,32%	2,20%	2,04%	2,69%	2,57%
Schnittholz (Fichte)	0,03%	0,04%	0,83%	0,03%	0,17%
WDVS Mineralfaser	0,17%	0,47%	0,32%	0,55%	0,51%
Zement-Estrich	9,92%	6,50%	3,99%	4,28%	4,23%
Σ	100%	100%	100%	100%	100%
Teil-Σ zementhaltige Baustoffe	72,74%	42,52%	28,62%	24,80%	25,48%
Teil-Σ gipshaltige Produkte	0,78%	0,53%	0,55%	0,58%	0,58%

Tabelle II-34: Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcen-Paramater nach Bauteilen und Baumaterialien – © IfaS

Bauteile	Baumstoffe (Trivialname)	Volumen [m³]	Rohdichte [kg/m³]	Masse [t]	Einheitenfaktor	GWP [t]	ODP [t]	POCP [kg]	AP [kg]	EP [kg]	PERE [MWh]	PERM [MWh]	PENRE [MWh]	PENRM [MWh]	FW [m³]
1 Außenfenster	Blendrahmen	-	-	20,71	7,393	90	0,00	18	127	17	0,0	37	297	0,0	240
	Fensterahmen	-	-	21,40	6,902	97	0,00	19	133	18	0,0	41	325	0,0	270
	3-Fach-Glas	-	-	53,51	1,775	74	0,03	43	790	63	0,0	24	388	0,0	318
2 Außenüren	Außenüren	-	-	3,04	1,07	60	0,01	9	143	16	0,0	62	256	0,0	323
3 Glasdach	Rahmprofile	-	-	21,77	1,222	47	0,00	12	122	12	0,0	29	175	0,0	196
	3-Fach-Glas	-	-	17,24	572	24	0,01	14	255	20	0,0	8	125	0,0	102
4 Außenwand in Massivbauweise	Gipskartonplatten	13,79	800,00	11,03	1,103	2	0,00	0	4	1	0,0	3	11	0,0	9
	OSB-Platten	16,55	600,00	9,93	17	6	0,00	10	10	2	0,0	12	37	0,0	28
	Holzfaserdämmung (STEICOflex)	44,12	50,00	2,21	44	3	0,00	1	5	0	0,0	2	10	0,0	12
	Schüttstroh (Pöhl)	4,41	481,00	2,12	4	1	0,00	0	4	2	0,0	12	30	0,0	12
	Holzsperrholz	33,93	489,41	16,38	33	18	0,00	0	4	15	0,0	12	68	0,0	94
	Holzbohlen	122,96	489,41	60,00	123	20	0,00	2	97	134	0,0	134	68	0,0	94
	Luftdicht - stark belüftet	55,75	100,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0,0	0	0	0,0	0
	Fassadeinklinker	275,75	2.000,00	551,50	275	105	0,00	24	156	29	0,0	43	663	0,0	165
5 Flachdach in Massivbauweise	Bettgerüstholz	527,28	489,41	258,06	527	72	0,00	38	271	60	0,0	349	270	0,0	255
	Blumenbahnen	4,39	1.004,00	4,41	882	2	0,00	1	7	2	0,0	1	47	0,0	3
	PU-Dämmplatten	351,52	33,00	11,60	2,929	72	69,72	56	108	19	0,0	14	196	80,6	347
	EVA-Dachbahnen	3,30	1.270,00	4,19	2,093	27	0,00	3	2,03	14	0,0	8	99	0,0	133
6 Bodenplatte 18cm Stahlbeton	Keramische Fliesen	46,87	2.487,00	116,57	6,250	84	0,00	12	158	19	0,0	32	391	0,0	209
	Fleisenkleber	-	-	13,79	13,787	5	0,00	1	6	1	0,0	2	7	0,0	7
	Entkopplungsmatte	-	-	2,53	5,062	16	0,00	1	8	1	0,0	4	63	0,0	47
	Zement-Estrich	253,89	2.400,00	609,34	609,336	123	0,00	10	156	24	0,0	51	249	0,0	178
	PU-Dämmplatten	390,60	33,00	12,89	3,255	80	77,47	63	120	21	0,0	16	217	89,5	386
	Blumenbahnen	11,72	1.004,00	11,76	2,353	7	0,00	2	2,35	4	0,0	3	129	0,0	10
	Beton (armiert)	703,08	2.520,00	1.771,76	3,515	316	0,00	14	470	85	0,0	144	552	0,0	735
7 Decke zum unbeheizten Dachraum	Gipsputz	12,42	900,00	11,18	12	2	0,00	0	3	0	0,0	1	7	0,0	4
	Beton (armiert)	248,40	2.520,00	625,97	1,242	111	0,00	5	166	30	0,0	51	195	0,0	260
	Blumenbahnen	2,48	1.004,00	2,49	499	1	0,00	1	4	1	0,0	1	27	0,0	2
	PU-Dämmplatten	198,72	33,00	6,56	1,956	41	39,41	32	61	11	0,0	8	111	45,5	196
	OSB-Platten	24,84	600,00	14,90	25	9	0,00	15	15	3	0,0	19	55	0,0	42
8 Kellerdecke, 15 cm Bodenaufbau	Keramische Fliesen	5,19	2.487,00	12,91	692	9	0,00	1	18	0	0,0	4	43	0,0	23
	Fliesenkleber	-	-	1,83	1,832	1	0,00	0	1	0	0,0	1	1	0,0	1
	Zement-Estrich	31,14	1.500,00	46,71	74,36	15	0,00	1	15	3	0,0	6	31	0,0	23
	PU-Dämmplatten	41,52	33,00	13,79	74,36	13	8,23	7	13	2	0,0	2	31	9,6	41
	Beton (armiert)	155,70	2.520,00	392,36	779	70	0,00	3	104	19	0,0	32	122	0,0	163
	WDVS Mineralwolle	62,28	191,25	11,91	389	10	0,14	3	68	9	1,0	36	36	3,8	1
9 Stahlbetonwand innengedämmt	Kalk-Gips-Innenputz	9,36	900,00	8,43	9	2	0,00	0	2	0	0,0	1	5	0,0	3
	Holzfaserdämmplatten (Trockenverfahren)	37,45	140,00	5,24	37	6	0,01	2	11	2	0,0	3	25	0,0	30
	Beton (armiert)	249,65	2.520,00	629,11	1,248	112	0,00	5	167	30	0,0	51	196	0,0	261
10 Bimsbeton-Klinker innengedämmt	Kalk-Gips-Innenputz	10,87	900,00	9,78	11	2	0,00	0	3	1	0,0	1	6	0,0	4
	Holzfaserdämmplatten (Trockenverfahren)	43,48	140,00	6,09	43	7	0,01	2	13	2	0,0	4	29	0,0	35
	Bims-Leichtbetonsteine	173,93	900,00	156,53	174	15	0,00	1	24	4	0,0	6	30	0,0	25
	Kalkzementputz	14,49	1.800,00	26,09	14	6	0,00	0	8	2	0,0	5	11	0,0	12
	Fassadenklinker	31,89	2.000,00	63,77	32	18	0,00	3	18	3	0,0	5	77	0,0	19
11 Stahlbeton-Klinker innengedämmt	Kalk-Gips-Innenputz	9,28	900,00	8,36	9	2	0,00	0	2	0	0,0	1	5	0,0	3
	Holzfaserdämmplatten (Trockenverfahren)	37,14	140,00	5,20	37	6	0,01	2	11	2	0,0	3	24	0,0	30
	Beton (armiert)	204,26	2.520,00	514,73	1,021	92	0,00	4	137	25	0,0	42	160	0,0	214
	Kalkzementputz	12,38	1.800,00	22,28	12	5	0,00	0	7	2	0,0	4	9	0,0	10
12 Vollklinker innengedämmt	Fassadenklinker	86,65	2.000,00	173,31	87	49	0,00	8	49	9	0,0	14	208	0,0	52
	Kalk-Gips-Innenputz	5,76	900,00	5,19	6	1	0,00	0	2	0	0,0	1	3	0,0	2
	Holzfaserdämmplatten (Trockenverfahren)	23,06	140,00	3,23	23	4	0,00	1	7	1	0,0	2	15	0,0	18
	Kalkzementputz	3,84	1.800,00	6,92	4	1	0,00	0	2	0	0,0	1	3	0,0	3
	Fassadenklinker	153,71	2.000,00	307,42	154	86	0,00	13	87	16	0,0	24	370	0,0	92
13 Betonstützen	Beton (armiert)	68,09	2.520,00	171,53	340	31	0,00	1	46	3	0,0	14	53	0,0	72
		4,925,11		6,826,77		2,122,27	195,60	475,86	4,338,13	633,22	1,430,07	0,58	6,532,92	240,55	5,477,16

Die dezidierten Werte zeigen abschließend noch einmal gut einige der Hauptherausforderungen im Bauwesen. Stoffe wie Beton, Ziegel-Klinker, PU-Dämmplatten und Brettspertholz stehen im knapp 7.000 t umfassenden MVZ-Beispiel für 60% des Primärenergieverbrauches und 70% des Treibhauspotenzials, allerdings sind die Anteile am Primärenergieverbrauch an fossiler und Erneuerbarer Energie und auch der Masseinsatz der Baustoffe recht unterschiedlich. Vor allem der Beton ist hierbei hervorzuheben. Einerseits ist dieser ein wichtiger Baustoff mit herausragenden Eigenschaften; Beton kann im frischen Zustand beliebig geformt werden und im ausgetrockneten Zustand kann er hohe Belastungen und Drücke aufnehmen, Stützfunktionen erfüllen, ist nicht brennbar und sehr witterungsbeständig. Doch die Vorteile bringen auch Nachteile, wie eine hohe Rohdichte und schlechte Wärmedämmeigenschaften, mit sich. Da Beton im Bauwesen für vielerlei Bauteile wie Fundamente, Decken und Wände eingesetzt wird, ergeben sich dadurch hohe verbaute Massen, welche auch starke Umweltwirkungen nach sich ziehen. Tatsächlich hat Beton noch einen weiteren fundamentalen Nachteil. Während die Auswirkungen auf die Umwelt fast aller anderen Baustoffe, da Graue Energie hauptsächlich bei der Herstellung anfällt, durch eine entsprechende Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien fast auf das Niveau der Null-Emission gebracht werden können, sind die CO₂-Emissionen von Beton hauptsächlich chemischer Natur. Der Hauptgrund liegt in der chemischen Reaktion bei der Zementherstellung: Beim Brennen von Kalkstein (CaCO₃) entsteht Branntkalk (CaO) und es wird CO₂ freigesetzt. Die Kombinationen bestimmter Methoden zur CO₂-Senkung, wie der teilweise Ersatz des Zementklinkeranteils im Beton, CO₂-Abscheidung während des Klinkerbrandprozesses, die Forschung bezüglich der Produktion CO₂-verminderter oder gar CO₂-freier Betonbindemittel oder die simple Verringerung des Zementeinsatzes bei der Errichtung von Gebäuden, befinden sich noch in der wissenschaftlichen und praktischen Diskussion.⁴⁷

Trotzdem ist Beton gegenwärtig ein wichtiger Baustoff, welcher jedoch z. B. über die Lebenszyklus-Betrachtung der LCA BAU Software, in Bezug auf seine Umweltwirkungen und seinen Ressourcenverbrauch, gut sondiert, analysiert und bei der gemeinsamen Verwendung mit anderen Baustoffen, abgeglichen werden kann. Dies gilt gleichwohl auch für alle anderen Baumaterialien, welche in der LCA Bau Software enthalten sind, so dass die wesentlichen Treiber von Verbräuchen und Emissionen identifiziert werden und Lösungsfindungen angestoßen werden können.

⁴⁷ Vgl. BauNetz (2025), letzter Zugriff in 2025-04-14.

II.1.7.4 Forschungsergebnisse

Die LCA BAU Software ist ein Prototyp einer Browser-Anwendung, welche es ermöglicht, für Baumaterialien und Hausinstallationen, welche bei der Errichtung von Gebäuden verwendet wurden oder noch Verwendung finden sollen, die komplette Masse sowie die davon abhängigen Umweltwirkungs-Indikatoren wie GWP, ODP, AP, EP und POCP und Ressourcenparameter wie PENRT und PERT zu ermitteln. Die Eingaben können für unterschiedliche Komponenten als Volumenmaß, Flächenmaß, Meterware oder Stückzahl vollzogen werden, entsprechende Vorgaben liefert die Anwendung selbst.

Die prototypische Browser-Anwendung kann damit im Kontext des Eingangs vorgestellten Vorhabens der EU, im Rahmen des Maßnahmenpakets „Fit for 55“ – wichtige Klimaschutzziele und weitere Unabhängigkeit von endlichen oder knappen Ressourcen zu erreichen, welche zudem zu einer Verringerung potenziell schädlicher Emissionen führen – bereits als Orientierungshilfe sowie Mess-, Berechnungs- und Prüf-Instrument gemäß Richtlinie (EU) 2024/1275 gesehen werden.

Die LCA BAU Pilot-Software erfüllt bereits die wesentlichen Eigenschaften, wie z. B. die Berücksichtigung der CO₂-Emissionen während des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden oder Quartieren, entlang der Lebenszyklusphasen. Damit wird der Bemühung um eine stärkere Berücksichtigung der Lebenszyklusbilanz, der Aspekte der Kreislaufwirtschaft und der Umweltauswirkungen, als Teil der Vorbildfunktion des öffentlichen Sektors, nach Begründung 7 bis 9 der Richtlinie (EU) 2024/1275 und Begründung 55 bis 57 der Richtlinie (EU) 2023/1791, bereits im Wesentlichen entsprochen.

Die kostenfrei zugängliche, sehr leicht zu bedienende, Ökobilanz-Anwendung basiert auf dem Abgleich mehrerer hochwertiger Datenbanken, welche u. a. auf die Darstellung von Lebenszyklus-Emissionen abzielen, darunter Ökobaumat (OBD), GEMIS, Ecoinvent, PROBAS und BAUBOOK.

Insbesondere Ökobaumat wurde als Datengrundlage der Vorzug eingeräumt, da diese Datenbank bereits auf das Life-Cycle-Assessment (LCA) bzw. Lebenszyklusbetrachtungen im Bauwesen spezialisiert ist und von oberster behördlicher Stelle, dem Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), zur Verfügung gestellt wird. Insgesamt wurde eine Anzahl von ca. 1.000 Material-Datensätzen zu einer übersichtlichen, einfachen, nur dreistufigen Material-Auswahl-Struktur geordnet. Es bedarf daher keiner langwierigen Suche nach Materialien in einer Auswahl von etlichen Kategorien und Unterkategorien mit unterschiedlich langen Pfadlängen. Stattdessen ist in der Anwendung LCA BAU jedes Material über die Eingabe nur einer Kategorie und ausschließlich einer weiteren Unterkategorie abrufbar.

Die Einfachheit in der Bedienung ist noch weitreichender, da die Ökobilanz-Software LCA BAU keinerlei Angaben zu Standorten oder zur Art von Baumaßnahmen benötigt. Auch eine Bauwerkszuordnung oder

Informationen zu Leistungsphasen der einzelnen Abschnitte der Planung eines Gebäudes sind für die Berechnung der Ökobilanz der Baustoffe nicht notwendig. Informationen zu Flächen (BGF, NGF, NF etc.), Kubatur bzw. Rauminhalt (BRI) müssen ebenfalls nicht in der LCA BAU Software angegeben werden. Selbst die Angabe der genauen Konstruktionsweise und des Aufbaus von Bauteilen, Bauelementen oder Bauteilschichten sind nicht erforderlich.

Direkt, nachdem Materialien ausgesucht und unter Angabe von Art und Menge hinzugefügt wurden, werden bereits die Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Baumaterialien kalkuliert und angezeigt. Dargestellt wird zudem auch das Gesamtergebnis aus der Verrechnung aller ausgewählten Datensätze und Mengeneingaben für die Graue Energie und weiterer Umweltindikatoren.

Das automatisierte Auslesen von ÖKOBAUDAT Datensätzen und die Berechnung der Umweltwirkung anhand von Material und Menge bzw. Gewicht von Baumaterialien erlaubt einen schnellen Vergleich von Umweltwirkungen unterschiedlicher Baustoffe und Konstruktionsweisen.

Die Pilot-Software wird auf der Homepage „Pfaffquartier – klimaneutral“⁴⁸ als Themenseite vorgestellt und ist außerdem auf der Homepage des IfaS, zusammen mit Hintergrundwissen, Dokumentation, Anleitung und Materialbeispielen, online bereitgestellt.⁴⁹

II.1.7.5 Herausforderungen sowie resultierende Erkenntnisse, Lösungen und Empfehlungen

Eine wesentliche Herausforderung bei der Bearbeitung des AP 2.2.5 bestand in der Selektion eines geeigneten aus ausgewogenen Pools an Datensätzen. Hierbei wurden verschiedene Versionen der Ökobaudat-Datenbank analysiert, wobei die aktuelle Version als Basisvorlage diente. Aus der zum damaligen Zeitpunkt aktuellen Version wurden einerseits redundante Datensätze entfernt. Dies betraf v. a. Produkte, welche im Vergleich zu ähnlichen Produkten stark abweichende LCA-Ergebnisse lieferten oder z. B. Datensätze für nahezu gleiche Baustoffe oder Produkte, welche tatsächlich als überflüssig (z. B. sporadisch auftretende Dopplungen) anzusehen waren. Andererseits konnten auch im Versionen-Vergleich einige Lücken bezüglich mancher Produkte identifiziert werden. Diese wurden durch Datensätze aus vorausgegangenen Ökobaudat-Versionen ergänzt, wobei die Ergänzungen so knapp und übersichtlich wie möglich gehalten wurden, um möglichst aktuelle valide Datensätze einzusetzen. Die Ergänzungen hatten zur damaligen Zeit einen Umfang von ca. 12% an allen Datensätzen. Hinzugefügt wurden z. B. Wand- & Deckenprofile eines bestimmten Herstellers, Wandfarben zweier bekannter Marken, Mauersteine aus Leichtbeton in verschiedenen Ausführungen usw. Insgesamt etwas mehr als 100 Datensätze

⁴⁸ Online unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/innovationen/gebaeudetechnik/lifecycle-analysis-lca-bau>

⁴⁹ Online unter: <https://materialdatenbank.stoffstrom.org/>

aus 10 von 22 Kategorien und 29 von 120 Unterkategorien. Zusätzlich stellte auch die Erarbeitung einer ausgewogenen Konzeption der dreistufigen Materialauswahlstruktur eine Herausforderung dar, welche durch zeitintensives ausbalancieren und die Ermittlung geeigneter Kategorien und Unterkategorien gelöst werden konnte. Im Durchschnitt ergibt sich für den Auswahlprozess auf zweiter Ebene ein Mittelwert von fünf bis sechs Unterkategorien pro Kategorie. Jede Unterkategorie erlaubt im Mittel sodann wiederum den Zugriff auf etwa acht bis neun Materialdatensätze.

Zudem fanden sich bei näherer Betrachtung einige offensichtliche, aber auch weniger offensichtliche Fehler oder Hemmnisse (Kommastellenfehler, fehlende Bezugsdaten etc.), welche potenziell bereits bei der Eingabe und/oder Transformation der Daten im Back-End entstanden sein müssen. Waren diese Abweichungen hinreichend offensichtlich, wurden sie in Konsequenz bei der Übertragung korrigiert.

Bezüglich der Berechnung der Ergebnisse für die Umweltauswirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter liegt eine besonders wichtige Herausforderung in der Bestimmung des Charakters und der Masse der für ein Gebäude wesentlichen Baumaterialien. Je nachdem, ob es sich um die Bewertung von Bestandsgebäuden oder von zu errichtenden Bauwerken handelt, müssen unterschiedliche Quellen zur Datenerhebung herangezogen werden.

II.1.7.5.1 Herausforderungen im Bestand

Bei bereits bestehenden Gebäuden spielen gegebenenfalls die Archivierung und Dokumentation eine wesentliche Rolle. Unter Umständen lassen sich durch archivierte Baupläne und Bauteilzeichnungen, welche mit Hinweisen zu den verwendeten Baumaterialien versehen sein können, wichtige Erkenntnisse über die Zusammensetzung des Gebäudes gewinnen. Als weitere wichtige Dokumente, mit relevanten Inhalten zur Materialbeschaffenheit eines Bauwerks, können die Baubeschreibung oder Dokumente zur Ausführungsplanung genannt werden. Daneben können Bauabnahmeprotokolle oder Bestandsdokumentationen unter Umständen über maßgebliche Informationen verfügen.

Auch Statik- oder Baugenehmigungsunterlagen können Bauteilbeschreibungen oder Zusammenfassungen zu verwendeten Baumaterialien, wenn auch oftmals weniger detailliert, enthalten. Wenn keinerlei einschlägige Beschreibungen oder Dokumentationen mehr auffindbar sind, so bleibt zuletzt zur Not die Methode des einfachen Bauwerksbefundes. Hierzu können minimal-invasive Probebohrungen oder Bauteilöffnungen von geringem Ausmaß durchgeführt werden, um Art und Aufbau von verwendeten Baumaterialien zu erforschen.

II.1.7.5.2 Empfehlungen zur Umsetzung im Neubau

Bei neu zu errichtenden Gebäuden, z. B. im Rahmen einer Quartiersentwicklung, liegt der Sachverhalt etwas anders. Hier ist eine möglichst frühe Einbindung der LCA-Betrachtung von zu verwendenden Baumaterialien zielführend. Eine Berücksichtigung sollte schon während der HOAI-Phasen 0 (Bedarfsplanung) bis 2 (Vorplanung) stattfinden. So kann sichergestellt werden, dass LCA-Analysen bereits im Vorfeld der detaillierten Planung der Bauausführung (Ausführungsplanung – HOAI-Phase 5) und sogar noch vor der Detailplanung eines Bauwerks (Entwurfsplanung – HOAI-Phase 3) zu gesamtenergetisch, und damit auch im Hinblick auf wichtige Klimaziele, sinnhaften Entscheidungen bezüglich der Auswahl von potenziell in Frage kommende Baumaterialien führen. Dabei sind die Korrespondenz und Kommunikation mit den Bau-Ingenieuren und Architekten, welche die Bauausführung planen, von fundamentaler Bedeutung. Ein gestörtes Kommunikationsverhältnis kann hierbei im Wesentlichen dazu führen, dass der Zeitraum für die Einbringung wichtiger Erkenntnisse aus der LCA-Analyse von Baumaterialien überschritten wird, wodurch die analytische Auswahl der gesamtenergetisch besten Baumaterialien-Optionen nicht mehr, bzw. nur durch Zufall, erreicht werden kann. Sind die einschlägigen Planungszeiträume bzw. HOAI-Phasen bereits verstrichen, so kann lediglich noch eine LCA-Betrachtung ähnlich zur Betrachtung von Bestandsgebäuden durchgeführt werden, wobei auch hierzu einschlägige Dokumente zur Ausführungsplanung oder die Baubeschreibung vorliegen müssen.

II.1.7.5.3 Empfehlungen zur weiteren Bearbeitung der Thematik

Wichtige von der EU definierte Fristen zur Umsetzung der Richtlinien enden, nach heutigem Stand (April 2025), am 1. Januar 2028 (LCA-Betrachtung für Neubauten > 1.000 m² Nutzfläche) und am 01. Januar 2030 (LCA-Betrachtung für alle Neubauten). Bis dahin, jedoch auch darüber hinaus, besteht die Möglichkeit, die LCA BAU Software, um wichtige Analyse-Instrumente zu erweitern. Denkbar wären graphische Ergänzungen, welche die Struktur- und Mengen-Verhältnisse, welche bisher errechnet werden können, visuell ansprechend darstellen. Auch energetische und emissionstechnische Amortisationsrechnungen für Gebäudeerrichtungs- und Sanierungs-Alternativen, mitsamt bildlicher Darstellung, könnten hilfreiche Optionen darstellen. Ebenso könnte der direkte Vergleich von betriebsbedingten und herstellungsbedingten Verbräuchen und Emissionen stärker in den Vordergrund gerückt werden. Nicht zuletzt wäre auch eine Überarbeitung der Nutzeroberfläche und der numerischen Ergebnisdarstellung, im Sinne einer verbesserten Bedienbarkeit und Nutzerfreundlichkeit, zweckdienlich, da z. B. nicht alle Personengruppen mit der wissenschaftlichen bzw. technischen Notation der numerischen Ergebnisdarstellung genügend zuverlässig vertraut sind. Insgesamt bestehen damit noch mehrere Weiterentwicklungsperspektiven.

II.1.8 AP 2.3.2 Innovative Mobilitätsangebote im Quartier

AP 2.3.2 greift insbesondere die Forschungs- und Praxiserkenntnisse aus AP 1.1.3 (Mobilitätskonzept) auf und vertieft diese im Kontext der Zielstellung „Verkehrsarmes und emissionsfreies Pfaff-Quartier“.

Hierbei ging es primär um die Planung und Umsetzung der Mobilitätsstationen durch die Stadt, welche durch die innovative Stellplatzsatzung finanziert werden. Hierzu wurde ein ausführlicher Beratungsprozess mit der Stadt Kaiserslautern durchgeführt. Zudem beinhaltete das AP die Beratung von Investoren zu den Regelwerken im Quartier (B-Plan und Stellplatzsatzung) sowie weitergehende Möglichkeiten nachhaltige Mobilität im Quartier zu fördern.

Insbesondere das Thema Sharing im Mobilitätssektor hat in den vergangenen Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Daher wurde der Ausbau dieses Bereichs in den Mittelpunkt der Forschungsarbeiten gestellt und durch quartiersbezogene Maßnahmen intensiv vorangetrieben. Dabei wurden sowohl die spezifischen Anforderungen als auch die Chancen analysiert und individuelle Lösungen entwickelt. Zwar existieren im Bereich des Sharings bereits zahlreiche erfolgreiche Modelle, diese sind jedoch in der Regel auf den großstädtischen Bereich ausgelegt. Für klar abgegrenzte Gebiete wie Areale oder Quartiere fehlen bislang maßgeschneiderte Ansätze. Hier kommen die im Mobilitätskonzept verankerten Mobilitätsstationen ins Spiel – ihnen kommt eine zentrale Rolle bei der Umsetzung innovativer, quartiersspezifischer Lösungen zu.

II.1.8.1 Ziel

Ziel des Arbeitspaketes war es, die im Mobilitätskonzeptes 2029 entwickelten Instrumente in die Praxis zu überführen. Da die Stellplatzsatzung und die damit umzusetzenden Mobilitätsstationen für die Stadt als auch für Investorinnen eine Abweichung vom konventionellen Ansatz darstellen, befassten sich die Arbeiten intensiv mit der Beratung und Vermittlung der erarbeiteten Elemente. Da die Vermarktung der Grundstücke und damit die Entwicklung von Immobilien im Zeitraum des Projektes immer wieder nach hinten verschoben wurden, bestand ein Großteil der Forschungstätigkeiten im Arbeitspaket aus der intensiven Beratung der Stadt zur Umsetzung der Mobilitätsstationen. Hier wurde die Frage bearbeitet, wie das zuständige Referat 61 (Stadtentwicklung) der Stadtverwaltung motiviert werden kann, diesen neuen Prozess, welcher bei erstmaliger Umsetzung Anpassungsaufwand und neues Lernen voraussetzt, anzunehmen. Die Umsetzung der Mobilitätsstationen betrifft viele verschiedene momentane Zuständigkeiten⁵⁰. Daraus ergab sich das Problem, dass es zur Zeit der Bearbeitung keine

⁵⁰ Stellplätze, Einhausungen, ÖPNV-Haltestellen oder Fahrradständer bspw. fallen jeweils in die Zuständigkeit verschiedener Referate

„natürliche“ Zuständigkeit für die Umsetzung gab. Im Prozess wurde daher auch die Frage bearbeitet, welche organisatorische Zuordnung in der Stadtverwaltung sinnvoll bzw. umsetzbar wäre.

Für die Entwicklung eines nachhaltigen Mobilitätsmodells im Quartier wurden weiterhin die Erfordernisse für alle Teilnehmer aus dem Bereich der Mobilität berücksichtigt (MIV, ÖPNV, Rad- und Fußverkehr). Bei dem Einsatz von Fahrzeugen wurden auch zwei- und dreirädrige Fahrzeuge betrachtet sowie die Anwendungsmöglichkeiten für den privaten und gewerblichen Bedarf.

Mit den Arbeiten wurden folglich aktuelle Trends aufgegriffen, wissenschaftlich und praxisnah beleuchtet sowie neue passgenaue innovative Konzepte und Dienstleistungsmodelle für das Quartier zur Anwendung über die Projektlaufzeit hinaus entwickelt.

Das Arbeitspaket untergliederte sich dabei in 4 Meilensteine.

Tabelle II-35: Meilensteine AP 2.3.2 Innovative Mobilitätsangebote – © IfaS

Meilensteinbezeichnung		Titel
M1	03/2018	Abschluss der Analyse (Makro-/Mikroebene)
M2	06/2021	Fertigstellung Best Practice Analyse, Kommunikation der Umsetzungsmöglichkeiten, Berichtsübergabe an die Stadt Kaiserslautern
M3	09/2021	Erarbeitung Informationsunterlagen "Nachhaltige Mobilität im Pfaff-Areal" für Investor:innen
M4	09/2022	Begleitende Berattung zur Implementierung abgeschlossen

II.1.8.2 Methodik

Die Erstellung der Stellplatzsatzung und der Finanzierungsmechanismen im Mobilitätskonzept wurden in Zusammenarbeit mit dem Referat 61 (Stadtentwicklung) der Stadtverwaltung Kaiserslautern durchgeführt. Dieses war auch die erste Anlaufstelle für die Initiierung des Beratungsprozesses. Nach erster Absprache und dem Entwurf des Prozesses wurden weitere beteiligte Referate (bspw. Umweltschutz, Finanzen, Bauordnung, Tiefbau) einbezogen. Im Laufe des Prozesses wurden Interviews mit Best-Practice-Beispielen in ganz Deutschland durchgeführt. Die Ergebnisse wurden aufbereitet und in den Prozess eingespeist. Über das Arbeitspaket wurden die Treffen stets organisatorisch (Stadt KL) und inhaltlich (IfaS) vorbereitet. Anregungen und Fragen der Teilnehmenden wurden aufgenommen, bearbeitet und in den nächsten Sitzungen wieder besprochen. Zudem wurde gemeinsam mit den Referatsleitenden der beteiligten Referate eine Frageliste für die Stadtverwaltung angefertigt, welche Zuständigkeiten und Umsetzungsmöglichkeiten konkretisieren soll. Die Liste liegt nach Projektabschluss nun zur weiteren Bearbeitung bei der Stadt Kaiserslautern. Des Weiteren wurden die Unterlagen für die Bürgermeisterdienstbesprechung und die verschiedenen Ausschüsse erstellt.

Da das einzige während der Bearbeitungszeit im Bau bzw. in der Renovierung befindliche Gebäude auf dem Quartier das Baurecht vor der Verabschiedung des B-Plans und der Stellplatzsatzung erhalten hat, gelten die neuen Regeln hierfür noch nicht. Dennoch wurde im Prozess auf Anfrage immer wieder bei Details zur Ausgestaltung der Mobilitätsstation, von Mobilitätsangeboten oder zu technischen Fragen beraten. Zudem konnten Gespräche mit einem potenziellen Mietenden eines in der Planung befindlichen Gebäudes geführt werden.

II.1.8.3 Forschungsergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Arbeitspaketes, aufgelistet nach den Meilensteinen, vorgestellt.

II.1.8.3.1 Ergebnisse Meilenstein 1: Abschluss der Analyse (Makro & Mikro-Ebene)

Ein Großteil der in diesem Meilenstein benötigten Daten wurde im Zuge der Erstellung des Mobilitätskonzeptes 2029 bereits erhoben. Dies bezieht sich vor allem auf die Mengengerüste an alternativer Mobilitätsangebote an den Mobilitätsstationen⁵¹, die PKW-Stellplätze im privaten und öffentlichen Bereich⁵² und das prognostizierte PKW-Aufkommen⁵³.

Zur vertiefenden Analyse wurden zu Beginn der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes durch eine Befragung unter den Wissenschaftsakteuren im Umfeld des Pfaff-Quartiers sowie durch Experteninterviews mit Betreibern verschiedener Angebote (Mobilitätsstationen, Logistik und Finanzierungsmöglichkeiten) vertiefende Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse der Umfrage wurden als Meilensteinbericht 1 (M1) in Form einer Präsentation zusammengefasst.⁵⁴

Insgesamt hat die Befragung im Quartiersumfeld ergeben, dass zweckübergreifend der private PKW in Kaiserslautern die größte Rolle spielt und von einem Großteil der Befragten das Fortbewegungsmittel der ersten Wahl ist, jedoch dicht gefolgt vom Fußverkehr. Alternative Mobilitätsangebote wie Carsharing oder Bikeshaaring haben keine große Bedeutung. Die hohe PKW-Nutzung würde sich jedoch für den Sommer sowie Herbst/Frühling ändern, unter der Bedingung, dass eine gute bis sehr gute Infrastruktur gegeben ist und ein breites Angebot an Alternativen bereitsteht. Folglich ist eine gute Infrastruktur für den Bereich ÖPNV und Fahrrad für den Großteil der Befragten von besonderer Bedeutung, um auf den

⁵¹ Vgl. Kap. 6 im Mobilitätskonzept 2029

⁵² Vgl. Kap. 5 und Kap. 6.5 im Mobilitätskonzept 2029

⁵³ Vgl. Kap. 5 im Mobilitätskonzept 2029

⁵⁴ Vgl. Meilenstein_AP 2.3.2_Meilensteinbericht 1– <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

privaten PKW zu verzichten. Die Entfernung zum Arbeitsplatz liegt bei den meisten Befragten im Bereich bis 5 km. Diese Entfernung kann als mit dem Fahrrad deutlich machbar bezeichnet werden bzw. oftmals auch mit dem Fahrrad deutlich schneller zurückgelegt werden. Dennoch nutzt die überwiegende Mehrzahl der Befragten für den Weg zum Arbeitsplatz den privaten PKW. Für ein Mobilitäts-Budget wären über die Hälfte der Befragten bereit 5€ bis 50€ pro Monat zu zahlen. Einige auch mehr.

Als Ergebnis der Experteninterviews konnte insbesondere eine Best-Practice-Analyse von umgesetzten Mobilitätsstationen deutscher Städte angefertigt werden. Dieses wurde mit der Stadt mehrschrittig diskutiert und anschließend verschriftlicht. Ausgangspunkt dabei waren die von Seiten der Verwaltung aufgeführten potenziellen Umsetzungsschwierigkeiten. Diese wurden in der Best-Practice-Analyse adressiert und Lösungswege aufgezeigt. Der Prozess hatte zum Ziel, die Handlungsmöglichkeiten und Zuständigkeiten innerhalb der Stadt Kaiserslautern zu präzisieren und anschließend zu initiieren. Anhand der erarbeiteten Ergebnisse konnte zusammen mit der Stadtverwaltung ein Fragenkatalog entworfen werden, der im Anschluss innerhalb der Stadtverwaltung bearbeitet wurde. In der Folge wurde ein Stadtvorstandsbeschluss zur Umsetzung der Stationen erzielt. Parallel wurde an dem Informationsangebot für die nachhaltige Mobilität an die Investoren gearbeitet. Hierzu wurden ein erster Entwurf an die Investorengruppe MVZ gesendet, eine Präsentation bei der PEG vorgestellt sowie eine Übersicht über mögliche Beratungsinhalte für Investorinnen und Investoren erstellt (s. Meilenstein 2).

II.1.8.3.2 Ergebnisse Meilenstein 2: Fertigstellung Best-Practice-Analyse, Kommunikation der Umsetzungsmöglichkeiten, Berichtsübergabe an die Stadt Kaiserslautern

Meilenstein 2 beinhaltete den Prozess der Beratung der Stadt Kaiserslautern zur Umsetzung der Mobilitätsstationen. Tabelle II-34 und Tabelle II-35 zeigen den Überblick über die durchgeführten Termine und die dabei entstandenen Dokumente.

Tabelle II-36: Übersicht über Termine in der Beratung der Stadt Kaiserslautern – © IfaS

Datum	Inhalt des Termins	Teilnehmende
10.02.2021	1. Abstimmungstermin zum Ausbau der Mobilitätsstationen	IfaS, Stadt KL Ref. 61, Projektleitung EnStadt:Pfaff,
22.02.2021	Vorstellung des Vorhabens und der Ziele (Ausbau Mob-Stationen) beim Umweltausschuss	Projektleitung EnStadt:Pfaff, Umweltausschuss Stadt KL
03.03.2021	2. Abstimmungstermin zum Ausbau der Mobilitätsstationen	IfaS, Stadt KL Ref. 61, Projektleitung
25.05.2021	3. Abstimmungstermin zum Ausbau der Mobilitätsstationen	IfaS, Stadt KL Ref. 61, Projektleitung EnStadt:Pfaff,
Fortlaufend	Anfrage an Stadt nach aktuellem Stand der Bearbeitung, sowie weiterem Beratungsbedarf	IfaS, Stadt KL, Projektleitung
24.06.2022	Absprache weiterer Aktivitäten bis zum Projektende, Klärung offener Fragen, Absprache der Zeithorizonte	IfaS, Stadt KL (Ref. 61)

Tabelle II-37: Übersicht erstellter Dokumente in der Beratung der Stadt Kaiserslautern – © IfaS

Datum	Titel	Dateiformat
Letzte Aktualisierung 19.02.2021	Detaillierte Kostendarstellung Mobilitätsstationen	.xlsx
Letzte Aktualisierung 19.02.2021	Zeitliche Ausbaustrategie Mobilitätsstationen im Quartier	.pdf
24.03.2021	Umsetzung von Mobilitätsstationen in Kaiserslautern – Langfassung	.pdf
24.03.2021	Umsetzung von Mobilitätsstationen in Kaiserslautern – Kurzfassung (für den Stadtvorstand)	.pdf
fortlaufend	Ergebnisfolien und Inhaltsfolien zu den oben aufgeführten Dokumenten für die Abstimmungstermine	.ppt

Die detaillierten Inhalte des Beratungsprozesses sind im Meilensteinbericht 2 (M2) zu finden.⁵⁵

II.1.8.3.3 Ergebnisse Meilenstein 3: Erarbeitung Informationsunterlagen „Nachhaltige Mobilität im Pfaff-Areal“ für Investor:innen

Zur Erreichung einer nachhaltigen Mobilität im Pfaff-Areal werden nachhaltige Infrastrukturen im öffentlichen und privaten Raum benötigt. Da die Anforderungen an ein klimaneutrales Quartier an alle Akteure vielseitiger sind als in konventionellen Quartieren, hat die AG Mobilität im AP 2.3.2 Beratungs- und Unterstützungsformate für die Zielgruppe Stadtverwaltung Kaiserslautern (Meilenstein 2) und Investoren (Meilenstein 3) erarbeitet. Die Informationsunterlagen für die Investoren behandeln die Anforderungen und Vorteile, welche durch die nachhaltige Mobilität im Pfaff Areal entstehen. Diese adressieren vor allem die Kostenvorteile durch die verpflichtenden Elemente der Stellplatzsatzung und die weiteren Möglichkeiten im Zuge des „Bauen für Nachhaltige Mobilität“ (vgl. Bericht zu Arbeitspaket 1.1.3). Neben den formalen Anforderungen und Vorteilen ist es ebenso wichtig, den Investoren ein Bild von der Mobilität im Pfaff-Areal zu vermitteln. Aus diesem Grund werden auch das Leitbild und generelle Informationskanäle wie die Website oder die Investorenbrochure aufgeführt. Die Homepage stellt mittels einer Themenseite zum Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität eine Übersicht über die Mobilitätsmaßnahmen im Pfaff-Areal dar. Es beschreibt die Ziele des Konzeptes und die daraus resultierenden Alleinstellungsmerkmale des Quartiers. Die Broschüre für das Pfaff-Areal bietet einen kurzen Überblick über die Themenbereiche und welche Arten von Mobilität im Pfaff-Areal vorzufinden sein werden.

Aufgrund abermaliger Verzögerungen in der Gebietserschließung musste auch die Vermarktung der Grundstücke entlang der Lina-Pfaff-Achse weiter verschoben werden. Aus diesem Grund konnten die Unterlagen nur mit der Investorengruppe des MVZ, von Pfaff 14, der Projektentwicklungsgesellschaft

⁵⁵ Vgl. Meilenstein_AP 2.3.2_Meilensteinbericht 2 – <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

Pfaff (PEG) sowie mit der Energieagentur Rheinland-Pfalz, welche beabsichtigt den Kopfbau des Holzparkhauses zu mieten, besprochen werden.

Durch die fehlenden konkreten Anfragen von weiteren Investoren wurden die Informationsmaterialien zudem mit dem Fokus auf Anreizvermittlung formuliert. Den Investoren wurden folgende Punkte zentral vermittelt:

- Nachhaltige Mobilität im Quartier macht das Quartier lebenswerter und erhöht somit die Attraktivität meiner Immobilie!
- Wie sieht ein nachhaltiges Quartier Bezug auf Mobilität aus?
- Nachhaltige Mobilitätsangebote, welche ich als Investor unterstützen kann, werden vermehrt als Dienstleistung von Immobilienanbietern wahrgenommen. Auch dies steigert die Attraktivität meiner Immobilie!
- Die Stellplatzsatzung des Pfaff-Areals schafft ein System von nachhaltiger Mobilitätsinfrastruktur und Angeboten, welches das Quartier höchst attraktiv gestalten und zudem gleichzeitig meine Investitionskosten für den Bereich Stellplätze deutlich senken!

Tabelle II-36 zeigt die Übersicht der im Projektzeitraum für die Beratung angefertigten und übermittelten Dokumente. Die Dokumente befinden sich im Anhang des Meilensteinberichtes 3.⁵⁶ Die Unterlagen wurden zudem der PEG bereitgestellt, um bei den zukünftigen Ausschreibungen der Grundstücke (in bspw. Branchenzeitschriften) per QR-Code digital angezeigt zu werden.

Tabelle II-38: Übersicht über die erstellten Beratungsangebote – © IfaS

Bezeichnung	Termine, Treffen	Dokumente
Homepage	diverse	https://pfaff-reallabor.de/technologien/nachhaltige-mobilitaet/
Broschüre	diverse	Broschüre_EnStadt_Pfaff_Dez_2019
Leitbilderstellung	diverse Termine in 2018	190115_EnStadt_Pfaff_Leitbild_Pfaff-Areal
Themenübersicht Investorenberatung Mobilität	diverse Termine in 2021 und 2022	2022_01_06_Investorenberatung_Übersicht Mobilität 2021_05_18_Investorenberatung_Übersicht_Mobilität_PPP
Detailliertes Informationsmaterial Stellplatzsatzung, Mobilitätsstationen und Nachhaltige Mobilität im Quartier (über CP-Projects)	26.04.2021	2021_04_26_Vermarktung Mobilität im Pfaff-Areal
Vorstellung detaillierte Beratung Stellplatzsatzung und Bauen für Nachhaltige Mobilität an PEG	18.05.2021	2021_04_26_Vermarktung Mobilität im Pfaff-Areal
Vorstellung der Themen und Unterlagen an Pfaff-Entwicklungsgesellschaft (PEG) Bereich Vermarktung und Liegenschaftsamt der Stadt Kaiserslautern	29.07.2021	2022_01_06_Investorenberatung_Übersicht Mobilität 2021_05_18_Investorenberatung_Übersicht_Mobilität_PPP
Initialberatung Energieagentur Rheinland- Pfalz: Mobilität als potenzielle Mieterin im Pfaff-Areal	28.10.2021	Perspektiven des Fuhrparkes und Betriebliches Mobilitätsmanagement; Verweis auf Mobilitätskonzept 2029 und Bundesverband Carsharing

⁵⁶ Vgl. Meilenstein_AP 2.3.2_Meilensteinbericht 3 – <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

II.1.8.3.4 Ergebnisse Meilenstein 4: Begleitende Beratung zur Implementierung abgeschlossen

Zur Erreichung einer nachhaltigen Mobilität werden Infrastrukturen im öffentlichen und privaten Raum benötigt. In der ursprünglichen Vorhabensbeschreibung wurde von einer Fertigstellung der Gebäude der Pfaff-Achse bis zum Projektende ausgegangen. Die Einbeziehung der für diese Gebäude zuständigen Investoren in die Umsetzung der Infrastruktur war Teilziel des AP 2.3.2. Auch bei der Änderung der Meilensteine vom 05.07.2021 wurde von einer Fertigstellung von zwei Gebäuden (MVZ und Holzparkhaus mit Kopfbau) ausgegangen. Aufgrund massiver Verzögerung bei der Erschließung des Gebietes und den damit verbundenen Einflüssen auf die Bauvorhaben wurde dies jedoch nicht erreicht. Eine Beratung der Investoren für die Implementierung der Mobilitätsstation im Holzparkhaus fand in diesem Zuge nur in der Planungsphase statt.

Dabei wurden folgende Themen behandelt:

1. Schaffung eines barrierefreien Zugangs vom Bahnhofspunkt Pfaff-Werk zum MVZ-Parkhaus
2. Anforderungen von Mietfahrradanbietenden an die Anlagen im Parkhaus
3. Anzahl und Anordnung von Angeboten an der Mobilitätsstation laut Mobilitätskonzept 2029
4. Generelle Übersicht über Mobilitätsmaßnahmen und Mechanismen im Pfaff-Areal

Grundsätzlich ist anzumerken, dass in der Beratung des Sanierungsvorhabens des MVZ und dem Neubau des angrenzenden Parkhauses die Instrumente Stellplatzsatzung und B-Plan nicht zum Tragen kamen, da der Bauantrag vor Beschluss der genannten Regelwerke gestellt wurde.

Konkret wurden zu den oben genannten Themen folgende Inhalte aufbereitet:

Zu 1.) Schaffung eines barrierefreien Zugangs vom Bahnhofspunkt Pfaff-Werk zum MVZ-Parkhaus

Hierbei stand das Ziel der Erreichbarkeit der Mobilitätsstation im Parkhaus und auch des Pfaff-Quartiers generell in barrierefreier Form im Zentrum. Das Parkhaus wurde zwischenzeitlich in unmittelbarer Nähe des Bahnhofspunktes Pfaff-Werk errichtet.

Abbildung II-56 zeigt die Lage und die Verbindung zwischen der Bahntrasse und dem Parkhaus.



Abbildung II-54: Lage MVZ Parkhaus und Bahntrasse - © Astoc|MESS 2018

Im unteren Parkhaus soll eine Mobilitätsstation errichtet werden. Das obere Parkhaus ist optional; der Bauplatz soll nach Angaben der Stadt bis zuletzt frei bleiben und nur bei Nichtfunktionalität des Mobilitätskonzeptes als Reserve dienen. Eine höherwertige Vermarktung wird angestrebt.

Zu 2.) Anforderungen von Mietfahrradanbietenden an die Anlagen im Parkhaus

Das in Abbildung II-56 gezeigte Parkhaus mit der Mobilitätsstation soll mehrstöckig sein. Im Zuge der Beratung wurde beim momentanen Mietfahrradanbietenden der Stadt Kaiserslautern angefragt, welche Standortanforderungen für die Fahrräder gelten (Mai 2020). Eine Integration der Fahrräder in der Nähe der Carsharing-PKW auf einem der mittleren Stockwerke ist nur bei gegebener GPS-Ortung der Räder möglich. Es wird geprüft, ob dies im Holzparkhaus möglich ist. Eine Aufstellung vor oder auf dem obersten Deck ist ohne weiteres möglich. Zudem wurden dem Projektentwickler die Anschlussleistungen für ein eventuelles E-Bikeladen und Infoterminals weitergegeben.

Zu 3.) Anzahl und Anordnung von Angeboten an der Mobilitätsstation laut Mobilitätskonzept 2029

Um die Mobilitätsstation im Parkhaus entwerfen zu können und ausreichend Fläche vorhalten zu können, wurden im Laufe der Konzepterstellung immer wieder die aktuellen Mengengerüste kommuniziert. Nach Vollendung des Konzeptes wurde auch final der Plan einer großen Mobilitätsstation im Parkhaus kommuniziert. Abbildung II-57 zeigt zur Übersicht die zum Zeitpunkt April 2023 geplanten Standorte im Quartier. Gegenüber dem Mobilitätskonzept wurden die Standorte im Zuge der Erschließungsplanung leicht abgeändert. Die Bestückung der in Abbildung II-57 aufgeführten Stationen ist in Tabelle II-37 zu sehen.

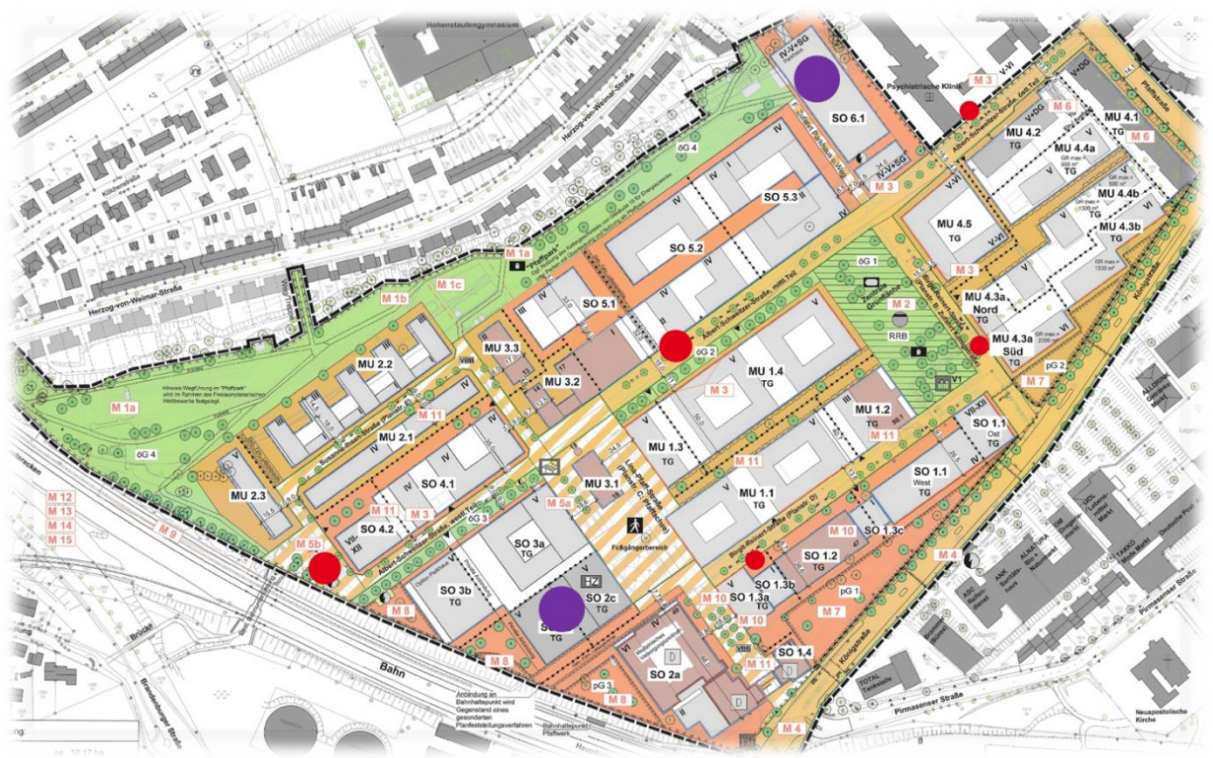


Abbildung II-55: Standorte der Mobilitätsstationen gem. Planungsstand der Stadtentwässerung Kaiserslautern im April 2023;
Quelle: Stadtentwässerung Kaiserslautern / © Astoc|MESS

Tabelle II-39: Bestückung der Mobilitätsstation laut Mobilitätskonzept 2029 – © IfaS 2018

	kleine Mobilitätsstationen	Mittlere Mobilitätsstationen	Große Mobilitätsstationen
Fahrrad Stellplätze	12	48	60
Carsharing Stellplätze	2	4	8
Fahrradboxen	0	0	6
Leihfahrräder	5	5	15
Lastenräder	1	2	3
Sitzplätze	0	5	10
Unterstellmöglichkeiten	0	0	1
Infopoint, etc.	1	1	1

Zu 4.) Generelle Übersicht über Mobilitätsmaßnahmen und Mechanismen im Pfaff-Areal

Zur Übersicht der Mobilitätsmaßnahmen im Quartier wurde eine aufbereitete Übersicht an das zuständige Referat 61 (Stadtentwicklung) der Stadtverwaltung sowie die Stadtentwässerung Kaiserslautern gesendet.

Aufgrund der verzögerten Weiterentwicklung der Fläche wurden keine weiteren Beratungsangebote in Anspruch genommen. Alternativ erfolgte eine Beteiligung an der Veranstaltungsreihe für Bürgerinnen und Bürgern zur öffentlichen Präsentation und Diskussion von Projektergebnissen direkt auf dem Pfaff-Gelände. Am 05.10.2023 erfolgte durch Hr. Michael Müller (IfaS) die Präsentation im Rahmen des Vortrags „Alternative Mobilitätsangebote für das Pfaff-Quartier“.⁵⁷ Rund 20 Personen waren anwesend. In Abstimmung mit Fr. Theobald von der Stadtentwässerung konnten auch einige Themen zum aktuellen Umsetzungsstand (insb. Mobilitätsstationen und Stellplatzsatzung) besprochen werden. Somit wurde deutlich, dass aus der Konzeptionierung schließlich auch mehrfach Dingen nun in der Realität umgesetzt werden.

Eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse ist im Meilensteinbericht 4 aufgeführt.⁵⁸

II.1.8.4 Wesentliche Erkenntnisse

Die wesentlichen wissenschaftlichen Erkenntnisse des Arbeitspaketes 2.3.2 sind:

- Bedarf an nachhaltiger Mobilität: Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass es einen Bedarf an nachhaltiger Mobilität im Pfaff-Quartier gibt, insbesondere im Hinblick auf die Reduzierung von CO₂-Emissionen und die Förderung von umweltfreundlichen Verkehrsmitteln.
- Wichtigkeit von Mobilitätsstationen: Die Mobilitätsstationen spielen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung innovativer, quartierspezifischer Lösungen für die nachhaltige Mobilität. Sie bieten eine Plattform für verschiedene Verkehrsmittel, wie Carsharing, Fahrradverleih und öffentliche Verkehrsmittel.
- Notwendigkeit von Anreizsystemen: Um die Investoren und Bewohner des Quartiers zu motivieren, nachhaltige Mobilitätsangebote zu nutzen, sind Anreizsysteme erforderlich. Dazu gehören beispielsweise die Schaffung von barrierefreien Zugängen zu den Mobilitätsstationen und die Bereitstellung von Informationen über die Vorteile von nachhaltiger Mobilität.

⁵⁷ Vgl. Präsentation_AP 2.3.2_Veranstaltungsreihe_Mobilitätskonzept und Umsetzung – <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

⁵⁸ Vgl. Meilenstein_AP 2.3.2_Meilensteinbericht 4 – <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

- Bedeutung von Kooperation und Kommunikation: Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass eine enge Kooperation und Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren, wie Stadtverwaltung (inkl. der Stadtentwässerung, die sich mit der Umsetzung des Mobilitätskonzeptes befasst), Investoren und Forschern, erforderlich ist, um nachhaltige Mobilitätslösungen umzusetzen.
- Wichtigkeit von flexiblen und anpassungsfähigen Konzepten: Das Projekt verdeutlicht, dass flexible und anpassungsfähige Konzepte für die nachhaltige Mobilität erforderlich sind, um auf die sich ändernden Bedürfnisse und Anforderungen im Planungsprozess bzw. der Investoren reagieren zu können (bspw. aufgrund sich verändernder Rahmenbedingungen im Zuge der Erschließungsplanung).

II.1.9 AP 2.4.2 Aktives Quartier

Urbane Räume rücken im Kontext des Klimaschutzes zunehmend in den Fokus, da sie durch ihre hohe Bevölkerungsdichte und den damit verbundenen Energiebedarf, Verkehr, Infrastruktur sowie Anforderungen an Lebensqualität komplexe Herausforderungen darstellen. Vor dem Hintergrund knapper Ressourcen ist ein integrierter, innovativer Planungsansatz notwendig, um lebenswerte und gleichzeitig nachhaltige Quartiere zu entwickeln. Das Pfaff-Quartier in Kaiserslautern wurde in diesem Zusammenhang als Pilotvorhaben zur Entwicklung eines klimaneutralen Stadtteils konzipiert. Es soll als Modell für andere urbane Räume dienen und verfolgt das Ziel, effektive Lösungen für aktuelle Herausforderungen des Stadtlebens zu bieten. Eine zentrale Rolle bei der Entwicklung des Quartiers spielt die partizipative Einbindung der zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer. Dies soll sicherstellen, dass sowohl die Akzeptanz als auch die langfristige Tragfähigkeit der entwickelten Konzepte gewährleistet sind.

Im Rahmen des Arbeitspakets 2.4.2 „Aktives Quartier - Kooperationen durch Kommunikation/Vernetzung“ wurden Methoden zur systematischen Erfassung der Bedarfe und Vorstellungen unterschiedlicher Nutzergruppen (z. B. Bewohnerinnen und Bewohner, lokale Akteure, Verwaltung) entwickelt und angewendet. Die wissenschaftliche Fragestellung zielt darauf ab, wie sich die verschiedenen Perspektiven und Bedarfe der zukünftigen Nutzerinnen in die Entwicklung und Ausgestaltung der Quartiersbausteine integrieren lassen, um eine hohe Nutzerakzeptanz, soziale Nachhaltigkeit sowie ökologische Wirksamkeit zu erreichen.

Die Aufgabenstellung umfasste sowohl qualitative Interviews und Fokusgruppen mit unterschiedlichen Stakeholdern als auch die Durchführung quantitativer Erhebungen. Darüber hinaus wurden die ermittelten Anforderungen mit den geplanten Maßnahmen des Quartiers rückgekoppelt, um Empfehlungen für eine nutzerzentrierte Weiterentwicklung zu geben. Der Fokus lag dabei auf der Identifikation zukünftiger Nutzerbedarfe, der Schaffung tragfähiger Beteiligungsstrukturen, der Formulierung eines übergeordneten Leitbildes für das Quartier sowie der Konzeption eines operativen Quartiersmanagements. Ziel war es, fundierte Erkenntnisse über soziale, funktionale und ökologische Bedarfe zu gewinnen, die eine anwendungsnahe und übertragbare Grundlage für die Quartiersplanung schaffen.

II.1.9.1 Ziel

Das Arbeitspaket 2.4.2 verfolgte das übergeordnete Ziel, sozialwissenschaftliche Erkenntnisse für die Entwicklung eines nutzerzentrierten, resilienten und klimaneutralen Stadtquartiers bereitzustellen. Im Mittelpunkt stand die systematische Integration von Perspektiven potenzieller Nutzergruppen in den Planungs- und Entwicklungsprozess des Pfaff-Quartiers. Dabei wurden die Ergebnisse aus den Erhebungen und Analysen insbesondere bei den Planungen in den Bereichen Energie, IKT und Mobilität

einbezogen. Dies sollte sicherstellen, dass zentrale Anforderungen an Nutzung, Akzeptanz, soziale Nachhaltigkeit und funktionale Qualität im künftigen Quartier verankert werden. Weiterhin wurde ein Quartiersmanagementmodell entwickelt, das die nachhaltige Umsetzung und langfristige Begleitung der Quartiersentwicklung sicherstellt.

Konkret wurden folgende Ziele verfolgt:

- Identifikation zukünftiger Bedarfe verschiedener Zielgruppen (Bewohnerinnen und Bewohner, Gewerbetreibende, lokale Institutionen).
- Entwicklung tragfähiger Beteiligungsstrukturen zur langfristigen Einbindung relevanter Akteure.
- Erarbeitung eines Leitbildes als Orientierung für die quartiersbezogene Planung, Kommunikation und Identitätsbildung.
- Konzeption eines operativen Quartiersmanagements, das langfristig Prozesse steuert, Kommunikation fördert und den sozialen Zusammenhalt unterstützt.
- Ableitung übertragbarer Erkenntnisse und Methoden für die Entwicklung nachhaltiger, partizipativer Stadtquartiere über das Pfaff-Areal hinaus.

Die genannten Ziele sind in die Ausarbeitung folgender Meilensteine eingeflossen:

Tabelle II-40: Meilensteine des AP 2.4.2 Aktives Quartier – © IfaS

Meilensteinbezeichnung		Titel
M1	03/2019	Abschluss der Bedarfsanalyse (Partizipation der Endnutzer im Rahmen von Experteninterviews, Umfragen etc.) / Handout und Präsentation
M2	06/2021	Empfehlungen zur Integration von Wohn- und Wohnumfeldbedürfnissen in die Quartiersplanung (Objektebene)
M3	- entfällt	
M4	12/2020	Zielfindungsworkshop zum Quartiersmanagementkonzept (AP 2.4.2.5)
M5	12/2024	Fertigstellung Quartiersmanagementkonzept

Ursprünglich waren im Arbeitspaket außerdem folgende weitere Meilensteine vorgesehen:

- M2 (alt): Workshop zur Diskussion des 1. Planungsentwurfs – Reflexion vor dem Hintergrund der Endnutzerbedürfnisse (wurde entsprechend dem Titel - siehe Tabelle II-38 - geändert)
- M3 (alt): Abschluss der Online-Partizipation / Workshop zur Integration der Endnutzerperspektive

Die ursprünglichen Meilensteine 2 und 3 wurden jedoch als redundant erachtet, da die vorgesehene Zielgruppe – die Endnutzer – bereits umfassend im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens beteiligt wurde. Die Beteiligung erfolgte mittels Offenlage aller relevanten Unterlagen des Bebauungsplanverfahrens (B-Plan, Festsetzungen, Gestaltungshandbuch, Solar- und Stellplatzsatzung, etc.) bei der die

Öffentlichkeit aufgefordert wurde, Anregungen und Stellungnahmen bei der Planungsträgerin einzureichen. Die durch das IfaS entwickelten technischen Anforderungen, relevante gesetzliche Regelungen und innovative Ansätze der Mobilitätsplanung flossen direkt in die Festsetzungen des B-Plans, in das Gestaltungshandbuch sowie in die weiteren verbindlichen Unterlagen des Bebauungsplanverfahren ein und waren somit ebenfalls Teil der Öffentlichkeitsbeteiligung. Darüber hinaus hat die Pfaff-Areal-Entwicklungsgesellschaft mbH (PEG) einen Beteiligungsprozess organisiert, wie z. B. regelmäßige Führungen und Veranstaltungen (Tag der offenen Tür). Die Ergebnisse und Empfehlungen aus dieser Beteiligung bildeten bereits die Grundlage des Kriterienkatalogs für die Planungsgemeinschaft Astoc|MESS, welche mit der Bebauungsplanentwicklung beauftragt war. Darüber hinaus arbeitet die PEG mit einem Anwohnerbeirat.

Eine weitere Beteiligung auf städtischer Ebene wurde daher als nicht zielführend erachtet. Zudem wurde deutlich, dass bestimmte Anforderungen der Endnutzer – insbesondere zur technischen Ausstattung wie Smart Home – von der städtischen Planung nicht abgedeckt werden können. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, die identifizierten Bedarfe in die privatwirtschaftliche Objektplanung zu übertragen. Der neue Meilenstein M2 „Empfehlungen zur Integration von Wohn- und Wohnumfeldbedürfnissen in die Quartiersplanung (Objektebene)“ zielt daher darauf ab, diese Anforderungen über die Bebauungsplanung hinaus in konkrete Bauprojekte zu integrieren.

Die Ergebnisse aller Meilensteine flossen iterativ in die planerische und konzeptionelle Weiterentwicklung des Pfaff-Quartiers ein und bildeten eine zentrale Grundlage für die sozialwissenschaftliche Begleitforschung innerhalb des Reallabors.

II.1.9.2 Methodik

Die Methodik des Arbeitspakets 2.4.2 stützte sich auf einen integrierten, mehrstufigen Forschungs- und Beteiligungsprozess, der sozialwissenschaftliche Datenerhebung mit planerischer Praxis verzahnte. Im Sinne eines Reallabor-Ansatzes wurden empirische Untersuchungen, partizipative Formate und konzeptionelle Entwicklungen iterativ miteinander verbunden. Ziel war es, zentrale Bedarfe und Erwartungen zukünftiger Nutzerinnen und Nutzer frühzeitig zu erfassen und diese systematisch in die Entwicklung des Quartiers einzubringen. Die methodische Herangehensweise orientierte sich an aktuellen Konzepten der integrierten Stadtentwicklung sowie des Transformations- und Partizipationsmanagements.

II.1.9.2.1 Bedarfsanalyse potenzieller Nutzergruppen

Im ersten Schritt wurde eine umfassende Bedarfsanalyse durchgeführt. Diese zielte darauf ab, die Anforderungen und Erwartungen potenzieller Endnutzer im Hinblick auf Wohn-, Arbeits- und Freizeitbedürfnisse im zukünftigen Quartier zu ermitteln. Parallel dazu wurde die Ausgangslage im Pfaff-Quartier

systematisch erhoben – einschließlich einer Markt- und Standortanalyse, der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie eines Screenings des städtebaulichen Rahmenplans.

Im Rahmen eines interdisziplinären Stakeholder-Workshops wurden zudem zentrale Akteursgruppen identifiziert, deren Perspektiven im weiteren Verlauf berücksichtigt wurden. Die quantitative Hauptmethode war ein standardisierter Online-Fragebogen, der in enger Abstimmung mit der Arbeitsgruppe Sozialwissenschaftliche Begleitung (u. a. Fraunhofer ISE, Hochschule Kaiserslautern) entwickelt wurde. Der Fragebogen umfasste Themenblöcke zu Wohnwünschen, Anforderungen an das Wohnumfeld sowie Mobilitätsverhalten und -bedürfnissen. Ergänzend wurden sozioökonomische Merkmale wie Wohnsituation, Haushaltsgröße, Einkommen und Beschäftigungsverhältnis abgefragt. Der Fragebogen wurde insbesondere an potenzielle Nutzergruppen wie Studierende und Mitarbeitende der Hochschule Kaiserslautern adressiert. Die Ergebnisse zeigen unter anderem:

- ein ausgeprägtes Interesse an Eigentum (EFH/ZFH), großflächigem Wohnraum (>100 m²) und guter digitaler Ausstattung (v. a. Internet),
- eine hohe Relevanz kurzer Wege zum Arbeitsplatz, zur Grünfläche sowie zu Nahversorgern,
- klare Anforderungen an die Gestaltung des öffentlichen Raums (Sitzgelegenheiten, Beleuchtung, Sauberkeit),
- eingeschränkte Nutzung von Sharing-Angeboten, aber Offenheit für Verbesserungen im ÖPNV und Mobilitätsbudget-Modelle.

Zusätzlich wurde die Zielgruppe hinsichtlich ihres Mobilitätsverhaltens, ihres Interesses an klimafreundlichen Lösungen sowie ihrer Umzugsbereitschaft im Kontext des Pfaff-Quartiers analysiert (Cluster-Analyse). Eine ausführliche Auswertung der Umfrageergebnisse ist im Bericht „Abschluss der Bedarfsanalyse – Partizipation der Endnutzer im Rahmen von Experteninterviews und Umfragen“ dokumentiert.⁵⁹

Flankierend wurde eine partizipative Beteiligungsform am „Tag der offenen Tür“ (23.06.2019) durchgeführt. Besucher konnten dabei auf einem Poster ihre Ideen und Anregungen zu Leitbildthemen einbringen. Die dort erhobenen qualitativen Rückmeldungen wurden gemeinsam mit den quantitativen Umfrageergebnissen analysiert und für weitere Planungsprozesse aufbereitet.

⁵⁹ Vgl. Dellbrügge, Mona und Anton, Thomas (2021): Abschluss der Bedarfsanalyse, Partizipation der Endnutzer im Rahmen von Experteninterviews und Umfragen, EnStadt: Pfaff, Meilenstein 1, Ifas, 04.06.2021

II.1.9.2.2 Entwicklung eines Leitbildes und Rückkopplung in die Planung

Die aus den verschiedenen Erhebungsformaten gewonnenen Erkenntnisse flossen unmittelbar in die Formulierung eines Quartiersleitbildes⁶⁰ ein. Dieses fungierte als normativer Orientierungsrahmen für den städtebaulichen Wettbewerb (Freiraumplanung) und wurde gezielt gegenüber aktuellen Planungsständen gespiegelt. Darüber hinaus wurden die Erkenntnisse im Dialog mit dem Stadtplanungsamt aufbereitet und potenziellen Investoren aus dem Wohnungs- und Immobilienbereich im Rahmen von Präsentationen (Poster, PowerPoint) zur Verfügung gestellt.

II.1.9.2.3 Konzeption eines operativen Quartiersmanagements

Ein zentraler Bestandteil des Arbeitspakets 2.4.2 war die Entwicklung eines innovativen Quartiersmanagementkonzepts, das über klassische sozialräumliche Ansätze hinausgeht und gezielt technische, ökologische und kommunikative Aspekte in den Blick nimmt. Ziel war es, eine dauerhafte Struktur zu schaffen, die die Umsetzung der im Reallabor entwickelten Konzepte zur Klimaneutralität praktisch unterstützt und gleichzeitig die Lebensqualität im Quartier sichert.

Zur Konzeptentwicklung wurde ein interdisziplinär besetzter Zielfindungsworkshop mit Vertretern aus Wissenschaft, Verwaltung und Planung durchgeführt. Dabei wurden Anforderungen, Handlungsfelder und konkrete Maßnahmen für das zukünftige Quartiersmanagement erarbeitet. Das methodische Vorgehen umfasste:

- Auswertung bestehender Managementansätze (z. B. Soziale Stadt, KfW, Klimaschutzkonzepte),
- Diskussion und Erweiterung klassischer QM-Ziele um Elemente wie technische Infrastrukturen, IKT-Anwendungen, Mobilitätssysteme und Energieversorgung,
- Erstellung von 20 Maßnahmenblättern, die nach Themenfeldern (z. B. Information, Betrieb, Forschung, Nutzerfeedback) systematisiert wurden,
- Nutzung digitaler Tools (Mentimeter) zur Erfassung und Priorisierung von Anforderungen,
- Abstimmung der Ergebnisse mit städtischen Akteuren (z. B. PEG, Stadtverwaltung).

Alle Ergebnisse des Zielfindungswshops können dem Meilensteinbericht „Zielfindungsworkshop zum Quartiersmanagementkonzept“ entnommen werden.⁶¹ Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für das

⁶⁰ Leitbild Pfaff-Quartier: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/kommunale-quartiersentwicklung/leitbild-pfaff-quartier>

⁶¹ Vgl. Dellbrügge, Mona und Anton, Thomas (2021): Zielfindungsworkshop zum Quartiersmanagementkonzept, Meilensteinbericht zu Meilenstein Nr. 3, IfaS, 14.07.2021

finale Quartiersmanagementkonzept, das eine praxisorientierte Struktur zur Steuerung, Kommunikation und Verstetigung der Quartiersentwicklung im Pfaff-Quartier vorsieht.

II.1.9.3 Forschungsergebnisse

Das Arbeitspaket 2.4.2 „Aktives Quartier – Kooperationen durch Kommunikation/Vernetzung“ leistete einen maßgeblichen Beitrag zur sozialwissenschaftlich fundierten, nutzerzentrierten Entwicklung des Pfaff-Quartiers. Im Mittelpunkt standen die systematische Erhebung und Analyse zukünftiger Bedarfe, die partizipative Formulierung eines Quartiersleitbildes sowie die Konzeption eines tragfähigen Quartiersmanagements. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse fassen die inhaltliche Arbeit und die Meilensteine des Arbeitspakets in prägnanter Form zusammen.

II.1.9.3.1 Zielgruppen- und Bedarfsanalyse: Nutzerperspektiven verstehen

Basierend auf einer Markt- und Standortanalyse sowie einem initialen Stakeholder-Workshop wurde eine präzise Zielgruppendefinition vorgenommen. Beim Pfaff-Quartier handelt es sich um ein Innenstadtquartier, in dem insbesondere Medizinische Versorgung, Forschung, Gewerbe und – eher nachrangig – Wohnen eine Rolle spielen werden. Als primäre Adressaten wurden daher neben Akteuren aus dem Gesundheitswesen und der Kreativwirtschaft insbesondere Mitarbeitende von Forschungs- und Bildungseinrichtungen in Kaiserslautern identifiziert. Diese Zielgruppe vereint hohe Relevanz für den Standort mit einer guten methodischen Erreichbarkeit.

Im Rahmen der Nutzerbedarfsanalyse wurde eine Online-Befragung zu Wohn-, Freizeit- und Mobilitätsbedürfnissen⁶² unter rund 1.100 Mitarbeitenden von TU Kaiserslautern, Hochschule Kaiserslautern, DFKI und Fraunhofer IESE durchgeführt. Diese Zielgruppe vereint hohe Relevanz für den Standort mit einer guten methodischen Erreichbarkeit und einem typischen sozioökonomischen Profil (akademischer Hintergrund, gehobenes Einkommen, Arbeitsort in Kaiserslautern). Mit einer Rücklaufquote von ca. 10 % wurden zentrale Anforderungen an das Quartier erfasst:

- Wohnbedürfnisse: Präferenz für Eigentum, größere Wohnflächen und moderne Ausstattung, insbesondere gute Internetverbindung, Balkon/Terrasse und geräumige Küche.
- Wohnumfeld: Wunsch nach fußläufig erreichbarer Grünfläche, attraktiver öffentlicher Raum, Versorgungssicherheit (Bäcker, Supermarkt) und Nähe zum Arbeitsplatz.

⁶² Lauerburg, Kerstin (2019): Ergebnisse der Online-Umfrage zu Wohn-, Freizeit und Mobilitätsbedürfnissen: Anlage zum Zwischenbericht 01.01.2019 - 30.06.2019 AP 2.4.2. Zwischenberichte EnStadt: Pfaff.

- Mobilität: hohe Abhängigkeit vom privaten PKW, jedoch Offenheit gegenüber multimodalen Konzepten bei besserer Infrastruktur; Beteiligungsbereitschaft an Mobilitätsbudgets vorhanden.
- Hemmnisse: Schwächen in Informationsangeboten zu Sharing-Services und zu eingeschränkter Nutzung digitaler Angebote.

Ergänzt wurde die Befragung durch eine qualitative Nutzerbeteiligung am Tag der offenen Tür, die insbesondere Hinweise auf Themenwünsche und allgemeine Erwartungen an das Quartier lieferte. Alle Ergebnisse der Zielgruppen- und Bedarfsanalyse flossen als wichtige Planungsgrundlage in nachgelagerte Arbeitspakete (u. a. Freiraumplanung, Energie- und Mobilitätskonzepte) ein und wurden Investoren in geeigneter Form (Präsentationen⁶³, Poster, etc.) aufbereitet zur Verfügung gestellt.

Die vollständige Auswertung der Nutzerbedarfsanalyse ist im Bericht zum Meilenstein „Abschluss der Bedarfsanalyse – Partizipation der Endnutzer“ dokumentiert.⁶⁴

⁶³ Vgl. Präsentation_AP 2.4.2_2_RLZ Investoren-Beratung IfaS - <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

⁶⁴ Vgl. Dellbrügge, Mona und Anton, Thomas (2021): Abschluss der Bedarfsanalyse, Partizipation der Endnutzer im Rahmen von Experteninterviews und Umfragen, EnStadt:Pfaff, Meilenstein 1, IfaS, 04.06.2021

Link: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/files/materialien/2.4.2-m1-bedarfsanalyse.pdf>

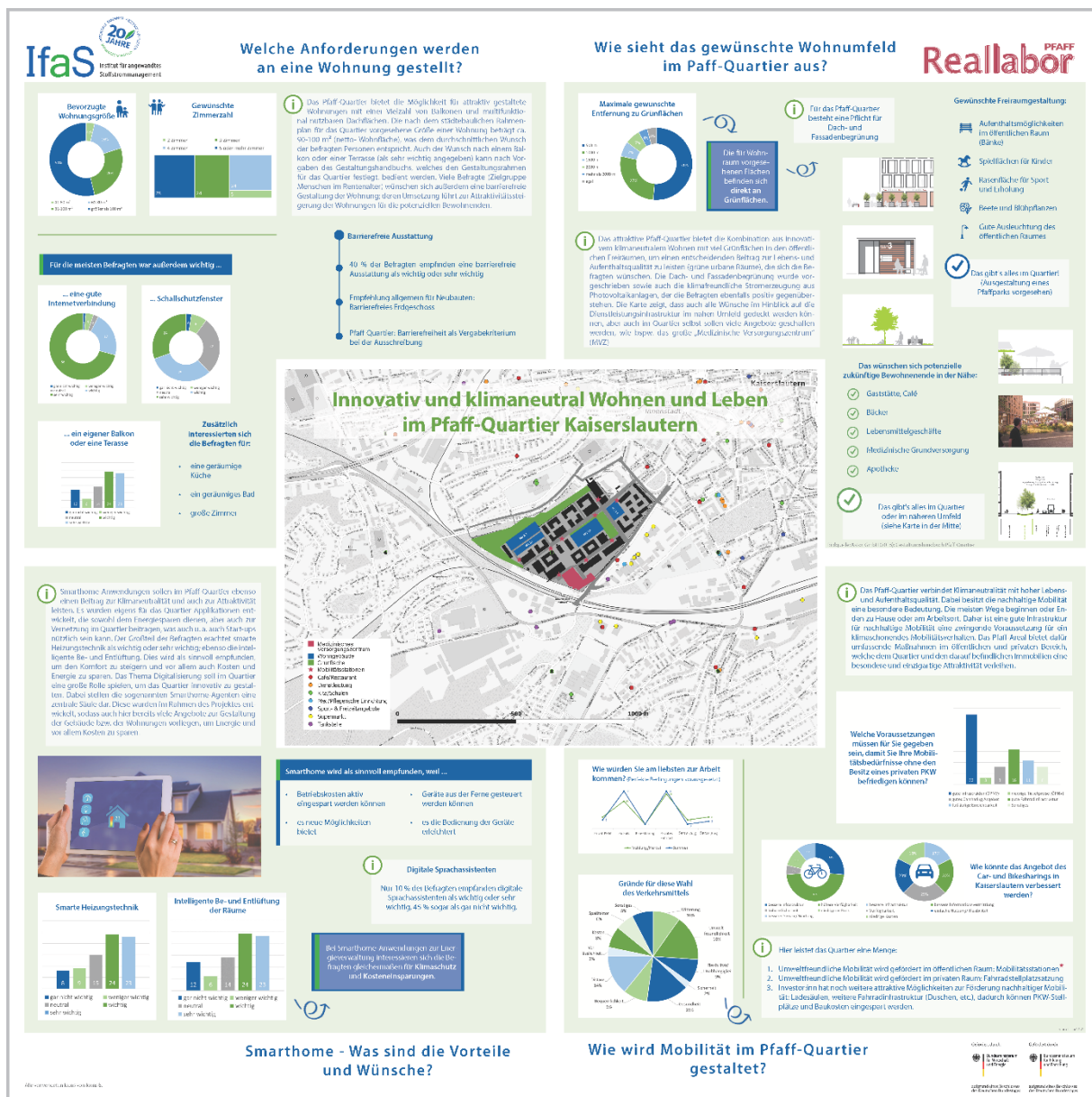


Abbildung II-56: Zusammenfassende Darstellung der Nutzerbedürfnisse (Posterformat), adressiert an potenzielle Investoren aus dem Wohnungsbau- und Immobiliensektor sowie zur Nutzung in der Bürgerinformation und Öffentlichkeitsarbeit.⁶⁵ – © IfaS

⁶⁵ Vgl. Poster_AP 2.4.2_Nutzerbedürfnisse - <https://pfaqquartier-klimaneutral.de/>

II.1.9.3.2 Leitbildentwicklung: Gemeinsame Vision

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Bedarfsanalyse wurde ein Quartiersleitbild⁶⁶ entwickelt, das als normativer und strategischer Rahmen für die Planung, Kommunikation und Entwicklung des Pfaff-Quartiers dient. Federführend durch das IfaS wurden für das Leitbild des Pfaff-Quartiers vier inhaltliche Säulen formuliert:

- Gebäude: Architekturqualität, Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energien.
- Energie: Klimaneutralität, Eigenversorgung, Energieintegration.
- Mobilität: Ressourcenschutz, emissionsarme Mobilität, Aufenthaltsqualität.
- Beteiligung und Bildung: transparente Kommunikation, Partizipation, Umweltbildung.

Dieses Leitbild wurde in Abstimmung mit relevanten städtischen Akteuren in die städtebaulichen Planungsprozesse eingebracht (z. B. Rahmenplan, Bebauungsplan, Satzungen, Gestaltungshandbuch) und beeinflusste somit maßgeblich die konzeptionelle Entwicklung in frühen Planungsphasen.

II.1.9.3.3 Beteiligung und Rückkopplung in die Planung

Ein wesentliches Ergebnis war die Institutionalisierung von Beteiligungsstrukturen, etwa durch:

- die Durchführung von Workshops und moderierten Abstimmungsprozessen im Konsortium,
- die Bündelung und Weiterleitung von Anregungen aus AP 2.4.2 an das Stadtplanungsamt,
- die Koordination einer konsortialen Rückkopplung zu Anforderungen an die Freiraumplanung,
- sowie die Verknüpfung sozialwissenschaftlicher Erkenntnisse mit technischen Konzepten (z. B. Energie, IKT, Mobilität).

Auch wenn einige technische und planerische Entscheidungen (z. B. B-Plan, Energiekonzept) bereits weit fortgeschritten waren, gelang es, Teilaspekte aus den Nutzererhebungen punktuell einfließen zu lassen, z. B. in Form gestaltungsbezogener Anforderungen an Freiflächen und soziale Infrastrukturen.

⁶⁶ Leitbild Pfaff-Quartier: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/kommunale-quartiersentwicklung/leitbild-pfaff-quartier>

II.1.9.3.4 Quartiersmanagementkonzept

Das im Arbeitspaket entwickelte Quartiersmanagementkonzept versteht sich als zentrale Schnittstelle zwischen den Akteuren im Quartier: Nutzer, Stadtverwaltung, Projektträger, Forschungseinrichtungen und Dienstleister. Es verbindet klassische Aufgabenfelder (z. B. Beteiligung, Information, soziale Integration) mit technischen, wirtschaftlichen und innovationsbezogenen Komponenten, um die ambitionierten Klimaziele des Pfaff-Quartiers dauerhaft zu sichern.

Das Konzept stützt sich auf folgende zentrale Elemente:

Ziele:

- Schaffung einer kooperativen, netzwerkorientierten Infrastruktur,
- Etablierung eines dauerhaft sichtbaren Ansprechpartners im Quartier (Quartiersbüro),
- Unterstützung bei technischen Fragestellungen (z. B. IKT, Mobilität),
- Vermittlung von Informationen und Förderwissen,
- kontinuierliche Erfassung von Nutzerbedürfnissen (Monitoring, Feedback),
- Förderung von Vernetzung, Eigeninitiative und Forschung im Quartier.

Organisationsstruktur:

- Zentrale Anlaufstelle im Reallabor-Zentrum, angesiedelt im ehemaligen alten Verwaltungsgebäude,
- Aufbau eines Quartiersnetzwerks für Unternehmen und Institutionen sowie eines Bewohnernetzwerks zur Selbstorganisation der Bürger,
- Rolle des Quartiersmanagements als Moderator, Vermittler und operativer Akteur zwischen Verwaltung, Politik und Zivilgesellschaft.

Maßnahmenkatalog (Auswahl):

- Betrieb und Begleitung einer Dauerausstellung zu Klimaneutralität und Innovation,
- Einrichtung eines Anlaufpunkts für Smart-Home-Fragen und technischen Support,
- Angebote zur Sensibilisierung und Beratung der Nutzenden,
- Initiierung und Begleitung von Forschungsvorhaben im Reallabor-Kontext,
- Identifikation und Akquise von Fördermitteln und Drittmitteln.

Finanzierung:

- Prüfung alternativer Finanzierungsmodelle (z. B. Aufschläge auf Grundstückspreise, Mittel aus der Stellplatzsatzung, Kooperation mit Investoren),
- Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen und politischen Umsetzbarkeit,

- Geplanter Personalaufwand für ein Quartiersmanagement in öffentlicher Trägerschaft.

Zeitplan:

- Konzeptionierung und Implementierung mit Sichtbarmachung des Quartiersmanagements ab Förderende,
- Umsetzungsphase mit schrittweiser Einführung der Maßnahmen und Aufbau der Netzwerke,
- Verstetigungs- und Monitoringphase mit Evaluation, Anpassung und langfristiger Etablierung im Quartier.

Das Konzept versteht sich als Modellansatz für eine neue Generation von Quartiersmanagements, die technische Innovationsfähigkeit, soziale Inklusion und ökologische Nachhaltigkeit gleichwertig berücksichtigt, mit dem Ziel, Klimaneutralität nicht nur technisch zu ermöglichen, sondern auch gesellschaftlich zu verankern.

Eine detaillierte Darstellung der erarbeiteten Maßnahmen, der organisatorischen Struktur sowie der geplanten Umsetzungs- und Finanzierungswege findet sich im Meilensteinbericht zum Quartiersmanagementkonzept im Arbeitspaket 2.4.2, der im Rahmen des Projekts EnStadt:Pfaff erstellt wurde.⁶⁷

II.1.9.3.5 Weiterführende Veröffentlichungen und Verwertung

Vertiefende Auswertungen, konzeptionelle Grundlagen und Visualisierungen sind auf der Projektwebseite abrufbar.⁶⁸ Weitere Ergebnisse sind in Präsentationen, Maßnahmenblättern, Posterbeiträgen und internen Reports dokumentiert und wurden dem Projektträger, der Stadtverwaltung und relevanten Fachöffentlichkeiten (z. B. Investoren, Planungsteams) zugänglich gemacht.

II.1.9.4 Wesentliche Erkenntnisse

Die Ergebnisse des Arbeitspakets 2.4.2 zeigen deutlich, dass der Weg zu einem klimaneutralen Quartier nicht allein durch technische Lösungen zu realisieren ist, sondern maßgeblich von einer frühzeitigen, strukturierten Einbindung der zukünftigen Nutzergruppen abhängt.

⁶⁷ Vgl. Möller, Bernd und Anton, Thomas (2024): Meilensteinbericht zum Quartiersmanagementkonzept, AP 2.4.2 Aktives Quartier, EnStadt:Pfaff, IfaS, 28.10.2024

⁶⁸ www.pfaffquartier-klimaneutral.de/innovationen

II.1.9.4.1 Beitrag zur klimaneutralen Quartiersentwicklung

Die durchgeführten Nutzerbefragungen, Workshops und Leitbildentwicklungen haben einen entscheidenden Beitrag dazu geleistet, die sozialen, kulturellen und funktionalen Anforderungen an ein klimaneutrales Stadtquartier sichtbar zu machen und mit den planerischen, energetischen und mobilitätsbezogenen Zielen zu verzahnen.

Konkret wurde durch das Arbeitspaket erreicht, dass Nutzerbedarfe gezielt erhoben und in Planungsprozesse eingespeist wurden (z. B. über Ausschreibungen für den Freiraumwettbewerb). Des Weiteren wurde ein integriertes Leitbild entwickelt, das nicht nur technische und ökologische, sondern auch soziale Nachhaltigkeitsziele umfasst und ein Konzept für ein dauerhaftes Quartiersmanagement wurde erarbeitet, das auf die langfristige Sicherung der Quartiersziele, einschließlich Klimaneutralität, ausgerichtet ist.

Diese strukturelle, sozialwissenschaftlich fundierte Grundlage schafft Orientierung für künftige Entwicklungsschritte im Pfaff-Quartier und kann als Blaupause für andere urbane Entwicklungsprojekte dienen.

II.1.9.4.2 Herausforderungen und Lösungen

Die Umsetzung des Arbeitspakets 2.4.2 brachte eine Reihe typischer Herausforderungen mit sich, die im Kontext nachhaltiger Quartiersentwicklung als besonders relevant einzuschätzen sind.

Eine zentrale Schwierigkeit bestand in der zeitlichen Asynchronität zwischen der Erhebung der Nutzerbedarfe und den formalisierten Planungsprozessen. Viele städtebauliche und technische Entscheidungen – etwa zum Bebauungsplan, zur Erschließung sowie zum Energie- und Mobilitätskonzept – waren bereits weit fortgeschritten oder abgeschlossen, als erste Ergebnisse der Nutzerbefragung und partizipativen Formate vorlagen. Dadurch war eine direkte Einflussnahme auf zentrale Grundlagenentscheidungen nur eingeschränkt möglich. Diese Herausforderung wurde durch gezielte Rückkopplung gelöst: Erkenntnisse aus der Bedarfsanalyse, insbesondere zu Anforderungen an Freiräume und soziale Infrastruktur, konnten in nachgelagerte Prozesse wie den Freiraumwettbewerb einfließen und dort nutzerorientierte Akzente setzen.

Eine weitere Herausforderung ergab sich aus der Heterogenität der potenziellen Nutzergruppen. Die adressierten Zielgruppen, darunter Mitarbeitende aus Wissenschaft und Forschung, Akteure aus dem Gesundheitswesen sowie Vertreter der Kreativwirtschaft, wiesen sehr unterschiedliche Anforderungen an Wohnen, Mobilität, Infrastruktur und Lebensqualität auf. Um diesen unterschiedlichen Perspektiven gerecht zu werden, wurden sowohl quantitative als auch qualitative Methoden angewandt. Die Ergebnisse der Online-Befragung wurden durch Clusteranalysen differenziert ausgewertet, um

gruppenspezifische Bedarfe präzise identifizieren zu können. Diese differenzierte Herangehensweise ermöglichte es, gezielte Handlungsempfehlungen für einzelne Zielgruppen abzuleiten.

Zudem stellte die Komplexität der Abstimmungsprozesse im Projektkonsortium eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Die Vielzahl beteiligter Institutionen mit jeweils unterschiedlichen fachlichen Schwerpunkten erforderte einen hohen Koordinationsaufwand. Diese Herausforderung wurde durch moderierte Workshops, eine strukturierte Arbeitsgruppenzusammenarbeit sowie klar definierte Zuständigkeiten innerhalb des Arbeitspakets adressiert. So konnte ein effektiver Austausch gewährleistet und die Konsistenz der Ergebnisse sichergestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass diese Herausforderungen nicht nur erfolgreich bewältigt wurden, sondern auch wichtige Lernprozesse für zukünftige Projekte angestoßen haben. Die Erkenntnis, dass Partizipation frühzeitig, prozessorientiert und institutionell eingebettet sein muss, stellt eine der zentralen Lehren aus dem Arbeitspaket 2.4.2 dar. Nur so lassen sich Nutzerinteressen effektiv integrieren und die Akzeptanz sowie die Nachhaltigkeit klimaneutraler Quartiersentwicklungen langfristig sichern.

II.1.9.4.3 Empfehlungen zur Umsetzung und weiterführende Forschungsfragen

Die im Arbeitspaket 2.4.2 gewonnenen Erkenntnisse münden in eine Reihe praxisorientierter Empfehlungen für künftige Quartiersentwicklungen, die auf andere urbane Kontexte übertragbar sind. Zentrale Voraussetzung für den Erfolg ist die systematische, frühzeitige und institutionalisierte Einbindung der späteren Nutzergruppen in die Planung und Entwicklung eines Quartiers.

1. Als besonders wirkungsvoll hat sich zunächst die präzise Definition und gezielte Ansprache relevanter Zielgruppen erwiesen. Bereits zu Projektbeginn wurde durch Standort- und Marktanalysen sowie durch einen Stakeholder-Workshop die Gruppe der Mitarbeitenden aus Wissenschaft und Forschung als besonders geeignet identifiziert. Diese Vorgehensweise ist auch für andere Quartiersentwicklungen empfehlenswert, um den Beteiligungsprozess auf eine realistische und methodisch erreichbare Grundlage zu stellen.
2. Partizipation sollte nicht als einmaliges Ereignis, sondern als iterativer Prozess verstanden und entsprechend konzipiert werden. Die Erfahrung zeigt, dass punktuelle Befragungen ohne Rückkopplung kaum Wirkung entfalten. Stattdessen ist eine kontinuierliche Einbindung nötig, die über verschiedene Formate hinweg – Online-Umfragen, Workshops, Feedbackrunden – tragfähige Kommunikationsstrukturen aufbaut. Diese sollten möglichst früh im Projekt institutionalisiert werden, etwa durch eine Projektbegleitgruppe oder ein übergreifendes Quartiersmanagement (siehe 4.).

3. Die Entwicklung eines Leitbildes hat sich als verbindender und orientierender Rahmen bewährt. Das Pfaff-Leitbild war nicht nur inhaltlicher Impulsgeber, sondern diente auch als Kommunikationsinstrument gegenüber Verwaltung, Politik und Öffentlichkeit. Ein solches Leitbild schafft Klarheit über die Grundprinzipien des Quartiers – etwa Klimaneutralität, soziale Vielfalt oder Nutzerorientierung – und bietet eine Basis für spätere strategische Entscheidungen.
4. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Einführung eines operativen Quartiersmanagements, das die Verstetigung von Beteiligung, Kommunikation und Qualitätssicherung sicherstellt. Gerade in technologisch ambitionierten und langfristig angelegten Vorhaben, wie dem Pfaff-Quartier, braucht es eine dauerhafte Instanz, die zwischen Nutzern, Betreibenden, Verwaltung und weiteren Akteuren vermittelt und deren Bedarfe im Blick behält.

Aus den Erfahrungen ergeben sich auch weiterführende Forschungsfragen, etwa zur Frage, wie partizipative Prozesse noch besser mit formalen Planungsverfahren verzahnt werden können. Insbesondere interessiert, wie gesetzlich normierte Planungsschritte mit flexibleren Beteiligungsformaten kombiniert werden können, ohne den Projektfortschritt zu gefährden. Ebenso ist zu untersuchen, wie digitale Tools (z. B. Plattformen, Apps) Beteiligung niedrigschwellig und effektiv ermöglichen und wie deren Wirkung systematisch erfasst werden kann.

Auch im Bereich des Quartiersmanagements bestehen Forschungsbedarfe:

- Welche strukturellen, personellen und finanziellen Voraussetzungen sind notwendig, um dauerhaft ein effektives Management aufzubauen?
- Wie lässt sich dessen Wirksamkeit im Hinblick auf die Klimaziele, die soziale Integration und die Innovationsfähigkeit eines Quartiers messen?

Die Empfehlungen aus AP 2.4.2 verdeutlichen insgesamt, dass eine erfolgreiche, klimaneutrale Quartiersentwicklung weit mehr als baulich-technische Planung erfordert. Sie basiert auf Dialog, Transparenz und dem aktiven Einbinden von Menschen – von Anfang an.

II.1.10 Zuarbeit bei anderen Partnern und Arbeitspaketen

Eine Beteiligung des IfaS bei übergeordneten Projekt-AP und bei AP die im Verantwortungsbereich anderer Projektpartner liegen ist ebenfalls erfolgt. Aufzuführen sind hier insbesondere: 0.2 Konsortium: Treffen und Reisen, 0.3 Quartiersentwicklung-Prozessbegleitung für Professionals, 0.4 Monitoring Gesamtprojekt und Auswertung Reallabor, 1.1.1 Integriertes Planungs- und Monitoringtool Quartiersenergiesystem, 1.1.4 IKT-Konzept 2029, 1.2.1 Postindustrielle Quartierstypologien der Energieeffizienten Stadt, 2.1.2 Agentenbasiertes Quartiers-Energiemanagementsystem, 2.1.3 Smart Grid (Strom und Daten), 2.1.4 Optimierung dezentrale und zentrale Stromspeicher, 2.1.5 PV-Systeme im öffentlichen Raum, 2.1.6 Smarte Wärme- und Kälteversorgung, 2.1.8 Reallabor Zentrum, 2.2.2 Innovative Solarnutzung im Alten Verwaltungsgebäude, 2.3.3 Ladeinfrastruktur und Bidirektionales Laden für E-Fahrzeuge, 2.4.1 Sozioökonomische Begleitforschung Reallabor Pfaff-Quartier.

Im Folgenden sind Zuarbeiten des IfaS zu Arbeitspaketen unter Leitung anderer Projektpartner dargestellt. Dabei erfolgt eine Konzentration auf die Darstellung der Arbeiten rund um die Entwicklung des Reallabor-Zentrums und auf die Zuarbeit zu den im 1. Änderungsantrag neu formierten Arbeitspaketen 3.1 und 3.2. Bei allen drei AP zeichnet das Fraunhofer ISE als AP-Leitung.

II.1.10.1 AP 1.1.2 Fortschreibung des Quartiersenergiekonzeptes

Nach Abschluss des Quartiersenergiekonzeptes hinsichtlich der weiterführenden Untersuchungen (Machbarkeitsstudie, Fachplanungen, Betreiberkonzept etc.) folgte die Fortschreibung gemäß AP 1.1.2.8. Das Unter-Arbeitspaket hatte die wissenschaftliche Begleitung der Implementierung verschiedener Arbeitspakete (u. a. AP 2.1.3, AP 2.1.4, AP 2.1.6) sowie des Monitorings (AP 1.1.1) zum Ziel.

Es war somit erforderlich insbesondere die Bedarfs- und Potenzialanalysen, aber auch in Teilen die Wärmeversorgungsvarianten auf geänderte Rahmenbedingungen regelmäßig anzupassen. Nach Abschluss des Quartiersenergiekonzeptes gab es beispielsweise zahlreiche Änderungen an der Rahmen- und Bebauungsplanung, an gesetzlichen Vorgaben (Wechsel von EnEV zu GEG), Änderungen von Förderprogrammen, Änderungen von Gebäudenutzungen im Quartier, Konkretisierung von Baufeldern etc. Zwischen Anfang 2020 und Ende 2024 wurden die Bedarfs- und Potenzialanalysen stetig angepasst, den Projektpartnern für ihre Bedarfe zur Verfügung gestellt und schließlich für die Erstellung der Treibhausgasbilanz des Quartiers herangezogen.

II.1.10.2 AP 2.1.2/AP 2.2.4 Energiemanagement-Systeme und Smart-Home

Im Zuge der Konzeptentwicklung fanden zahlreiche Abstimmungstermine und Arbeitstreffen statt. Unter anderem wurden die Anforderungen und Ausgestaltung der EMS-Agenten besprochen und entsprechende Prototypen / Vorlagen zusammen mit den Projektpartnern entwickelt. Das IfaS entwickelte zusammen mit den Partnern einen Fragebogen zum Thema Smart Home (Nutzeranforderungen und -wünsche, Bedienbarkeit, Ableitung von Nutzergruppen), welcher am Tag der offenen Tür im Quartier (23.06.2019) von ca. 50 potenziellen Quartiersbewohnern, Investoren und Nutzern ausgefüllt wurde. Das IfaS wertete die Fragebögen aus und stellte die Ergebnisse dem Konsortium vor. Die Ergebnisse flossen in die Konzeptentwicklung relevanter Arbeitspakete ein.

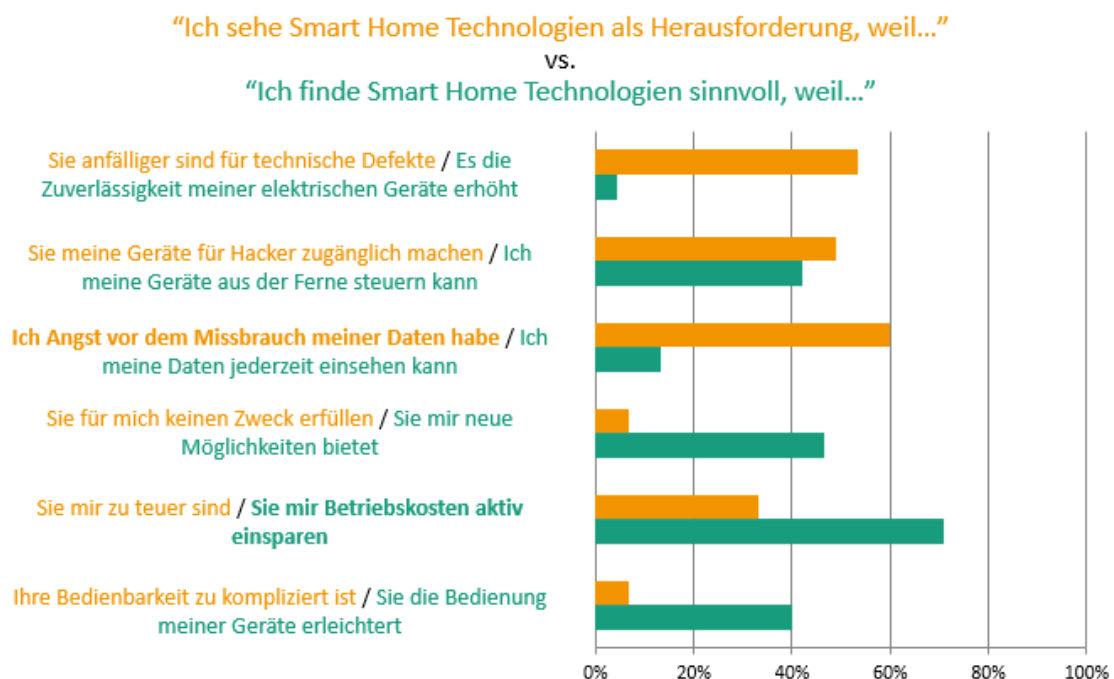


Abbildung II-57: Auszug Ergebnisse der Umfrage - © IfaS

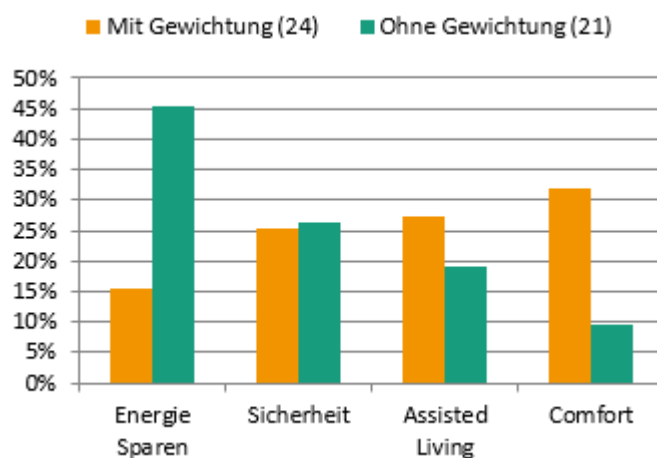


Abbildung II-58: Auszug Ergebnisse der Umfrage - © IfaS

So konnte beispielsweise ermittelt werden, dass den Nutzern die Themen Sicherheit, Komfort und Assisted Living etwa doppelt so wichtig sind, wie das Einsparen von Energie bzw. Geld. Auch konnte ermittelt werden, dass insbesondere die Themen Datenschutz / Datenmissbrauch sowie die Zuverlässigkeit und Bedienbarkeit des Systems die wichtigsten Aspekte darstellen. Die Ergebnisse der Umfrage flossen in den Meilensteinbericht M1 im Arbeitspaket 2.2.4 „Smart Home Anwendungen“ ein.

II.1.10.3 AP 2.1.8 Reallaborzentrum (Zuarbeiten bei anderen Partnern)

Die fachliche Leitung des Arbeitspakets oblag dem Fraunhofer ISE. Die Umsetzung erfolgte in enger Abstimmung mit allen beteiligten Projektpartnern. Ein bedeutender Partner im Rahmen dieses Arbeitspakets war das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) der Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld, das wesentliche Beiträge zur inhaltlichen und konzeptionellen Gestaltung des Reallaborzentrums sowie der Ausstellung lieferte.

Der folgende Bericht stellt nach der Vorstellung des Arbeitspaketes im nächsten Absatz die Ziele, die Umsetzung, Herausforderungen und die erreichten Ergebnisse des Arbeitspakets mit besonderem Fokus auf die Arbeiten des IfaS dar.

Das Arbeitspaket 2.1.8 (AP 2.1.8) des Forschungsprojekts EnStadt:Pfaff befasste sich mit der Einrichtung eines Reallaborzentrums (heute als Reallabor-Infozentrum bezeichnet) im Pfaff-Quartier in Kaiserslautern. Das Zentrum diente als Demonstrations- und Forschungsplattform für innovative Konzepte zur klimaneutralen Stadtentwicklung. In einem interaktiven Umfeld wurden wissenschaftliche Erkenntnisse, technologische Innovationen und partizipative Formate umgesetzt und unterschiedlichen Zielgruppen zugänglich gemacht. Das Reallaborzentrum wurde ursprünglich im sogenannten „neuen Kesselhaus“ geplant, einem in die Jahre gekommenen Bestandsgebäude, welches aus der Nutzung gefallen ist und aufgrund seiner Konstruktionsweise und Pfaff-Gelände typischen Erscheinung erhalten werden sollte. Aufgrund unerwarteter statischer Probleme im Untergrund mussten jedoch sämtliche Planungen – darunter das „Haus-in-Haus“-Konzept, das Raum- und Energiekonzept, Analysen zur Photovoltaik-Nutzung sowie die geplante Ausstattung – vollständig verworfen werden. In der Folge wurde das Untergeschoss des Alten Verwaltungsgebäudes als neuer Standort ausgewählt. Dieses wurde speziell für die Anforderungen des Reallaborzentrums umfassend saniert und technisch ausgestattet. Das Reallaborzentrum umfasst heute ein Besucherzentrum mit interaktiver Ausstellung sowie eine Quartierswerkstatt zur Entwicklung und Erprobung von Planungswerkzeugen. Parallel dazu wurden im Rahmen weiterer Arbeitspakete eine Quartiersenergiezentrale und ein E-Mobil- und Speicherlabor aufgebaut, die ursprünglich im Antrag ebenfalls unter AP 2.1.8 verortet, später jedoch getrennt umgesetzt wurden. Die Quartiersenergiezentrale, die als eigenständiger Baustein realisiert wurde, integriert auch das Batterielabor und

demonstriert moderne Systeme der Energieversorgung und -speicherung. Ziel des Reallaborzentrums war es, eine Schnittstelle zwischen Forschung, Industrie, Verwaltung und Bürgerbeteiligung zu schaffen, um nachhaltige Konzepte unter realen Bedingungen zu testen, weiterzuentwickeln und öffentlich zu vermitteln.

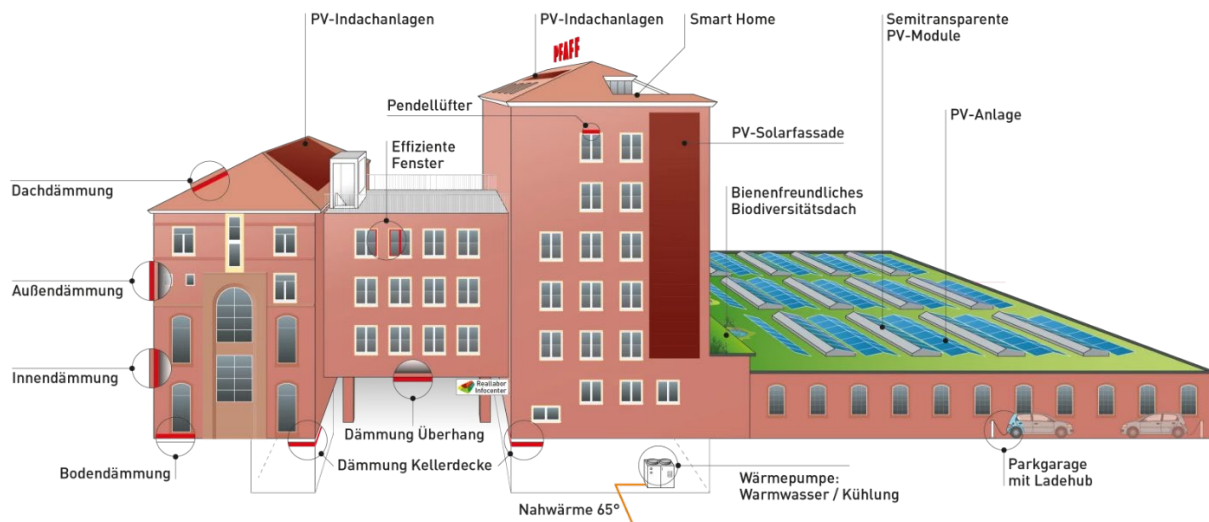


Abbildung II-59: Altes Verwaltungsgebäude mit dem Reallabor-Infozentrum im Untergeschoss - © Triolog/EnStadt:Pfaff

Die Aufgaben des AP 2.1.8 beinhalteten die Entwicklung und Umsetzung eines Ausstellungskonzepts, das interaktive Inhalte zu nachhaltiger Stadtentwicklung, Energieversorgung und Mobilität vermittelte. Digitale Technologien wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) wurden in die Ausstellung integriert, um wissenschaftliche Inhalte anschaulich darzustellen. Die Quartierswerkstatt diente als Plattform für Wissenschaftler, Stadtplaner, Investoren und Bürger zur praktischen Anwendung und Evaluierung von Planungsinstrumenten. Ein weiteres Ziel war ursprünglich die Demonstration innovativer Mobilitäts- und Energiesysteme durch die Einrichtung eines E-Mobil- und Speicherlabors. Diese Bausteine wurden zwar im ursprünglichen Antrag unter AP 2.1.8 geführt, jedoch später in eigenen Arbeitspaketen bearbeitet und an anderer Stelle im Quartier umgesetzt. Zudem wurde ein Schwerpunkt auf Bürgerbeteiligung und den Fachdialog gelegt, etwa durch Workshops, Schulungen und interaktive Formate, die es verschiedenen Akteursgruppen ermöglichten, aktiv an der Gestaltung nachhaltiger Lösungen mitzuwirken. Ergänzend zum Ausstellungskonzept und der Quartierswerkstatt wurde ein Büro für das Quartiersmanagement eingerichtet. Dieses wird von der Stadtverwaltung und den Projektpartnern innerhalb des Anschlussvorhabens EnStadt:Pfaff 2 für das Quartiersmanagement genutzt und dient sowohl als zentrale Anlaufstelle für Interessierte als auch für das Management des Wissenstransfers zwischen Forschung, Verwaltung und unterschiedlichsten Zielgruppen innerhalb des Stadtgebiets, der Region und Bundesweit.

Die wissenschaftliche Fragestellung des Arbeitspakets fokussierte sich darauf, wie innovative Lösungen für eine klimaneutrale Stadtentwicklung in realen Szenarien demonstriert, getestet und evaluiert werden können. Insbesondere wurde untersucht, wie sich nachhaltige Technologien auf die Akzeptanz und das Verhalten der Bürger auswirken, welche digitalen Vermittlungsmethoden besonders effektiv sind und wie urbane Energie- und Mobilitätslösungen optimiert werden können.

Die Motivation für das Arbeitspaket lag in der Notwendigkeit, innovative Stadtentwicklungskonzepte zur Erreichung der Klimaziele zu entwickeln, praxisnahe Demonstrationen nachhaltiger Technologien anzubieten sowie einen interaktiven Lern- und Experimentierraum für Wissenschaft, Verwaltung und Bürger zu schaffen.

II.1.10.3.1 Ziel

Das Arbeitspaket 2.1.8 hatte das Ziel, ein Reallaborzentrum im Pfaff-Quartier aufzubauen, das als zentrale Anlaufstelle für die Demonstration, den Wissenstransfer und die Partizipation im Kontext nachhaltiger Stadtentwicklung dient. Die zentralen Ziele des AP 2.1.8 sind breit gefächert und decken mehrere Schwerpunkte ab:

- Errichtung eines Reallaborzentrums: Ziel war die Schaffung eines zentralen Ortes für den interdisziplinären Austausch zwischen Wissenschaftlern, Stadtplanern, Investoren und Bürgern. Dieses Zentrum sollte als Innovationshub für nachhaltige Stadtentwicklung dienen und Synergien zwischen unterschiedlichen Akteursgruppen ermöglichen.
- Aufbau einer modularen Ausstellung: Die Ausstellung im Reallaborzentrum sollte ein dynamisches und interaktives Informationsangebot bieten, das verschiedene Nachhaltigkeitsthemen auf Quartiersebene verständlich und erlebbar macht. Die Module sollten flexibel gestaltet sein, um kontinuierlich neue Forschungsergebnisse und technologische Innovationen integrieren zu können.
- Demonstration und Erprobung innovativer Konzepte: Im Zentrum der Bemühungen stand die Vorstellung und Evaluierung neuer Lösungen für Energieversorgung, Mobilität, Gebäude und der Schnittstelle zwischen Menschen und IKT. Hierzu sollten innovative Technologien nicht nur ausgestellt, sondern auch im realen Betrieb getestet werden.
- Bürgerbeteiligung und Fachdialog: Das Reallabor soll nicht nur eine Informationsplattform sein, sondern auch durch verschiedene Formate wie Workshops, Führungen und Diskussionsrunden aktiv Bürger und Fachleute einbinden.

- Integration digitaler Medien und Augmented Reality (AR): Ein zentrales Ziel war die Entwicklung interaktiver Vermittlungsmethoden, insbesondere durch digitale Technologien wie Augmented Reality, die es ermöglichen, technische Konzepte immersiv und verständlich zu präsentieren.
- Wissenschaftliche Begleitung und Evaluierung: Neben der Demonstration soll das Reallaborzentrum als Feld für wissenschaftliche Untersuchungen genutzt werden, um Erkenntnisse über die Akzeptanz und Wirksamkeit der gezeigten Lösungen zu gewinnen.

Die Meilensteine des Arbeitspakets 2.1.8 sind die folgenden:

Tabelle II-41: Meilensteine des AP 2.1.8 Reallaborzentrum – © IfaS

Nr.	Meilenstein	Umsetzung
M1	Reallaborzentrum bezugsfertig	07/2022
M2	Quartierswerkstatt eingerichtet	03/2023
M3	E-Mobil-Speicherlabor eingerichtet	11/2024
M4	Dauerausstellung eröffnet	08/2024
M5	Quartiersenergiezentrale umgesetzt	12/2024

II.1.10.3.2 Methodik

Die Methodik zur Umsetzung des Reallaborzentrums im Pfaff-Quartier basierte auf einem interdisziplinären, wissenschaftlich fundierten Ansatz unter Leitung des Fraunhofer ISE. Der methodische Rahmen orientierte sich an den Prinzipien der nachhaltigen Stadtentwicklung, des Stoffstrommanagements sowie der Energie- und Ressourceneffizienz. Das IfaS übernahm wesentliche Aufgaben in der inhaltlichen und konzeptionellen Gestaltung des Reallaborzentrums und der dazugehörigen Ausstellung. Die spezifischen Arbeiten des IfaS werden im Folgenden beschrieben und dargestellt:

Entwicklung eines Konzepts für die nachhaltige Gebäudenutzung: Hierzu gehörte die Mitarbeit bei der Erstellung einer Strategie zur ressourcenschonenden Sanierung des Reallaborzentrums am zunächst geplanten Standort des neuen Kesselhauses, unter besonderer Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft (z. B. Haus in Haus Konzept und Holzbauweise). Zudem war das IfaS an der Auswahl nachhaltiger Baustoffe beteiligt, die für die Ausstellung genutzt werden sollten.

Energieeffiziente Nutzung und Integration erneuerbarer Energien: Das IfaS evaluierte das Potenzial von Photovoltaik Aufdachanlagen und PV-Carports für das Reallaborzentrum an der Heizzentrale, plante die Einbindung smarter Haustechnik, untersuchte verschiedene Versorgungsvarianten (Energie aus der Grundwassersanierungsanlage, Wärmepumpen, Nahwärmeanschluss etc.) und unterstützte die Integration des Zentrums in das übergeordnete Quartiersenergiekonzept.

Analyse von Material- und Stoffströmen: Zur Optimierung der Ressourcennutzung identifizierte das IfaS geeignete Materialien für die Gebäudeausstattung und erstellte eine Lebenszyklusanalyse (LCA) für die

Innenböden im neuen Reallaborzentrum (altes Verwaltungsgebäude) zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen und zur Unterstützung der Materialauswahl.

Wissenstransfer: Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung bereitete das IfaS die gewonnenen Erkenntnisse gezielt für den Wissenstransfer auf. Über verschiedene Formate wurden die Ergebnisse sowohl an Fachpublikum (z. B. PEG, Investorengruppe am Gelände und weitere Investoren, etc.) als auch an interessierte Bürger vermittelt.

Planung und Ausführung von Informationsveranstaltungen: Im Rahmen einer Informationsreihe des Partnerkonsortiums im Herbst 2024 informierte das IfaS an zwei Abenden zu den Themen Mobilität und Solar- und Gründachpflicht im Quartier. Darüber hinaus erfolgte eine Projektvorstellung und die Vorstellung der von IfaS erarbeiteten Ergebnisse aus den Arbeitspaketen bei einem Empfang einer englischsprachigen und asiatischen Studierendengruppe eines Bachelorstudiengangs des Umwelt-Campus Birkenfeld.

Didaktisches Ausstellungskonzept: Unterstützung bei der Entwicklung eines zielgruppengerechten, bildungsorientierten Ausstellungsdesigns unter Einbindung digitaler Medien zur verständlichen Vermittlung wissenschaftlicher und technischer Inhalte.

Öffentlichkeitsarbeit und Wissensvermittlung: Im Kontext der Öffentlichkeitsarbeit und Wissensvermittlung begleitete das IfaS die Konzeption und technische Ausarbeitung interaktiver Ausstellungsmodulen. Diese verknüpfen analoge Exponate mit digitalen Formaten wie Augmented Reality (AR). Das IfaS begleitete eine Vielzahl der technischen Besprechungen und unterstützte dabei insbesondere bei der technischen Darstellung und Beschreibung der vier Themenbereiche (Exponate) „Mensch & Technik“, „Gebäude“, „Energie“ und „Mobilität“. Die Ausgestaltung der Ausstellung – sowohl was die technischen Elemente als auch die Art und Weise der Wissensvermittlung sowie die Inhalte und Detailtiefe anbelangt – hatte sich dabei im Laufe der Zeit mehrmals geändert, was entsprechende Neugestaltungen und Anpassungen erforderte. Im Rahmen des Entwicklungsprozesses wurden die Definition von Zielgruppen (Bürger, Schüler/Kinder, Fachplaner), die Entwicklung von zielgruppengerechten Storylines, Take-Home-Messages, die Aufbereitung von Planungs- und Verbrauchsdaten oder die Verknüpfung mit technischen Elementen (digitale Exponate mit Tokens, Weißmodelle mit projection mapping, Weißmodelle mit Augmented-Reality-Elementen) über die Jahre mehrmals angepasst oder auch grundlegend neugestaltet. Die Abwägungen zwischen technischen Gestaltungs- und Ausgestaltungsoptionen, verfügbaren Fördermitteln und Mitteln für die Aufrechterhaltung des Betriebes des Reallaborzentrums zeigten sich als eine besondere Herausforderung innerhalb des Entwicklungsprozesses des Reallaborzentrums.

Umsetzung zielgruppenspezifischer Bildungsmaßnahmen: Ein zentrales Anliegen im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit war die zielgruppengerechte Bildung und Kommunikation. Hierzu wurden Kinderklimaschutzkonferenzen für Grundschülerinnen und Grundschüler sowie ein Jugendklimaforum mit weiterführenden Schulen durchgeführt. Die methodische Gestaltung dieser Formate orientierte sich an didaktisch aufbereiteten, niedrigschwelligen und interaktiven Bildungsansätzen, um ein altersgerechtes Verständnis von Klimaschutz und nachhaltiger Quartiersentwicklung zu fördern.

- Kinderklimaschutzkonferenzen: In den Jahren 2023 und 2024 wurden zwölf Kinderklimaschutzkonferenzen für die vierten Klassen der Grundschulen im Stadtgebiet Kaiserslautern durchgeführt. Diese sollten dazu beitragen, das Bewusstsein der jungen Menschen für Umweltthemen zu stärken und ihr Interesse an nachhaltigen Innovationen zu wecken. Ursprünglich war vorgesehen, die Veranstaltungen im Reallaborzentrum (RLZ) durchzuführen, um den direkten Bezug zum Pfaff-Quartier herzustellen. Da das Reallaborzentrum jedoch noch nicht fertiggestellt und nutzbar war und zudem Haftungsfragen aufgrund der noch bestehenden Baustelle nicht abschließend geklärt werden konnten, fanden die Konferenzen stattdessen in den jeweiligen Schulen statt. An jeweils einem Projekttag wurde die komplexe Thematik Klimaschutz für Grundschulkinder verständlich vermittelt. Themen wie Smart Home, klimaneutrale Quartiere, Techniken erneuerbare Energien wurden behandelt. Hierzu wurden Materialien aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Ziel war es, dass die Kinder das Pfaff-Quartier kennenlernen und die Leuchtturmfunktion im Bereich Klimaschutz verstehen. In diesem Zusammenhang wurden die Kinder "ganz nebenbei" über Umweltfragen und nachhaltige Praktiken informiert und motiviert, sich aktiv für den Klimaschutz zu engagieren.



Abbildung II-60: Durchführung Kinderklimaschutzkonferenz - © IfaS

- Jugendklimaforum: Im Februar 2024 wurde auch ein Jugendklimaforum durchgeführt. Schüler und Lehrer des Hohenstaufen-Gymnasiums und Vertreter des Jugendparlaments nahmen an der Veranstaltung im Reallabor-Zentrum. Das Zielpublikum war daher schon älter. Das IfaS führt die Veranstaltung durch und der Beigeordnete der Stadt Kaiserslautern und Projektpartner von EnStadt:Pfaff berichteten über ihre Erfahrungen. Im Fokus stand die Frage, wie Innovationen und Entwicklungen vor der eigenen Haustür gemeinsam mit den ansässigen Jugendlichen diskutiert und bekannt gemacht werden könnten. Ziel war es, die Bedeutung von nachhaltigen Maßnahmen auf lokaler Ebene zu betonen und die Jugendlichen aktiv in den Prozess einzubeziehen. Die positiven Rückmeldungen zur Veranstaltung zeigten, dass das Reallabor-Zentrum auf dem Pfaff-Gelände ein attraktiver informeller Lernort ist, da hier theoretische und abstrakte Themen anschaulich erlebt und behandelt werden können. Durch den Praxisbezug zu den demonstrierten Technologien im Pfaff-Gelände konnten die Jugendlichen ein tieferes Verständnis für komplexe Zusammenhänge im Bereich des Klimaschutzes entwickeln, was einen positiven Einfluss auf ihr Interesse und Engagement für dieses Thema hat.



Abbildung II-61: Durchführung Jugendklimaforum - © IfaS

Beide Veranstaltungsformate, die Kinderklimaschutzkonferenzen und das Jugendklimaforum, hatten eine hohe mediale Wirksamkeit und haben zur Verbreitung der Themen Klimaschutz und klimaneutrale Quartiere in Kaiserslautern beigetragen:

- <https://mkuem.rlp.de/service/pressemitteilungen/detail/staatssekretaere-und-sekretaerin-fuer-klimaschutz-bildung-und-jugend-suchen-austausch-mit-jungen-menschen-zu-draengenden-fragen-beim-klimaschutz>
- <https://www.antenne-kh.de/jugendklimaforum-in-bad-kreuznach.html>
- <https://bildung.rlp.de/zusatzmenue/startseite/nachrichten-bildung.rlp.de-detailansicht/jugendklimaforum-rheinland-pfalz-2024-staatssekretaere-und-sekretaerin-fuer-klimaschutz-bildung-und-jugend-suchen-austausch-mit-jungen-menschen-zu-draengenden-fragen-beim-klimaschutz>
- <https://www.stoffstrom.org/wp-content/uploads/2024/03/Pressemitteilung-Jugendklimaforum-2024.pdf>
- <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/news/presse-jugendklimaforum>
- <https://www.youtube.com/watch?v=FDKIKS0bHzQ>
- Jugendklimaforum . Nachhaltigkeit : Bildungsserver Rheinland-Pfalz
- <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/transfer/bildungsformate-fuer-kinder-und-jugendliche>
- Kinder lernten spielerisch viel übers Klima

II.1.10.3.3 Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Arbeitspakets 2.1.8 wurden zahlreiche Maßnahmen erfolgreich umgesetzt, die zur Realisierung des Reallaborzentrums im Pfaff-Quartier sowie zur Förderung von Bürgerbeteiligung und Wissenstransfer beigetragen haben. Die erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Infrastrukturelle Umsetzung

- Mitarbeit bei der Einrichtung des Reallaborzentrums im sanierten Untergeschoss des Alten Verwaltungsgebäudes (Nutzfläche: ca. 250 m²).
- Begleitung des Aufbaus von einem interaktivem Besucherzentrum mit modularer Ausstellung.
- Mitarbeit bei der Einrichtung einer Quartierswerkstatt zur Erprobung von Planungsinstrumenten.
- Ergänzung um eine Büroeinheit für das Quartiersmanagement als zentrale Anlaufstelle.

2. Ausstellung und Wissensvermittlung

- Mitarbeit bei der Konzeption und Umsetzung der vier Ausstellungsschwerpunkten („Mensch & Technik“, „Gebäude“, „Energie“, „Mobilität“).

- Integration einer Vielzahl an interaktiven Ausstellungselementen und zu den Exponaten, teils mit AR-Funktionalität.
- Teilnahme an einer Vielzahl von technischen Planungs- und Konzeptionssitzungen

3. Öffentlichkeitsarbeit und Bildung

- Durchführung von 12 Kinderklimaschutzkonferenzen im Jahr 2023 und 2024, jeweils mit ca. 25 Schülerinnen und Schülern (insg. ca. 300 Teilnehmende).
- Durchführung von einem Jugendklimaforum mit ca. 30 Teilnehmenden (Schülerinnen und Schüler des Hohenstaufen-Gymnasiums & Jugendparlament).
- Durchführung von zwei öffentlichen Bürgerveranstaltungen im Rahmen der Info-Reihe (Herbst 2024), mit insgesamt ca. 50 Besuchern.
- Durchführung von einer internationalen Studierendenveranstaltung (Bachelorgruppe aus Asien & UK, ca. 30 Personen).
- Aufbereitung einer Vielzahl an didaktischen Materialien (Lehrmaterialien, Take-Home-Messages).

4. Wissenschaftliche Leistungen

- Erstellung von einer Lebenszyklusanalyse (LCA) für Bodenbeläge des Reallabors.⁶⁹
- Durchführung einer Potenzialanalyse für PV-Nutzung (Dachflächen + Carports).

5. Zusammenarbeit und Koordination

- Fachliche Leitung durch das Fraunhofer ISE, regelmäßige Abstimmung im Konsortium.
- Enge Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Projektpartnern aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft, insbesondere mit der Hochschule Kaiserslautern.
- Inhaltliche und konzeptionelle Mitgestaltung des Reallabors durch das IfaS, mit Koordination verschiedener Aufgabenfelder (u. a. Ausstellung, Öffentlichkeitsarbeit, Energie, Mobilität).

Die Arbeiten des IfaS im Rahmen von AP 2.1.8 haben dazu beigetragen, das Reallaborzentrum als Innovationsstandort für klimaneutrale Quartiersentwicklung zu etablieren. Die nachhaltige Sanierung wurde erfolgreich umgesetzt, Materialkreisläufe konnten zumindest teilweise analysiert und optimiert werden,

⁶⁹ <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/innovationen/gebaeudetechnik/lifecycle-analysis-lca-bau>

erneuerbare Energien wurden integriert und die interaktive Ausstellung konnte als ein zentrales Element des Wissenstransfers realisiert werden.

II.1.10.3.4 Wesentliche Erkenntnisse

Im Arbeitspaket 2.1.8 wurde mit dem Reallaborzentrum im Pfaff-Quartier ein konkreter Ort zur Unterstützung der klimaneutralen Quartiersentwicklung geschaffen. Dabei stand nicht allein die Demonstration technischer Lösungen im Vordergrund, sondern insbesondere der Aufbau einer zentralen Anlaufstelle zur Vernetzung relevanter Akteure, darunter Verwaltung, Bürger, Wissenschaft und Investoren. Das Reallaborzentrum diente als Raum für Austausch, Beratung und Projektsteuerung vor Ort.

II.1.10.3.4.1 Beitrag zur klimaneutralen Quartiersentwicklung

Aus Sicht des IfaS stellt der Aufbau einer strukturierten Anlaufstelle vor Ort, die Bürgeranliegen aufnimmt (z. B. Bürgersprechstunde) und zugleich als Knotenpunkt für Fachdiskurse, Investorenanfragen und wissenschaftliche Begleitung fungiert, einen zentralen Erfolgsfaktor dar. Mit der Fertigstellung des Reallaborzentrums Ende 2024 verlagert sich dessen Funktion im Folgeprojekt nun stärker auf den Transfer von Wissen und Erfahrungen. Für das Folgeprojekt Pfaff 2 sind insgesamt 34 Veranstaltungen mit regionalem und überregionalem Zielpublikum geplant, darunter Informationsveranstaltungen, Workshops und Werkstattgespräche, um den Austausch zu fördern und die breite Öffentlichkeit einzubinden.

Es hat sich dennoch gezeigt, dass die Einrichtung eines Reallaborzentrums kein zwingendes Element jeder Quartiersentwicklung darstellt. Der Einsatz sollte standortabhängig und auf Basis einer Kosten-Nutzen-Abwägung erfolgen. Eine flächen- oder themenspezifische Verteilung solcher Strukturen auf Bundesebene – etwa zur thematischen Bündelung oder Entlastung bestehender Zentren – erscheint aus heutiger Sicht sinnvoll.

II.1.10.3.4.2 Herausforderungen und Lösungen

Im Verlauf der Umsetzung traten insbesondere beim Aufbau des Reallaborzentrums erhebliche Herausforderungen auf. Ursprünglich war das RLZ im neuen Kesselhaus des Pfaff-Quartiers vorgesehen. Aufgrund verschiedener Hürden, wie baulicher Verzögerungen und infrastruktureller Unsicherheiten, musste das Vorhaben an einen anderen Standort verlegt werden: in das ehemalige Verwaltungsgebäude.

Diese Standortverlagerung hatte weitreichende Folgen für die Projektabwicklung. Zahlreiche Planungs- und Abstimmungsprozesse mussten doppelt durchgeführt werden. Entwürfe, Konzepte und Genehmigungen, die bereits für das Kesselhaus entwickelt worden waren, konnten nicht ohne Weiteres übertragen werden. Dadurch entstanden nicht nur erhebliche Verzögerungen, sondern auch zusätzlicher

personeller und finanzieller Aufwand. In Teilen wirkte sich dies negativ auf die frühzeitige Nutzbarkeit und Außenwirkung des RLZ aus.

Trotz dieser Schwierigkeiten gelang es, den neuen Standort funktional nutzbar zu machen. Mittels einer flexiblen Anlauf- und vernetzungsstelle konnten am neuen Ort unter anderem Bürgersprechstunden, Projektgespräche mit Investoren und Workshops mit verschiedenen Zielgruppen durchgeführt werden.

Zugleich zeigte sich: Der Aufbau eines RLZ ist ressourcenintensiv und abhängig von stabilen Rahmenbedingungen. Eine rein symbolische Präsenz oder repräsentative Ausgestaltung allein ist nicht zielführend. Entscheidend ist vielmehr, dass ein RLZ als funktionale Infrastruktur für Information, Beteiligung und Steuerung wirkt und für viele Jahre in Betrieb gehalten werden kann.

Aus Sicht des IfaS ergibt sich daraus die Empfehlung, bei zukünftigen Projekten den Nutzen eines Reallaborzentrums genau abzuwägen. Nicht jedes Quartier benötigt ein solches Zentrum, insbesondere dann nicht, wenn die Voraussetzungen für eine kontinuierliche Nutzung fehlen. Ein gezielter, bundesweit verteilter Einsatz solcher Instrumente – sei es themenspezifisch oder regional – kann helfen, Ressourcen zu bündeln und die Wirkung zu maximieren.

II.1.10.3.4.3 Empfehlungen zur Umsetzung und weiterführende Forschungsfragen

Auf Basis der Projektergebnisse ergeben sich aus Sicht des IfaS folgende Empfehlungen für die weitere Umsetzung und Verbreitung der erarbeiteten Konzepte sowie weiterführende Forschungsfragen:

Empfehlungen zur Umsetzung:

- Reallaborzentren gezielt und bedarfsorientiert einsetzen: Nicht jedes Quartier braucht ein solches Zentrum. Dort wo aber komplexe Transformationsprozesse begleitet werden müssen, kann es als strategisches Instrument fungieren.
- Anlaufstellen schaffen statt klassischer Ausstellungen: Es geht weniger um Ausstellungsräume, sondern um Orte des Austauschs, der Beratung und des Transfers, etwa durch Bürgersprechstunden, Kooperationsgespräche oder informelle Dialogformate.
- Beteiligung früh und kontinuierlich gestalten: Kinder- und Jugendformate, aber auch zielgruppengerechte Bürgerdialoge, haben sich bewährt und sollten fester Bestandteil zukünftiger Projekte sein.

Zentrale Fragen, die sich aus dem Arbeitspaket ableiten, sind:

- Wie können modulare Reallaborstrukturen so weiterentwickelt werden, dass sie wirtschaftlich tragfähig sind – auch ohne durchgehende Förderprojekte – und damit nachhaltig erhalten werden können?

- Wie können der Wissenstransfer und die Übertragbarkeit erfolgreicher Reallaboransätze in andere Kontexte oder Regionen systematisch gestaltet und gefördert werden?

II.1.10.4 AP 3.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmeversorgung

Nachdem die Ergebnisse aus dem Quartiersenergiekonzept vorlagen, wurde vom Fraunhofer ISE eine Machbarkeitsstudie für die Wärmeversorgung aus Abwärme erstellt, welche ebenfalls für den Endausbau des Quartiers ausgelegt war. Aufgrund neuer Informationen, welche zu einem in Phasen aufgeteilten Ausbau des Wärmenetzes führten, ergab sich im Anschluss daran weiterer Anpassungsbedarf. Insbesondere galt es zu bewerten, wie sich der Umstand, dass zahlreiche Gebäude erst etwa 8 bis 10 Jahren nach der ersten Ausbauphase Wärme beziehen auf die Wirtschaftlichkeit des Projekts auswirken (weitaus geringere Einnahmen während dieser Zeit). Darauf aufbauend erfolgte eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung des stufenweisen Ausbaus des Quartiers und aus Perspektive einer neuen städtischen Betreibergesellschaft für den Netzbetrieb. Hier wurde eine Fremdkapitalfinanzierung für den Eigenanteil der Stadt in Höhe von 20% einkalkuliert (80% Förderung durch EnStadt:Pfaff). Auch wurde zum damaligen Zeitpunkt die Aussage von AcoGuss aufgegriffen weitere Abwärmequellen erschließen zu wollen, sodass auch ein steigender Anteil an Industrie-Abwärme über den zeitlichen Ausbauhorizont des Quartiers angenommen wurde.

Nach dem Ausscheiden der Stadtwerke Kaiserslautern als Verbundpartner wurde die Annahme getroffen, dass der Bau der Wärmeversorgung des Quartiers durch die Stadt in Eigenregie erfolgt (mit 80% Förderquote). Die Stadtwerke fungierten in diesem Fall als Wärmelieferant für Fehlbedarfe und als Redundanz für etwaige Ausfallzeiten einer Abwärmelieferung für das Inselnetz im Quartier. Ein großer Kostenfaktor ergab sich aus der Tatsache, dass an die Stadtwerke, welche einerseits die restlichen 60 bis 70% der Wärmeversorgung über Fernwärme sowie die Redundanz in Stillstands- und Revisionszeiten bei AcoGuss übernehmen sollten, die vollen 3 MW Leistungsentgelte für den Quartierswärmetauscher zur Abrechnung bringen wollten, unabhängig davon wieviel Wärme im Quartier tatsächlich abgenommen wird. Insbesondere in den ersten Jahren, wo erst wenig Gebäude am Netz sind, belastete diese Kostenposition die Gesamtwirtschaftlichkeit der Maßnahme enorm.

Wie in der folgenden Grafik zu sehen ist, wurde für die ersten Jahre ein negatives Betriebsergebnis prognostiziert, da zu diesem Zeitpunkt lediglich die Bestandsgebäude als Wärmeabnehmer betrachtet wurden. Erst ab 2024 kommen stufenweise weitere Neubauten dazu, bis der Endausbau um Jahr 2029 erreicht ist. Bereinigt durch die ersten Jahre mit negativem Betriebsergebnis (ca. 180.000 € Verluste), war davon auszugehen, dass erst ab dem Jahr 2027 die Verluste ausgeglichen bzw. ein positives Betriebsergebnis erzielt wird.

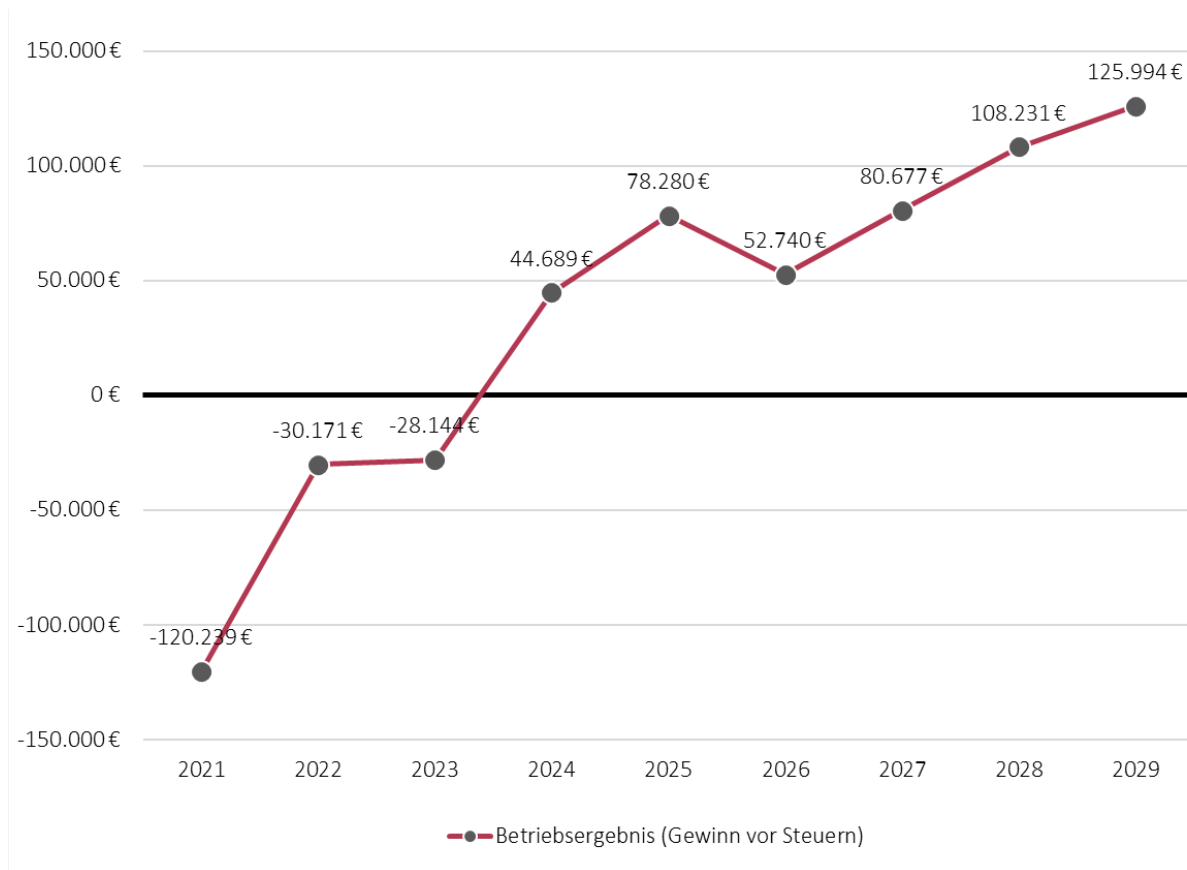


Abbildung II-62: Entwicklung des potenziellen Betriebsergebnisses bis 2029 - © IfaS

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit erfolgte unter anderem mittels folgender Kennzahlen:

- Free Cashflow (diskontiert),
- Dynamische Amortisationszeit,
- Interner Zinsfuß.

Die Ergebnisse der erfolgsneutralen und erfolgswirksamen Betrachtung (unterschiedliche steuerliche Wirksamkeit der Förderung innerhalb der Betreibergesellschaft) sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Free Cash Flow (diskontiert): ▪ 2,39 Mio. €	Free Cash Flow (diskontiert): ▪ 1,47 Mio. €
Dyn. Amortisation: ▪ 20 a (Amortisiert 2041)	Dyn. Amortisation: ▪ 28 a (Amortisiert 2049)
Interner Zinsfuß: ▪ 4,61 %	Interner Zinsfuß: ▪ 2,06 %

Abbildung II-63: Zusammenfassung der Ergebnisse der erfolgsneutralen und erfolgswirksamen Betrachtung - © IfaS

Zusammenfassend wurde durch die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, unter den darin abgebildeten Rahmenbedingungen sowie getroffenen Annahmen, die Einschätzung aus der Machbarkeitsstudie, dass die Wärmeversorgung zumindest kostendeckend umgesetzt werden könnte, bestätigt. Als sensible Parameter wurden die Wärmelieferung durch AcoGuss und die Förderquote in der zweiten Ausbauphase identifiziert (keine Förderung durch EnStadt:Pfaff, sondern regulär verfügbare Bundesförderprogramme). Der Anteil an der Gesamtwärmelieferung durch AcoGuss ist entscheidend für eine ausreichende Wirtschaftlichkeit. Dies begründet sich durch die unterschiedlichen Wärmepreise für die Lieferung von Industrie-Abwärme durch ACO und Fernwärme durch die SWK. Damit einhergehend ergibt sich eine mögliche Unwirtschaftlichkeit durch einen höheren Lieferanteil von Fernwärme durch die SWK. Ein ausführlicher Bericht zu den Ergebnissen der Untersuchung mit einem Umfang von ca. 50 Seiten findet sich unter folgendem Link auf der Projekthomepage: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/materialien>.

II.1.10.5 AP 3.2 Konzeptionierung von Kundenanlagen

Die Sektorenkopplung und Stromerzeugung sowie der Verbrauch vor-Ort / im Quartier, spielen eine wichtige Rolle im Energiesystem der Zukunft. Solarstrom, auf oder an einem Gebäude erzeugt und im besten Fall gespeichert, muss im Objekt für stationäre Zwecke verfügbar sein, immer häufiger auch Mobilitätsbedarfe erfüllen und muss über die Grundstücksgrenze hinaus an andere Objekte im Quartier übertragen werden können. Zum Zeitpunkt der Untersuchung war der Stromaustausch innerhalb eines Quartiers gesetzlich noch nicht zulässig – anders als beim heutigen Energy Sharing oder bei Mieterstrommodellen. Für das MVZ wurde aus diesem Grund eine sogenannte „Kundenanlage“ definiert; PV-Anlagen auf dem Parkhaus versorgen die Ladestationen und decken so weit möglich den Stromverbrauch des MVZ innerhalb dieser Kundenanlage. Das IfaS übernahm die Simulation der PV-Anlagen am

und auf dem Parkhaus im Rahmen der Investorenberatung und war in zahlreiche themenbezogene Arbeitstreffen eingebunden.

In einer weiterführenden Studie untersuchte das IfaS, ob sich das Konzept der Kundenanlagen auch auf weitere Baufelder und Quartiersteile sinnvoll übertragen lässt. Es galt die Frage zu beantworten wie Gebäude und Grundstücke optimal zusammengelegt werden könnten, um Strom im Quartier innerhalb mehrerer Kundenanlagen nutzbar zu machen.⁷⁰

Ziel der Untersuchung war es eine klimaneutrale Stromversorgung abzubilden, wobei der im Quartier erzeugte PV-Strom zunächst – gebäudeübergreifend – innerhalb der Kundenanlagen und im Quartier genutzt werden sollte, bevor Überschüsse in das übergeordnete Stromnetz eingespeist werden. Um dies zu verwirklichen wurden Kundenanlagen definiert, in denen der Strom zwischen verschiedenen Gebäuden bedarfsgerecht verteilt wird. Zu Beginn der Untersuchung wurden die zum Untersuchungszeitpunkt relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen ermittelt. Aus diesen Bedingungen ergaben sich die maximal möglichen Parameter (max. Fläche und Energiedurchsatz pro Jahr), welche für die Definition der Kundenanlagen nicht überschritten werden dürfen.

Da das Pfaff-Gelände gemäß dem Bebauungsplan in mehrere Baufelder unterteilt ist (siehe nächste Abbildung), wurde im ersten Schritt geprüft, ob pro Baufeld, unter Einhaltung der Parameter, eine Kundenanlage gemäß den originalen Baufeldern definiert werden kann und ob diese wirtschaftlich zu betreiben sind. Falls die Parameter nicht eingehalten werden können, wurden die jeweiligen Baufelder so aufgeteilt, dass Kundenanlagen definiert werden können, welche die Rahmenbedingungen erfüllen, unabhängig von den ursprünglich vorgegebenen Baufeldern gemäß Bebauungsplan. Auch hier wurde anschließend die Wirtschaftlichkeit der Kundenanlagen betrachtet.

⁷⁰ Die Ausarbeitung erfolgte im Rahmen einer Master-Thesis. Urheber ist Carmelo Argento, die Betreuung erfolgte durch die Teilprojektleitung

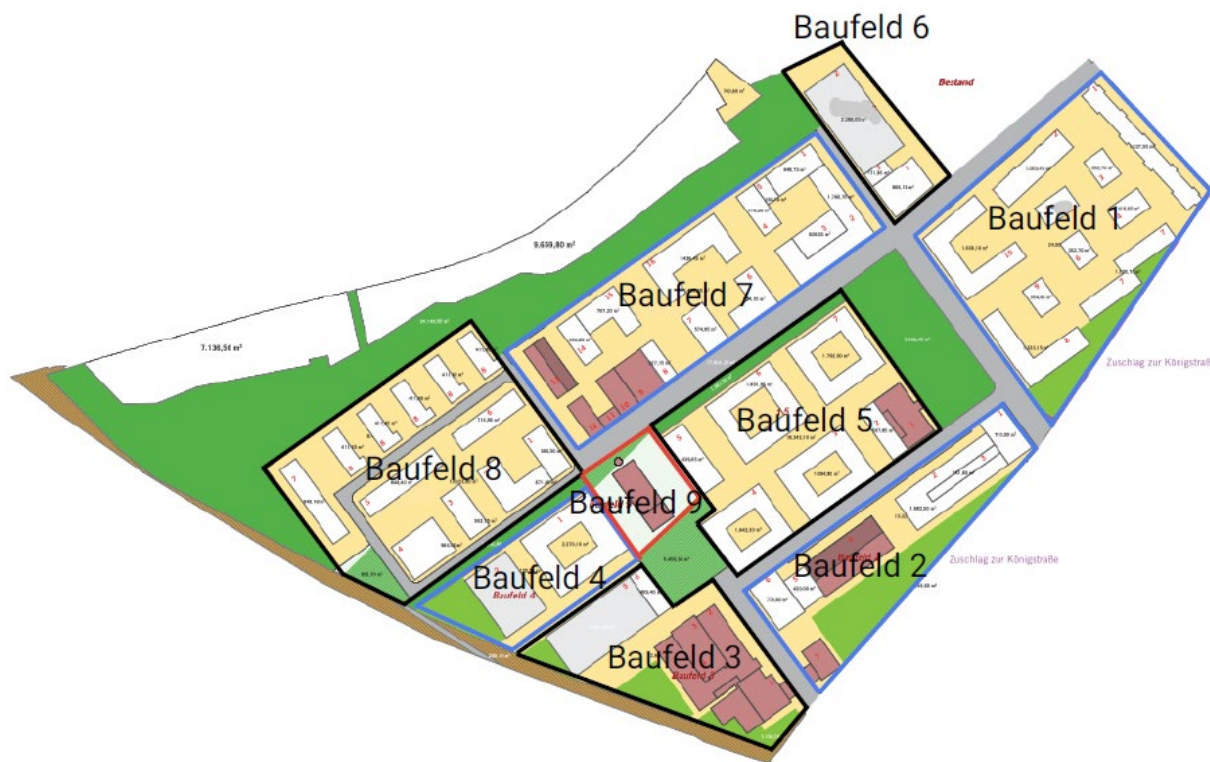


Abbildung II-64: Einteilung der Baufelder gemäß Rahmenplanung - © Astoc|MESS

Die Erzeugungsprofile für die einzelnen Gebäude wurden vom IfaS mit Hilfe des Programms „PV*SOL“ simuliert. Für die Berechnungen wurden alle Dachflächen für PV-Anlagen vorgesehen und zudem alle nach Süd-West und Süd-Ost liegenden Fassaden für Fassadenmodule (das MVZ ausgeschlossen aufgrund von Denkmalschutz) in Betracht gezogen. Baufeld 1 wurde bei allen Betrachtungen innerhalb En-Stadt:Pfaff ausgenommen, da das Baufeld bereits vor längerer Zeit bebaut wurde. In den Baufeldern 2 bis 8 stehen so maximal etwa 67.500 m² Dachfläche und etwa 9.600 m² Fassadenfläche für PV-Module zur Verfügung.

Durch ständige Anpassungen an den Rahmenplan und das Gestaltungshandbuch wurden mehrere Faktoren bei der Auslegung berücksichtigt. Für die Simulationen wurde vorausgesetzt, dass ein gewisser Anteil als Gründachfläche deklariert wird (Solar- /Gründachpflicht). Gründächer müssen bei allen Flachdächern, die bis zu 5° geneigt sind, vorgesehen werden, zudem müssen mindestens 40% PV-Modulfläche der nutzbaren Dachfläche für PV reserviert sein. Die Verbrauchsprofile wurden vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) mit Hilfe der Programme „synPro“ für Wohngebäude und „synGHD“ für Büro, Gewerbe und Parken simuliert.

Um das Quartier in mögliche Kundenanlagen zu unterteilen, mussten gewisse, zum Zeitpunkt der Konzepterstellung relevante, Kriterien eingehalten werden. Dabei galt, dass eine Kundenanlage nur dann rechtsgültig definiert ist, wenn die maximale Fläche 10.000 m² nicht weit übersteigt und die

durchgeleitete Energie von maximal 1.000 MWh nicht weit überschritten wird. Generell galt, dass ein diskriminierungsfreier Wettbewerb vorliegen muss. Um den Mieterstromzuschlag geltend zu machen, mussten mindestens 40% der Fläche zum Wohnen genutzt werden und die installierte PV-Anlage durfte 100 kWp nicht überschreiten. Da der Wohnanteil im Quartier sehr gering ist, konnte der Mieterstromzuschlag nicht geltend gemacht werden.

Zunächst wurden der Strombedarf und die PV-Erzeugung aus den Last- und Erzeugungsprofilen ermittelt. Dadurch konnte berechnet werden, wie viel Strom direkt selbst verbraucht wird, bzw. wie viel Überschussstrom vorhanden ist. Wenn der Strombedarf größer als die Erzeugung sein sollte, wird die Differenz aus dem Speicher und dem Netz bezogen. Sollte die Erzeugung größer als der Bedarf sein, wird zunächst die Batterie geladen. Wenn diese die maximale Kapazität erreicht hat, wird der restliche Strom in das Netz eingespeist. Aus diesen Werten wurde berechnet, wie viel Energie insgesamt durch die Kundenanlage geleitet wird. Zudem wurden die Autarkierate (Unabhängigkeit vom Netzbetreiber) und die Eigenverbrauchsrate (Anteil des direkt genutzten Stroms) ermittelt.

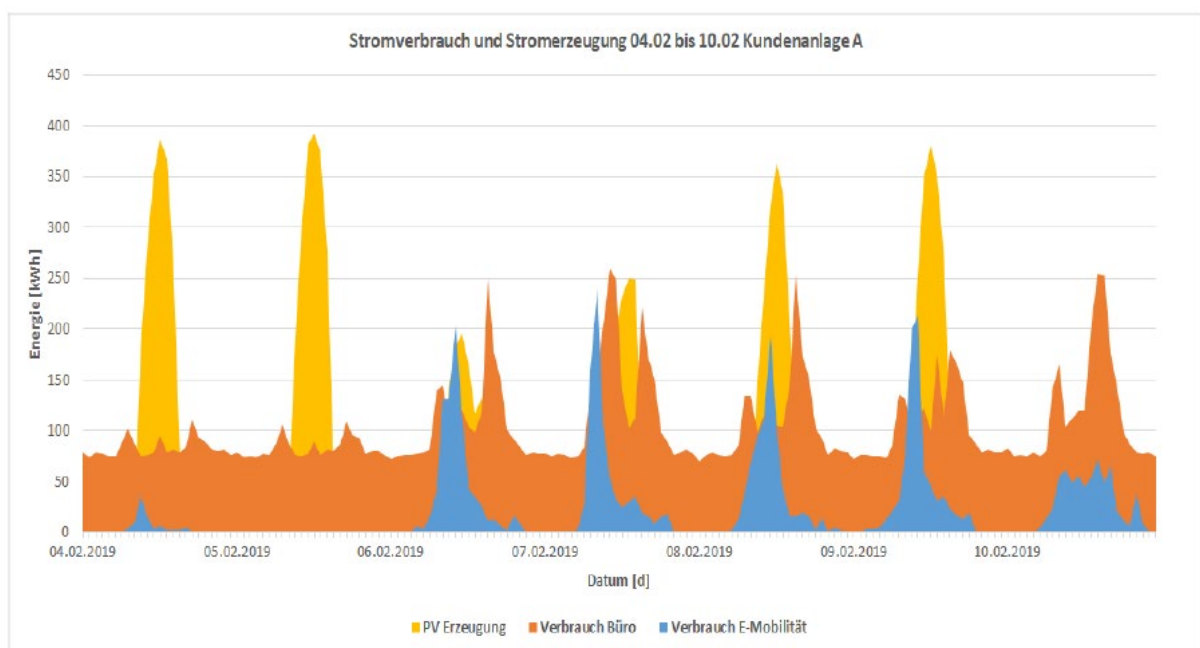


Abbildung II-65: Stromverbrauch und Stromerzeugung der Kundenanlage A im Szenario 1 (Kundenanlagen je Baufeld) - © IfaS

Um verschiedene Einflussmöglichkeiten zu beachten, wurden unterschiedliche Szenarien simuliert. Zum einen wurde betrachtet, wie sich die Kriterien und die Wirtschaftlichkeit bei weniger angeschlossenen Kunden verhalten. Dabei wurden Anschlussraten von 100%, 80% und 60% betrachtet. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass auf dem Gelände ein E-Mobilitäts-Anteil von 100% (alle Fahrzeuge auf dem Gelände sind Elektrofahrzeuge) vorhanden ist – äquivalent zum Mobilitätskonzept, sowie den Annahmen im Quartiersenergiekonzept. Insgesamt wurden so drei verschiedene Szenarien simuliert.

Tabelle II-42: Übersicht zur Einhaltung der Rahmenbedingungen (eine Kundenanlage pro Baufeld) © IfaS

Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
2	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
3	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
4	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
5	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
6	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
7	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
8	100%	60%			
		80%			
		100%			

Nicht erfüllt	
Erfüllt	
Im Toleranzbereich	+10%

Die Anlagen im Baufeld 3, 5 und 7 fallen aus den gegebenen Rahmenbedingungen heraus, da diese eine durchgeleitete Energie von 1.000 MWh im Jahr überschreiten. Bei Baufeld 2, 4 und 6 ergeben sich mit den festgelegten wirtschaftlichen Parametern keine positiven Einkünfte, da die Fixkosten die Einnahmen deutlich übersteigen und durch den Verkauf, des eigens produzierten Stroms, nicht genug Umsatz generiert wird. Die orangenen Felder in Baufeld 7 und 8 bedeuten, dass die Rahmenbedingungen zwar überschritten wurden, diese aber noch im akzeptablen Bereich (erlaubte Abweichung von 10%) liegen.

Die folgende Grafik zeigt beispielhaft den Cashflow von Kundenanlage 2. Bei lediglich 60% angeschlossenen Kunden liegt der Cashflow im negativen Bereich. Erst ab etwa 70% Anschlussquote bewegt sich der Cashflow im positiven Bereich.

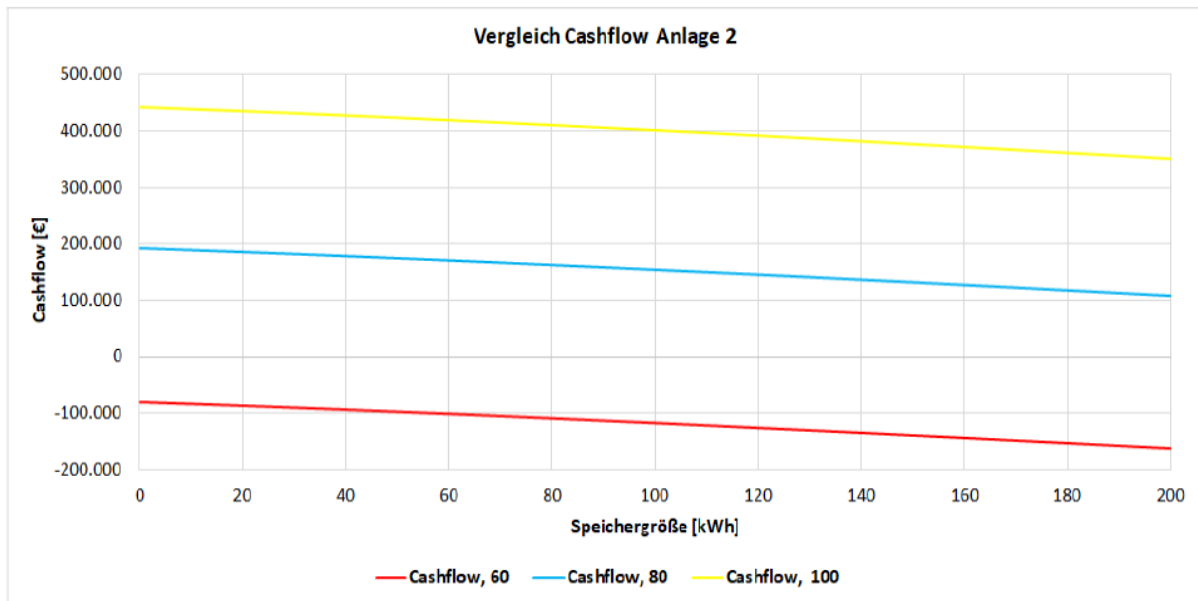


Abbildung II-66: Cashflow von Kundenanlage 2 - © IfaS

Um geeignete Kundenanlagen zu definieren, wurden die zuvor definierten Baufelder aufgelöst und die Gebäude so aufgeteilt, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen eingehalten werden. Die nächste Abbildung zeigt das Pfaff-Gelände nach der Aufteilung in neue Kundenanlagen, die rechtlich, technisch und wirtschaftlich umsetzbar sind.



Abbildung II-67: Pfaff-Gelände nach der Aufteilung in rechtskonforme bzw. wirtschaftlich sinnvolle Kundenanlagen - © Astoc|MESS, © IfaS

Es ist zu erkennen, dass die neuen Kundenanlagen insgesamt größer ausfallen. Aus diesem Grund können sechs statt sieben Anlagen definiert werden. Das alte Baufeld 7 wurde komplett aufgelöst und mit den Baufeldern 6 und 8 zusammengeschlossen. Da Baufeld 3 und 5 eine zu hohe durchgeleitete Energie pro Jahr aufwiesen, werden manche Gebäude den Baufeldern 4 und 2 zugeschrieben.

Exkurs: Für das MVZ ist heute eine Kundenanlage definiert und umgesetzt. Das MVZ mit seinem nebenstehenden Parkhaus belegt Flächen die in der Grafik unten „Anlage B“ mit Teilen der „Anlage C“ besteht.

Tabelle II-43: Übersicht nach der Aufteilung in sinnvolle Kundenanlagen – © IfaS

Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
A	100%	60%			
		80%			
		100%		max. 90%	
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
B	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
C	100%	60%			
		80%			
		100%			
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
D	100%	60%			
		80%			
		100%		max. 90%	
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
E	100%	60%			
		80%			
		100%		max. 90%	
Anlage	Anteil E-Mob	Angeschlossene Kunden	Max. Fläche	Max. Energie	Wirtschaftlich
F	100%	60%			
		80%			
		100%			

Nicht erfüllt	
Erfüllt	
Im Toleranzbereich	+10%

Es ist zu erkennen, dass alle Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können und dass bei allen Anlagen die Rahmenbedingungen eingehalten wurden. Allerdings muss die Kundenanzahl bei Anlage A, D und E auf 90% limitiert werden.

Kundenanlage A umfasst insgesamt acht Gebäude, die eine Fläche von ca. 9.300 m² einnehmen. Die jährlich durchgeleitete Energie beläuft sich auf etwa 1.200 MWh (100% angeschlossene Kunden). Um die Rahmenbedingungen einzuhalten, wird die Anlage auf max. 90% angeschlossene Kunden limitiert. Dadurch ergibt sich eine jährlich durchgeleitete Energie von 1.100 MWh, welche noch in den Toleranzbereich fällt. Insgesamt sind ca. 940 kWp an PV vorgesehen. Da das Gelände keine Wohngebäude aufweist und die installierte Leistung 100 kWp übersteigt, kann der Mieterstromzuschlag in diesem Fall nicht geltend gemacht werden.

Der Cashflow nimmt mit steigender Kundenanzahl stark zu, da mehr Strom aus der PV-Anlage an die Kunden verkauft werden kann. Die Erhöhung der Speicherkapazität schmälert den jährlichen Gewinn, da die Investitionskosten deutlich ins Gewicht fallen.

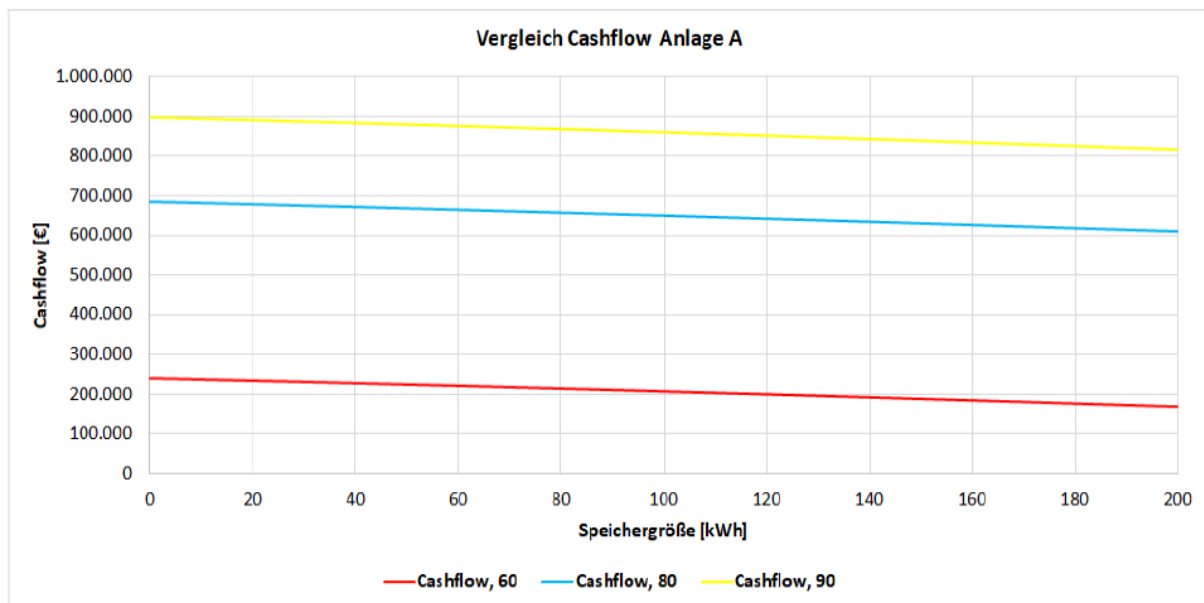


Abbildung II-68: Vergleich des Cashflows bei verschiedenen angeschlossenen Kunden - © IfaS

Je nach Auslegung der Speichergöße liegt der Cashflow bei 60% Anschlussquote zwischen 167.500€ und 239.600€, bei 80% Anschlussquote liegt er zwischen 608.300€ und 685.300€ und bei 90% zwischen 815.800€ und 896.700€. In Kundenanlage A können bis zu 90% angeschlossene Kunden als Anlage definiert werden. Eine höhere Anschlussquote würde die gesetzlich zulässige Maximalgrenze für durchgeleitete Energie überschreiten und ist daher nicht zulässig.

Die folgende Abbildung zeigt den Vergleich der CO₂-Emissionen mit und ohne Kundenanlage. Die CO₂-Emissionen beziehen sich jeweils auf eine Betrachtung ohne Energiespeicher. Es ist zu erkennen, dass durch eine Kundenanlage deutlich CO₂-Emissionen eingespart werden können. Dies liegt unter anderem daran, dass der Strommix Deutschlands deutlich ins Gewicht fällt. Dagegen fällt der CO₂-Ausstoß einer

PV-Anlage mit gerade einmal 27 g/kWh sehr gering aus. Bei 80% angeschlossenen Kunden, können somit im gesamten Quartier rund 790 t CO₂ pro Jahr eingespart werden.

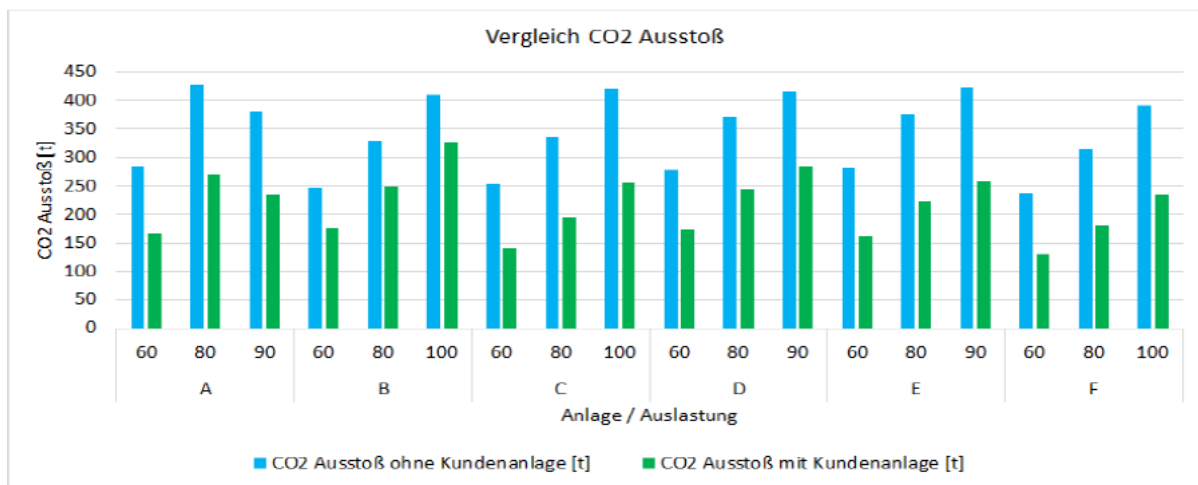


Abbildung II-69: Vergleich des CO2 Ausstoßes mit und ohne Kundenanlage - © IfaS

Wird der Cashflow aller untersuchten Anlagen betrachtet wird deutlich, dass gerade Anlage 4 und 6 mit den angenommenen wirtschaftlichen Parametern nicht rentabel sind (linke Seite Kundenanlagen je Bau-feld (blau)). Generell fällt auf, dass der Cashflow bei den neu aufgeteilten Anlagen – ohne Berücksichti-gung der gegebenen Baufelder (grün) – gleichmäßiger verteilt ist und zudem alle Anlagen Gewinne er-zielen.

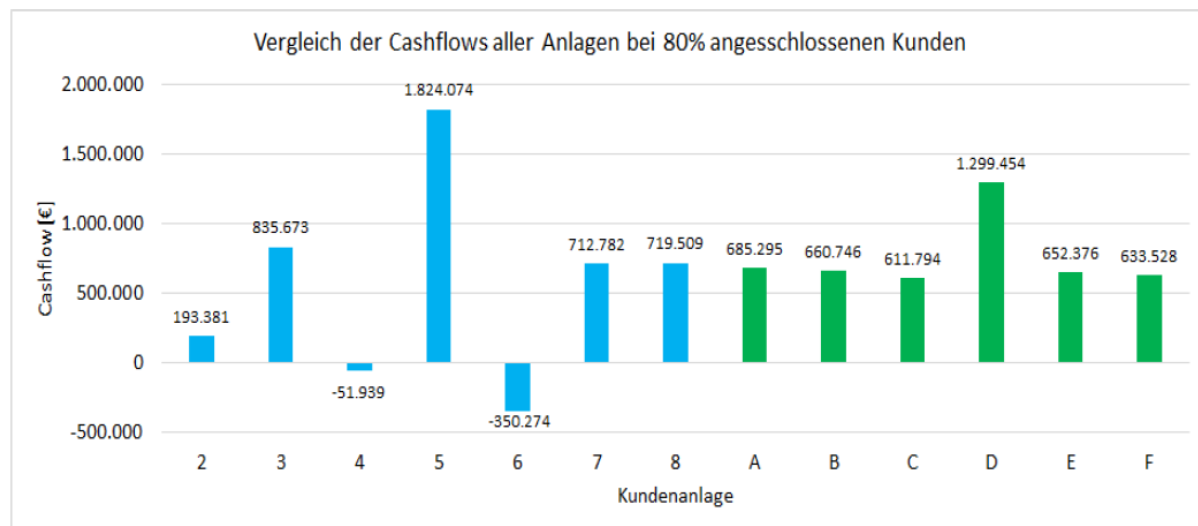


Abbildung II-70: Vergleich des Cashflows für alle untersuchten Kundenanlagen (blau – Baufelder gemäß Rahmenplan / grün – neue Einteilung in sinnvolle Kundenanlagen) - © IfaS

Es ist zu sehen, dass die Anlagen so dimensioniert wurden, dass das maximal mögliche Potenzial ausge-schöpft wird. Zudem sind alle Anlagen, mit den vorgegebenen Parametern, wirtschaftlich betreibbar. Insgesamt wurden sechs Kundenanlagen auf dem Gelände definiert. Es konnte berechnet werden, dass

bei 80% angeschlossenen Kunden im Quartier etwa 40.200 €/a an Stromkosten eingespart werden können. Zudem kann mithilfe der Kundenanlagen der CO₂-Ausstoß um rund 790 t pro Jahr reduziert werden.

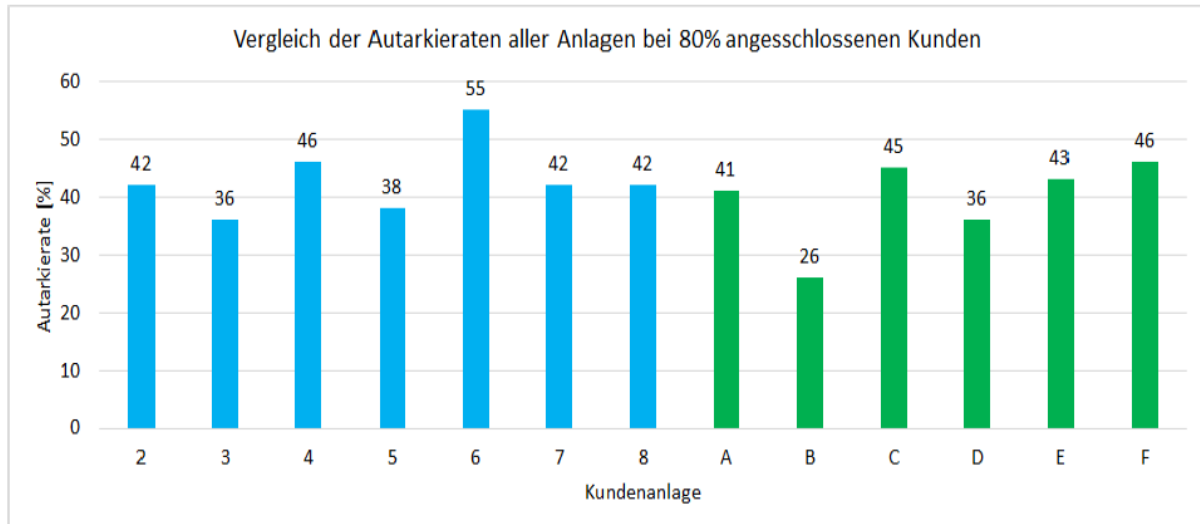


Abbildung II-71: Autarkieraten im Quartier - © IfaS

Die Abbildung zeigt die Autarkieraten aller Anlagen. Im Vergleich zu den ursprünglichen Baufeldern ist zu sehen, dass diese nach der Aufteilung in neue Kundenanlagen generell absinken. Dies kann mit der steigenden Größe der Kundenanlagen begründet werden (zwischen Baufeld (1-8) und neuer Einteilung (A bis F)); der Stromverbrauch steigt – die PV-Anlagen können diesen nur teilweise decken. Trotzdem werden bis auf Baufeld B (26%) und Baufeld D (36%) gute Werte oberhalb 40% erreicht.

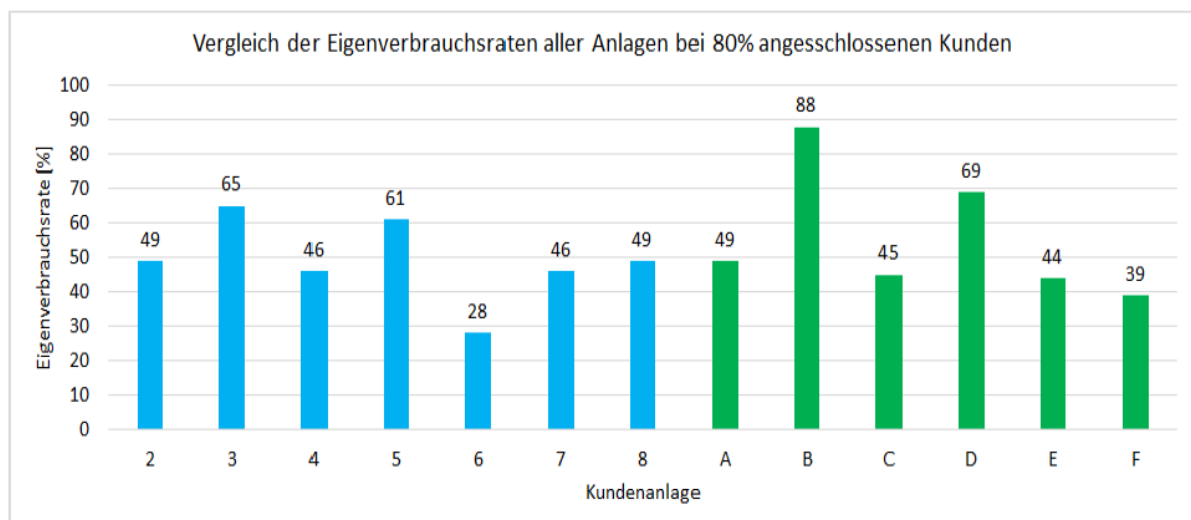


Abbildung II-72: Eigenverbrauchsrate im Quartier - © IfaS

Durch den Zusammenschluss mehrerer Gebäude innerhalb einer Kundenanlage kann ein größerer Anteil des erzeugten Stroms direkt vor Ort verbraucht werden. Dies führt zu einer leicht erhöhten Eigenverbrauchsrate. Mit Ausnahme von Kundenanlage F erreichen alle neuen Einheiten Werte über 40%. Im Schnitt können mit Kundenanlagen im gesamten Quartier 56% des selbst erzeugten Stroms direkt genutzt werden. Ohne Kundenanlage beläuft sich der Eigenverbrauch schätzungsweise auf 35% bis 45%.

In Abhängigkeit der getroffenen Annahmen am Gelände (Strombedarfe, PV-Erzeugung, Lastgänge etc.), lässt sich die Aussage treffen, dass die Eigenverbrauchsrate durch die Optimierung der Kundenanlagen im Schnitt um etwa 10 bis 15% gesteigert werden können.

II.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Folgenden wird die Ausgaben- und Finanzierungsplanung der Hochschule Trier zu allen Ausgabenpositionen dargestellt und erläutert.

Tabelle II-44: Gesamtfinanzierungsplan der Hochschule Trier – © IfaS

Position Gesamtfinanzierungsplan	Entstandene Ausgaben insgesamt 01.10.2017 bis 31.12.2024	Gesamtfinanzierungsplan	% Abweichung
0812: Beschäftigte E12-E15	162.492,36 €	229.227,03 €	-29%
0817: Beschäftigte E1-E11	1.971.260,28 €	1.846.830,70 €	7%
0822: sonstige Beschäftigte	104.433,46 €	90.000,00 €	16%
0831: Gegenstände bis 410 €	8.394,30 €	13.065,00 €	-36%
0834: Mieten und Rechnerkosten	19.764,05 €	30.650,00 €	-36%
0835: Vergabe von Aufträgen	84,18 €	10.000,00 €	-99%
0843: Sonst. allg. Verwaltungsausgaben	6.640,07 €	14.000,00 €	-53%
0846: Dienstreisen	3.791,66 €	35.158,76 €	-89%
0850: Gegenstände und Investitionen über 410 €	76.322,31 €	81.480,01 €	-6%
Gesamtausgaben	2.353.182,67 €	2.350.411,50 €	0,1%
Projektpauschale (PP)	470.082,30 €	470.082,30 €	0,0%
Bundesmittle zzgl. PP	2.823.264,97 €	2.820.493,80 €	0,1%
Kassenbestand am 31.12.2024	-2.771,17 €		

Die gesamt bewilligten Mittel zur Durchführung des Vorhabens betrugen 2.350.411,50 € zzgl. einer Projektpauschale (PP) von 470.082,30 € (gemäß Gesamtfinanzierungsplan vom 24.08.2023).

Die entstandenen Gesamtausgaben zur erfolgreichen Durchführung des Vorhabens im Zeitraum vom 01.10.2017 bis zum 31.12.2024 betrugen 2.353.182,67 € (ohne PP). Hieraus resultieren Mehrausgaben i. H. v. 2.771,17 € insbesondere aufgrund erhöhtem Personaleinsatz zusätzlicher Aufgaben. Die entstandenen Mehrausgaben wurden durch Eigenmittel der Hochschule abgedeckt.

Die Mehrausgaben in einzelnen Positionen betrugen max. 16% gegenüber dem Gesamtfinanzierungsplan.

Im Vergleich zur ursprünglichen Planung sind für Personal (Position 0817) Mehraufwendungen i. H. v. 124.429,58 € entstanden. Dies liegt insbesondere darin begründet, dass bei der Budgetplanung im Jahr 2016/2017 Tarifierhöhungen in den Folgejahren (Tarifverhandlungen TV-L 2019, 2021 und 2023) sowie Stufenerhöhungen beim Personal nicht berücksichtigt wurden.

Die Minderausgaben in der Position 0812 liegen darin begründet, dass die laut Antrag geplanten zwei N.N. Stellen nicht besetzt werden konnten. Zudem war eine Personalstelle aus der Position 0812 zu Beginn des Forschungsprojektes ausgeschieden. Diese Stelle konnte nicht nachbesetzt werden. Aufgrund der nicht besetzten Stellen in der Position 0812, wurden die anstehenden Aufgaben und inhaltlichen Tätigkeiten durch Personal mit der Entgeltgruppe E11 (Position 0817) durchgeführt.

Neben der Verschiebung von Mitteln aus der Position 0812 zur Position 0817 konnte ein weiterer Ausgleich insb. durch Einsparungen in der Position „Dienstreisen (Pos. 0846)“ getragen werden. Diese konnten erzielt werden durch

- steigende Anzahl von Onlinemeetings, einerseits pandemiebedingt, andererseits insgesamt eine Effizienzsteigerung in der Arbeitswelt,
- eine effiziente Terminplanung (Zusammenlegung mehrerer Termine an einem Tag bzw. an unmittelbar aufeinanderfolgenden Tagen) und
- durch die Nutzung von Dienstfahrzeugen der Hochschule, deren Ausgaben/Kosten nicht immer dem Vorhaben eindeutig zugeordnet werden konnten.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Verbundvorhaben verfolgte das Ziel eine integrierte Planung und Entwicklung der Energie-, Mobilitäts- und IKT-Infrastruktur für das Pfaff-Quartier zu implementieren. Grundlegende F&E-Fragen sollten bearbeitet sowie integrierte und innovative Technologien im Quartier demonstriert und evaluiert werden. Der innovative Charakter spiegelt sich vor allem in der Erforschung, Entwicklung und Demonstration systemischer Lösungen durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit vielfältiger wissenschaftlicher Disziplinen wider. Dabei hatte das Projekt einen starken Anwendungsbezug, der sich in der Zusammenarbeit und vielfältigen Abstimmungen mit den Stakeholdern des Quartiers (z. B. Investorengruppe, PEG, Stadtverwaltung) manifestierte.

Die Forschungstätigkeit orientierte sich bestmöglich an dem in der Vorhabenbeschreibung formulierten Arbeitsplan. Die unter der Leitung des IfaS stehenden acht Arbeitspakete wurden erfolgreich abgeschlossen. Änderungen in der Zielerreichung ergaben sich vor allem pandemiebedingt in Form von Projektverzögerungen bei den Baumaßnahmen des MVZ oder einem Eigentümerwechsel am alten Verwaltungsgebäude. Auch musste die Arbeitsweise innerhalb des Konsortiums den pandemiebedingten Regularien angepasst werden und viele Arbeiten wurden soweit möglich im Onlineformat durchgeführt. Durch diese Verzögerungen konnten einige geplante Aktivitäten nicht oder nur in Teilen ausgeführt werden. So konnte z. B. das geplante Monitoring des MVZ lediglich vorbereitet aber nicht ausgeführt werden, da die Inbetriebnahme sich bis zum Projektende verzögerte. Auch konnte insbesondere aufgrund eines fehlenden Zugangs zu Beratungsempfängern nur eine geringe Anzahl an Investorenberatungen durchgeführt werden. Die hier freiwerdenden Mittel wurden an anderer Stelle im Projekt verwertet (z. B. Erstellung von Themenseiten für die neue Projekthomepage). Auch ergab sich in den Arbeitspaketen weiterer Anpassungsbedarf durch das Ausscheiden der SWK oder aus der Aufgabe der Planungen am Standort der neuen Heizzentrale als Standort für das Reallaborzentrum aufgrund von

statischen Problemen. Zudem ergaben sich neue Herausforderungen aufgrund der Tatsache, dass es am Gelände noch keine Nutzer der Liegenschaften gab (das Gelände befand sich im Ausbau und die zur Sanierung anstehenden Objekte noch im Anfangsstadium der Planungen). Alle der durch diese Umstände geschuldeten und erforderlichen Anpassungen in der Zielsetzung der Arbeitspakete oder der Ausgestaltung der Forschungstätigkeiten sowie Meilensteinanpassungen wurden über eine engmaschige und halbjährliche Berichterstattung dem Projektträger mitgeteilt. In Abstimmungsgesprächen der wissenschaftlichen Projektleitung (ISE), als Sprecher des Konsortiums, und dem Projektträger wurden entsprechende Vereinbarungen zu den Inhalten der Änderungs- und Verlängerungsanträge getroffen.

Auch war die Zuarbeit zu Arbeitspaketen der Projektpartner durch die oben beschriebenen Realitäten geprägt. Letztlich hat diese Zuarbeit jedoch Früchte getragen und die Erfolge des Konsortiums sind heute als Planungsinstrumente auf der Internetseite der Stadt Kaiserslautern (Leitbild, Gestaltungshandbuch, Bebauungsplan, Solarsatzung, Mobilitätssatzung etc.) oder im Quartier sichtbar geworden. Zu nennen sind hier insbesondere

- die hocheffiziente und ökologische Sanierung des MVZ mit nebenstehendem Holzparkhaus und Kundenanlage,
- die hocheffiziente Sanierung des alten Verwaltungsgebäudes,
- die innovativen Solarsysteme an der Fassade und an der Energiezentrale,
- die Nahwärmeversorgung,
- das Reallabor-Zentrum mit interaktiver Ausstellung sowie
- die Mobilitätsstationen.

Darüber hinaus existieren mittlerweile vielfältige IT-Anwendungen oder Onlinetools und Leitfäden.

Die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Forschungstätigkeit wurden aufbereitet, zusammengefasst und anhand der Themenseiten auf der Internetseite von EnStadt:Pfaff eingestellt. Diese Tätigkeiten waren in der ursprünglichen Arbeitsplanung nicht vorgesehen, waren aber notwendig und konnten sehr gut in die bestehende Aufgabenstruktur integriert werden.

Auch wurden auf den Internetseiten des IfaS (mit Verknüpfungen zur Projekthomepage) die LCA-Bau- und Materialdatenbank⁷¹, der Leitfaden zur Sanierung denkmalgeschützter Gebäude⁷² und der

⁷¹ <https://materialdatenbank.stoffstrom.org>

⁷² <https://denkmal.stoffstrom.org>

Leitfaden zur Maximierung Solar Erträge⁷³ veröffentlicht. Letztere waren ursprünglich als Druckformate geplant, wurden dann aber unter entsprechendem Mehraufwand als moderne Onlineformate umgesetzt. Auch wurde über wissenschaftliche Veröffentlichungen, projektbegleitende Öffentlichkeitsarbeit, Broschüren, Posterpräsentationen, dem Pfaff-Fachsymposium und den Veranstaltungen im Reallabor-Zentrum für Bürger, Kinder und Jugendliche die Forschungsergebnisse dem Fachpublikum und der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Zusammenfassend wurden alle Herausforderungen der Projektabwicklung gemeistert und die Projektziele wurden mit den verfügbaren Mitteln und der aufgewendeten Arbeit erreicht. Ein erforderlicher finanzieller Mehraufwand konnte durch Einsparungen an anderer Stelle ausgeglichen werden. Die innerhalb des Projekts geleistete Arbeit des IfaS war insgesamt notwendig und angemessen, um die Projektziele zu erreichen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass dem von Seiten der Hochschule Trier beteiligtem In-Institut, dem Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS), keinerlei Grundfinanzierung zur Deckung des Personalaufwands, der Sach- und Reisekosten für das Vorhaben zur Verfügung stand. Somit war eine 100%ige Finanzierung der Projektaktivitäten (Personalmittel, Sachmittel, Reisekosten etc.) erforderlich. Die Forschungsarbeiten haben im Rahmen der Förderung auch keine Zuwendungen von Dritten ermöglicht, Einnahmen konnten ebenfalls nicht generiert werden. Aus wirtschaftlicher, wie auch aus wissenschaftlich-technischer Sicht wäre die Projektbearbeitung für die Hochschule Trier ohne eine Zuwendung seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung nicht darstellbar gewesen.

II.4 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

II.4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Mit dem Vorhaben wurde – wie auch im Antrag vorgesehen – kein unmittelbarer, kurzfristiger wirtschaftlicher Erfolg für den Antragsteller erzielt. Vielmehr war das Projekt als Lehr- und Motivationsmedium insbesondere für die kommunale, planerische Zielgruppe bzw. für Investoren des Pfaff-Geländes zu verstehen. Aber auch wissenschaftliche Akteure konnten und werden von den dargelegten Erfahrungen und Empfehlungen zur Entwicklung eines klimaneutralen Quartiers profitieren. Grundlage hierfür waren das Aufbereiten und Transportieren von den anwendungsorientierten Best-Practice-Beispielen

⁷³ <https://solar.stoffstrom.org>

in anschaulicher und praxisbezogener Form. Da diese Transferaktivitäten kostenlos angeboten wurden, entstanden für das IfaS hierbei keine direkten Einnahmen.

Aufgrund der Tatsache, dass das IfaS im Rahmen seiner wirtschaftlichen Tätigkeit Beratungsleistungen für Kommunen und Unternehmen anbietet, können die im Vorhaben gewonnen Erkenntnisse auch für diese Zwecke verwertet werden. Diese resultieren insbesondere aus den Arbeitspaketen 1.1.2 Quartiersenergiekonzept (inkl. THG-Bilanz), 1.1.3. Mobilitätskonzept 2029, 1.2.2 Digitaler Regionaler Wertschöpfungsrechner, 2.2.1 Maximierung solarer Flächen, 2.2.3 Sanierung Denkmalgeschützter Gebäude (bspw. mit Teilthemen zu KfW-70-Nachweis, Holzintegralfenster, Simulation sommerlicher Wärmeschutz, LCA Baustoffe, Vergleich Sanierung-Neubau, Leitfaden Denkmalschutz) , 2.2.5 Lebenszyklusbeurteilung (Aufbau eines Quartiersplanungstools mit Gebäude-Materialdatenbank), 2.3.2 Innovative Mobilitätsangebote im Quartier, 2.4.2 Aktives Quartier.

II.4.2 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Generell lässt sich zu allen Arbeitspaketen, die von IfaS geleitet oder begleitet wurden, feststellen, dass eine wissenschaftliche Verwertung schon während der Projektlaufzeit als auch im Anschluss erfolgte und erfolgen wird. Dies über Vorlesungen / Vorträge am Umwelt-Campus Birkenfeld, Tagungen (bei Tätigkeit als Referent), das Pfaff-Symposium, Pfaff-Netzwerktreffen, die Pfaff-Projektwebseite, den Pfaff-Leitfaden zur Maximierung der Solarenergienutzung, zur Sanierung denkmalgeschützter Gebäude oder zur Berechnung von Umweltwirkungen der Bautätigkeit (LCA-Bau Materialdatenbank) , die Pfaff-Investorenberatung oder in weiteren IfaS-Projekten (bspw. der Kommunal- und Unternehmerberatung, u. a. im Rahmen der Projekte aus der nationalen Klimaschutzinitiative, KfW-Quartierskonzepten oder Konzepten zur Klimawandelanpassung). Mit den Transferaufgaben im Anschlussvorhaben EnStadt: Pfaff 2 sowie künftiger Tätigkeiten des IfaS in der Kommunal- und Unternehmerberatung ist auch zukünftig eine weitere Verwertung der wissenschaftlichen Erkenntnisse gesichert.

Konkret wurden (bzw. werden) Erkenntnisse, sowie die Notwendigkeit eines qualifizierten und fachlichen Managements bei der Entwicklung von klimaneutralen Quartieren und Kommunen, aus folgenden Arbeitspaketen veröffentlicht und wissenschaftlich verwertet:

- AP 1.1.2 (Quartiersenergiekonzept 2029) und AP 1.1.3 (Mobilitätskonzept 2029): Ergebnisse fanden und finden auch zukünftig Eingang in Vorlesungen, Symposien, Fachtagungen, den Sammelband der Leuchttürme und den Forschungsbericht der Hochschule. Zudem wurde auf Basis von AP 1.1.2 eine Technologiematrix sowie ein Vorgehensmodell für die Erstellung zukünftiger Energiekonzepte auf Quartiersebene erstellt. Auch wurden die Erkenntnisse und Bedürfnisse sowie die Notwendigkeit eines qualifizierten und fachlichen Managements von klimaneutralen

Quartieren und Kommunen in Veröffentlichungen, Fachvorträgen, Studien und Vorlesungen verwertet.

- Die AP 2.1.3 (Smart Grid), 2.1.6 (Smarte Wärme- und Kälteversorgung) wurden im ersten Änderungsantrag neu formiert und umbenannt in 3.1 Smarte Stromnetze und 3.2 Smarte Wärmenetze. Erkenntnisse dieser AP und aus 1.1.2 wurden bisher in ca. 80 KfW Konzepten, 12 Masterplänen im EU-Life Projekt ZENAPA sowie innerhalb von (15) Kommunalen Wärmeplänen verwertet.
- AP 1.2.2 (Digitaler regionaler Wertschöpfungsrechner) Nutzung der Augmented Reality App (AR) KLARA sowie die Tools des digitalen Wertschöpfungsrechners im Reallaborzentrum zur Wissensvermittlung an Besucher der Ausstellung Quartierswerkstatt sowie an Grundschulkin der innerhalb der Kinderklimaschutzkonferenzen. Anwendung während der Projektverlängerung und dem Anschlussvorhaben.
- AP 2.2.3 (Sanierung denkmalgeschützter Gebäude): Veröffentlichung des Leitfadens Sanierung denkmalgeschützte Gebäude seit 2024⁷⁴. Zudem wurde im Zenapa-Rahmen die Sanierung (auch) denkmalgeschützter Gebäude mit ökologischen Dämmstoffen und Baumaterialien in den Großschutzgebieten behandelt. Der Einsatz nachhaltiger Baustoffe wurde zudem am Pfaff Gelände am Holzparkhaus und dem angegliederten Kopfbau demonstriert.
- AP 2.2.5 (Lebenszyklusbetrachtungen, Aufbau eines Quartierplanungstools mit Gebäude-Materialdatenbank): Verwertung für Anwender über die Veröffentlichung der Homepage <https://materialdatenbank.stoffstrom.org/>. Außerdem erfolgte eine Verwertung sowie Pflege und Weiterentwicklung der Materialdatenbank im Projekt RE-BUILD-OWL – Digitalisierungskompetenz für zirkuläres Bauen in Ostwestfalen-Lippe (BBSR). Darüber hinaus ist es im Rahmen der Investorenberatung im Anschlussvorhaben geplant das Instrument für die Information und Sensibilisierung potenzieller Investoren und Fachplaner zu verwerten.
- AP 2.2.1 (Maximierung Solarer Flächen): Der Leitfaden Solar ist seit 2022 veröffentlicht⁷⁵: Verwertung erfolgt für Fachplaner, Stadtentwickler und weitere Zielgruppen zur Maximierung der Solarenergienutzung auf Quartiersebene.-
- Die Erkenntnisse und Bedürfnisse sowie die Notwendigkeit eines qualifizierten und fachlichen Managements von klimaneutralen Quartieren und Kommunen wurden in Veröffentlichungen, Fachvorträgen, Studien und Vorlesungen verwertet (siehe auch Listung in Abschnitt II.6).

⁷⁴ <https://denkmal.stoffstrom.org/>

⁷⁵ <https://solar.stoffstrom.org/>

Grundsätzlich ermöglichen das erarbeitete Know-how, die entwickelten Anwendertools sowie die zu anderen Forschungseinrichtungen geknüpften Kontakte auch eine Vielzahl verschiedener, wissenschaftlicher Anschlussvorhaben. So erfolgt bereits eine Verwertung der Projektergebnisse innerhalb der Transferleistungen im Folgeprojekt EnStadt:Pfaff 2.

II.4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Das Vorhaben leistete einen substanziellen Beitrag zur wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit im Bereich der klimaneutralen Quartiersentwicklung. Es ermöglichte den gezielten Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis und schuf zugleich neue Anknüpfungspunkte für weiterführende wissenschaftliche Arbeiten.

Durch die Entwicklung praxisorientierter Konzepte und die Beratung bei der Demonstration innovativer Technologien im Quartier wurde vorhandenes Wissen nicht nur angewendet, sondern auch weiterqualifiziert. Dies förderte sowohl die Integration aktueller Erkenntnisse in reale Planungsszenarien als auch die Identifikation neuer Forschungsbedarfe.

Konkret wurden am heutigen „MVZ“ technische und organisatorische Grundlagen für ein Monitoring und eine Betriebsoptimierung geschaffen. Gleiches gilt für die Energiezentrale, die Wärmeversorgung und die Effizienztechnologien und Sanierungsmaßnahmen, die im alten Verwaltungsgebäude zum Einsatz kommen oder die dortigen Ladestationen und die Ladestationen im Holzparkaus. Die Demonstratoren auf dem Pfaff Gelände dienen dem Konsortium als Basis für das Anschlussvorhaben. Das Monitoring wird zeigen inwieweit sich die Innovationen am Gelände als praxistauglich erweisen und Erkenntnisse aus der Optimierung lassen ggf. künftige wirtschaftliche Verwertungen der Forschungsergebnisse zu.

Das Quartierenergiekonzept hat wertvolle Erkenntnisse geliefert, die jedoch neue Fragen aufwerfen. Dazu zählen beispielsweise die Potenziale innovativer Speichertechnologien zur weiteren Flexibilisierung der Energieversorgung, die Nutzung digitaler Technologien zur intelligenten Steuerung von Energieflüssen in Quartieren oder die Schaffung sozialer und wirtschaftlicher Anreize zur weiteren Reduktion von Energieverbräuchen durch die Nutzer. Auch stellt sich die Frage, in welchem Umfang regionale Kompensationsmaßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität am Gelände beitragen können und welche regulatorischen Anpassungen notwendig sind, um nachhaltige Quartierskonzepte effizienter umsetzen zu können. Durch die Weiterverfolgung dieser Forschungsfragen kann die Transformation zu klimaneutralen Quartieren weiter optimiert und auf andere Stadtentwicklungsprojekte übertragen werden. Dabei werden vor allem in der Beratung zur Übertragung wirtschaftliche Anschlussoptionen gesehen.

Aus dem Themenspektrum der Maximierung der Solarenergienutzung im Quartier stellen sich verschiedene Forschungsfragen, die für die erfolgreiche Integration von Solarenergie in die Stadtplanung von zentraler Bedeutung sind. So gilt es zu untersuchen, wie sich Planungsprozesse beschleunigen lassen, ohne dabei die Qualität der solaren Integration zu beeinträchtigen. Insbesondere in komplexen Abstimmungsverfahren zwischen unterschiedlichen Fachbereichen und Akteuren besteht hier erhebliches Optimierungspotenzial. Ein weiterer Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung und Bewertung geeigneter Planungsmodelle und Rechenwerkzeuge, die für eine breite Anwendung in Kommunen praktikabel und handhabbar sind. Diese sollten sowohl technische als auch städtebauliche Parameter integrieren und nutzerfreundlich aufbereitet sein. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie eine verbindliche und nachvollziehbare Bewertung multifunktionaler Dächer – etwa im Hinblick auf deren ökologische und energetische Wirkung – systematisch in Planungsverfahren integriert werden kann. Nur wenn solche Bewertungen standardisiert und rechtlich anerkannt sind, lassen sich multifunktionale Lösungen wirksam durchsetzen. Nicht zuletzt bedarf es weiterer Forschung zu tragfähigen Systemlösungen für Photovoltaik im öffentlichen Raum. Technische, wirtschaftliche und gestalterische Aspekte von Solarpergolen, PV-Carports oder Straßenüberdachungen und Straßenbelägen müssen systematisch analysiert und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf verschiedene urbane Kontexte bewertet werden. Die Entwicklung entsprechender Planungsstandards könnte zu neuen Forschungsprojekten führen und wirtschaftliche Anschlussoptionen werden maßgeblich in der Beratung von Städten und Gemeinden zur Implementierung gesehen.

Auch aus dem Bereich der Anwendung der LCA-Bau Materialdatenbank leiten sich Empfehlungen zur weiteren Bearbeitung ab. Grundsätzlich wäre es sinnvoll, die LCA-BAU-Software, um wichtige Analyse-Instrumente zu erweitern. Denkbar sind graphische Ergänzungen, welche die Struktur- und Mengen-Verhältnisse, die bisher errechnet werden können, visuell ansprechend darstellen. Auch energetische und emissionstechnische Amortisationsrechnungen für Gebäudeerrichtungs- und Sanierungs-Alternativen, mitsamt bildlicher Darstellung, könnten hilfreiche Optionen darstellen. Ebenso könnte der direkte Vergleich von betriebs- und herstellungsbedingten Verbräuchen und Emissionen stärker in den Vordergrund gerückt werden. Nicht zuletzt wäre eine Überarbeitung der Nutzeroberfläche und der numerischen Ergebnisdarstellung, im Sinne einer verbesserten Bedienbarkeit und Nutzerfreundlichkeit, zweckdienlich, da z. B. nicht alle Personengruppen mit der wissenschaftlichen bzw. technischen Notation der numerischen Ergebnisdarstellung genügend zuverlässig vertraut sind. Insgesamt bestehen damit noch mehrere, nicht abschließend aufgeführte Weiterentwicklungsperspektiven für die Software. Ob es Optionen gibt, die entwickelte Software qualitativ so weit zu entwickeln, dass eine Marktfähigkeit hergestellt werden kann, ist eine weitere Forschungsfrage.

Hinsichtlich der Darstellung von Wertschöpfungseffekten wurden mit dem AP 1.2.2 auch konkret digitale Wertschöpfungsrechner für die Themen PV, Mobilität, Wärmedämmung und Wärmeversorgung geschaffen, welche die Potenzialfelder der regionalen Energiewende monetarisieren bzw. bewerten und für relevante Entscheider Argumente für die Transformation der regionalen Energiesysteme zur Verfügung stellt. Eine Verwertung kann z. B. in der Ansprache und Beratung von Investoren, Planern und weiteren Stakeholdern für die Entwicklung und Umsetzung von klimaneutralen Quartieren erfolgen.

Aus der Bearbeitung rund um das Thema „Aktives Quartier“ ergaben sich ebenfalls weiterführende Forschungsfragen, etwa zur Frage, wie partizipative Prozesse noch besser mit formalen Planungsverfahren verzahnt werden können. Insbesondere interessiert, wie gesetzlich normierte Planungsschritte mit flexibleren Beteiligungsformaten kombiniert werden können, ohne den Projektfortschritt zu gefährden. Ebenso ist zu untersuchen, wie digitale Tools (z. B. Plattformen, APPs) Beteiligung niedrigschwellig und effektiv ermöglichen und wie deren Wirkung systematisch erfasst werden kann. Und auch im Bereich des Quartiersmanagements besteht Forschungsbedarf:

- Welche strukturellen, personellen und finanziellen Voraussetzungen sind notwendig, um dauerhaft ein effektives Management aufzubauen?
- Wie lässt sich dessen Wirksamkeit im Hinblick auf die Klimaziele, die soziale Integration und die Innovationsfähigkeit eines Quartiers messen?

Die Empfehlungen aus AP 2.4.2 verdeutlichen insgesamt, dass eine erfolgreiche, klimaneutrale Quartiersentwicklung weit mehr als baulich-technische Planung erfordert. Sie basiert auf Dialog, Transparenz und dem aktiven Einbinden von Menschen – von Anfang an.

II.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

In Bezug auf die vom IfaS-Institut verantworteten Arbeitspakete, als Teilprojekte des Gesamtvorhabens EnStadt:Pfaff, sind während der Projektlaufzeit keine vergleichbaren Arbeiten Dritter bekannt geworden.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

In nachstehender Übersicht sind die erfolgten Ergebnisveröffentlichungen des IfaS aufgeführt.

Tabelle II-45: Übersicht der erfolgten Veröffentlichungen – © IfaS

Art der Veröffentlichung	Titel	Jahr	Autoren
Abschlussarbeit	Masterarbeit "Optionen der Sektorenkopplung im Kontext klimaneutraler Quartiere am Beispiel EnStadt:Pfaff"	2022	Carmelo, A.
APP	RWS - App Anwendung mit Argumented Reality	2024	Schaubt, M.
Booklet	Werksgelände wird Wohnquartier	2020	Braun, C./Anton, T./Frank, J.
Broschüre	EnStadt:Pfaff - Projektvorstellung	2019	Anton, T./Frank, J.
Forschungsbericht	EnStadt:Pfaff - Projektvorstellung	2019	IfaS
Forschungsbericht	Wirtschaftlichkeitsbewertung der Wärmeversorgung	2020	Karbon, J.
Interview	Vorstellung Energiekonzept 2029 EnStadt:Pfaff	2024	Anton, T.
Meilensteinbericht	Mobilitätskonzept M1	2017	Kohl, M.
Meilensteinbericht	Quartiersenergiekonzept M1	2018	Huwig, P.
Meilensteinbericht	Mobilitätskonzept M2	2018	Kohl, M.
Meilensteinbericht	Quartiersenergiekonzept M2	2019	Huwig, P.
Meilensteinbericht	Mobilitätskonzept M3	2019	Kohl, M.
Meilensteinbericht	Regionaler Wertschöpfungsrechner M1	2019	Schaubt, M.
Meilensteinbericht	Sanierung denkmalgeschütztes Gebäude M1	2019	Anton, T./Dietz, J./Junge, B./Altmeier, E.
Meilensteinbericht	Mobilitätsangebote M1	2019	Müller, M./Kohl, M.
Meilensteinbericht	Aktives Quartier M1	2019	Lauerburg, K.
Meilensteinbericht	Mobilitätsangebote M2	2020	Müller, M./Kohl, M.
Meilensteinbericht	Aktives Quartier M4	2020	Anton, T./Dellbrügge, M.
Meilensteinbericht	Regionaler Wertschöpfungsrechner M2	2021	Schaubt, M.
Meilensteinbericht	Regionaler Wertschöpfungsrechner M3	2021	Schaubt, M.
Meilensteinbericht	Regionaler Wertschöpfungsrechner M4	2021	Schaubt, M.
Meilensteinbericht	Maximierung Solar M1	2021	Frank, J./Möller, B.
Meilensteinbericht	Mobilitätsangebote M3	2021	Müller, M./Kohl, M.
Meilensteinbericht	Mobilitätsangebote M4	2021	Müller, M./Kohl, M.
Meilensteinbericht	Aktives Quartier M2	2021	Lauerburg, K.
Meilensteinbericht	Sanierung denkmalgeschütztes Gebäude M2	2022	Anton, T./Dietz, J./Junge, B./Altmeier, E.
Meilensteinbericht	Quartiersenergiekonzept M3	2024	Huwig, P.
Meilensteinbericht	Regionaler Wertschöpfungsrechner M5	2024	Schaubt, M.
Meilensteinbericht	Aktives Quartier M5	2024	Anton, T./Möller, B./Frank, J.
Poster	Sektorenkopplung durch regulative Rahmenbedingungen - Abhängigkeiten zwischen Mobilitäts- und Energiekonzepten	2020	Frank, J./Kohl, M.
Poster	Abhängigkeiten zwischen Mobilitäts- und Energiekonzepten - Voraussetzungen für eine wirksame Sektorenkopplung	2024	Frank, J.
Projektwebseite	EnStadt:Pfaff - Projektvorstellung	2017	IfaS
Projektwebseite	Pfaff-Reallabor - Projektvorstellung	2017	IfaS
Projektwebseite	Leuchtturmprojekt EnStadt:Pfaff: Leitfaden zur Maximierung solarer Erträge	2022	Möller, B./Frank, J.
Projektwebseite	Leitfaden zur Maximierung solarer Erträge	2022	Möller, B./Frank, J./Dickmann, P./Huwig, P.
Projektwebseite	Leitfaden sanierung denkmalgeschützter Gebäude	2022	Anton, T./Buchhorn, T./Dietz, J./Altmeier, E./Dickmann, P.
Projektwebseite	LCA Bau - Materialdatenbank	2024	Schaubt, M.
Sammelband	Children's Climate Change Conferences	2022	Frank, J./Kohl, M.
Sammelband	Involvement of potential users. Demand-driven planning of a climate-neutral urban	2022	Kohl, M./Frank, J.
Sammelband	Methods for the Development of Energy Concepts for Climate Neutral Neighbourhoods	2022	Huwig, P./Anton, T.
Sammelband	Greenhousegas Balancing and Life Cycle Analysis in the Context of Climate-Neutral Neighbourhoods	2022	Schierz, S./Schaubt, M./Anton, T.
Themenseite	Energiekonzept Pfaff-Quartier	2024	Huwig, P.
Themenseite	Solarleitfaden	2024	Frank, J.
Themenseite	Energie- und Treibhausgas-Bilanz im Pfaff-Quartier	2024	Schierz, S.
Themenseite	Holzintegralfenster	2024	Dietz, J.
Themenseite	Lifecycle Analysis (LCA)	2024	Schaubt, M.
Themenseite	Leitfaden Sanierung im Denkmalschutz	2024	Dietz, J./Anton, T./Altmeier, E.
Themenseite	Mobilitätskonzept und Mobilitätsstationen	2024	Müller, M.
Themenseite	Leitbild Pfaff-Quartier	2024	Konsortium
Themenseite	Rechner regionale Wertschöpfung	2024	Schaubt, M.
Themenseite	Bildungsformate für Kinder und Jugendliche	2024	Fetzer, N./Müller, M./Anton, T./Frank, J.
Vorträge	Resilienz und Wertschöpfung durch Innovationen in der Quartiersentwicklung	2021	Heck, P., Prof. Dr.
Vorträge	Energiekonzept: Klimaneutrale Energieversorgung im Quartier	2021	Anton, T.
Vorträge	Stellplatzsatzung neu denken! Eine Mobilitätssatzung für ein nachhaltiges Quartier	2021	Kohl, M.
Vorträge	Solarenergienutzung im Quartier optimieren: PV-Gründächer und PV-Fassaden	2021	Möller, B.
Vorträge	Vorstellung Energiekonzept 2029 EnStadt:Pfaff	2022	Huwig, P.
Vorträge	Vorstellung und Führung EnStadt:Pfaff	2024	Anton, T./Frank, J.
Vorträge	Smart Energie United Kingdom	2017-2020	Anton, T.
Vorträge	Green Transformation I - Projektvorstellung	2017-2022	Heck, P. Prof. Dr./Huwig, P./Anton, T.
Vorträge	Green Transformation II - Projektvorstellung	2017-2022	Heck, P. Prof. Dr./Huwig, P./Anton, T.
Vorträge	Regionale Energiekonzepte	2017-2022	Heck, P. Prof. Dr./Huwig, P./Anton, T./Reis, A. Dr.
Vorträge	Vorstellung EnStadt:Pfaff als Referenzprojekt bei Kommunen	2017-2022	Heck, P. Prof. Dr./Anton, T./Frank, J./Gruben, T./Huwig, P./Reis, A. Dr.
Zeitschrift	Leuchtturmprojekt EnStadt:Pfaff - Konversionsfläche wird zum klimaneutralen Quartier	2019	Anton, T./Orlando, C.
Zeitschrift	Nachhaltige Mobilität im Reallabor - Innovative Maßnahmen zur Verkehrswende bei der Entwicklung eines klimaneutralen Stadtquartiers	2020	Kohl, M.

Durch die fortwährende Aktivität des IfaS in der Kommunal- und Unternehmensberatung sowie Teilnahme an Fördermaßnahmen werden gesammelte Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Vorhaben zu Transfererfahrungen auch zukünftig unmittelbar eingebracht. Darüber hinaus werden im Folgevorhaben EnStadt:Pfaff 2 weitere Transferleistungen und Veröffentlichungen umgesetzt.

Grundsätzlich stehen die Mitarbeiter des IfaS für Rückfragen oder Informationen zu dem Projekt gerne zur Verfügung.

III. Erfolgskontrollbericht

III.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Das Vorhaben »Reallabor Pfaff-Quartier« erforschte, entwickelte und demonstrierte Lösungen, wie die Energiewende und die klimapolitischen Beschlüsse von Paris vor Ort in den Kommunen praktisch umgesetzt, d.h. der Primärenergieverbrauch mindestens halbiert und der CO₂-Ausstoß um 80% bis 95% reduziert werden können. Die Entwicklung systemischer Lösungen für die Versorgung mit Wärme, Kälte und Strom ist wegweisend für die Wärmewende, die nur unter Berücksichtigung der Sektorenkopplung gelingen kann. Die sozialwissenschaftliche Forschung unterstützte die Ziele, indem sie die Akzeptanz und ein systemdienliches Nutzerverhalten befördert. Die Entwicklung von neuen Werkzeugen zur Systemoptimierung sowie die interaktive Präsentation der Lösungen im Besucherzentrum und Laboratorium sorgen für eine hohe Akzeptanz und schnellere Umsetzung der energiepolitischen Ziele der Bundesregierung sowie die Weiterentwicklung und Demonstration von systemischen Konzepten auf Quartiersebene. Die Entwicklung und Demonstration vernetzter Lösungen trugen dazu bei, wirtschaftlich energieeffizienten Wohn- und Arbeitsraum in Verbindung mit energieoptimierten Infrastrukturen zu schaffen. Das Vorhaben orientierte sich an der »Strategischen Forschungs- und Innovationsagenda Zukunftsstadt« und den »Expertenempfehlungen des Forschungsnetzwerks Energie in Gebäuden und Quartieren«.

III.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens

Für diesen Punkt wird verwiesen auf die umfangreiche Ergebnisdarstellung in II.1.

III.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte wurden vom Zuwendungsempfänger nicht erbracht.

Die Erfolgsaussichten nach Projektende wurden bereits in Kapitel II.4 dargestellt.

III.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Wie bereits unter Kapitel II beschrieben, wurden im Projektverlauf kleinere Anpassungen der Zielstellungen innerhalb der Arbeitspakete oder Anpassungen bei den zu liefernden Meilensteinen vorgenommen. In Einzelfällen mussten Arbeiten mehrfach ausgeführt werden (z. B.: Konzeption des Reallabor-Zentrums aufgrund des Standortwechsels). Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben oder gänzlich gescheitert sind, waren nicht zu verzeichnen.

III.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Für diesen Punkt wird verwiesen auf die umfangreiche Ergebnisdarstellung in Abschnitt II.6.

III.6 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Im Projektverlauf kam es zu verschiedenen Verzögerungen die sich auf die Investitionen sowie Baufortschritt einzelner Gebäude zurückführen lassen. Dies betraf das Teilvorhaben indirekt und konnte durch kostenneutrale Verlängerung aufgefangen werden. Somit konnten die anstehenden Arbeiten in durchgeführt und abgeschlossen werden.

Eine Darstellung über die Ausgabenplanung findet sich im zahlenmäßigen Nachweis in Abschnitt II 2. Darüber hinaus werden unter der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit in Abschnitt II.3 die Einflüsse auf die Zeitplanung eingegangen.

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle I-1: Flächenberechnung Pfaff-Quartier – © Bebauungsplan (September 2020), Stadt Kaiserslautern	14
Tabelle I-2: Flächennutzung u. Eckdaten Pfaff-Quartier – © Rahmenplan (2. Fortschreibung Sept. 2018), ASTOC MESS	14
Tabelle II-1: Meilensteine AP 1.1.2 Quartiersenergiekonzept – © IfaS.....	41
Tabelle II-2: Übersicht Nutzenergiebedarfe – © IfaS	53
Tabelle II-3: Rahmendaten zur Berechnung (Stand März 2019) – © IfaS	57
Tabelle II-4: Meilensteine AP 1.1.3 Mobilitätskonzept 2029 – © IfaS.....	75
Tabelle II-5: Reduzierungstabelle „Wohnnutzung“ zum Bauen für nachhaltige Mobilität – © IfaS.....	80
Tabelle II-6: Reduzierungstabelle „Sonstige Nutzungen“ zum Bauen für nachhaltige Mobilität – © IfaS	81
Tabelle II-7: RWS-Matrix (PV-Anlage; Contracting-Mieterstrommodell) – © IfaS.....	100
Tabelle II-8: Basisparameter Fremdfinanzierung für 5.386 kWp PV (Mieterstrom-Modell) – © IfaS	101
Tabelle II-9: Zins- und Tilgungsplan (links: nach Monaten; rechts: kumuliert nach Jahren) – © IfaS.....	102
Tabelle II-10: Preissteigerungsraten – © IfaS	102
Tabelle II-11: Spezifische Aufwendungen für Investitions-Komponenten – © IfaS.....	103
Tabelle II-12: Relative Kosten von W&I, Modul-Pflege und Versicherung für PV – © IfaS	104
Tabelle II-13: Parameter zur Stromerzeugung und Stromnutzung für 5.386 kWp PV (Mieterstrom-Modell) – © IfaS.....	105
Tabelle II-14: Strompreiskomponenten – © IfaS.....	105
Tabelle II-15: Einnahmen und Ersparnisse aus PV-Betrieb (5.386 kWp) – © IfaS	105
Tabelle II-16: GuV aus Betreibersicht (erste 7 a) – © IfaS.....	106
Tabelle II-17: Gewinnmargen und regionale Anteile der Akteure – © IfaS.....	108
Tabelle II-18: Im Rahmen der Ermittlung der kommunalen RWS relevante steuerliche Daten – © IfaS	110
Tabelle II-19: Sozialabgaben und deren relative Auswirkung auf Beschäftigungsentgelte – © IfaS	111
Tabelle II-20: Steuer-Basis-Tabelle für 5.386 kWp PV – © IfaS.....	112
Tabelle II-21: RWS-Betrachtung nach WS-Ebenen und Akteuren (erste 10 a) für 5.386 kWp PV – © IfaS.....	114
Tabelle II-22: Meilensteine Arbeitspaket 2.1.1 Maximierung der solar genutzten Gebäude und öffentlichen Flächen – © IfaS	124

Tabelle II-23: Forschungsergebnisse Maximierung Solarenergie auf den Dachflächen im Pfaff Quartier – © IfaS	127
Tabelle II-24: Forschungsergebnis Maximierung der solar genutzte Gebäude und öffentlichen Flächen – © IfaS	130
Tabelle II-25: Übersicht Meilensteine – © IfaS	139
Tabelle II-26: Baustoffe der Gebäudehüllensanierung und verbundene Umweltauswirkungen - © IfaS	146
Tabelle II-27: Auswirkungen der Gebäudehülle auf ein davon abgesehen energetisch ertüchtigtes Gebäude - © IfaS	146
Tabelle II-28: Vergleich von Sanierung und Neubau der thermischen Gebäudehülle - © IfaS	147
Tabelle II-29: Berechnungsmatrizen für Außenwand- und Dachfläche im Gebäudeaufbau-Modul – © IfaS	163
Tabelle II-30: Zuordnung von Baubook-Bauteilen im Gebäudeaufbau-Modul – © IfaS	163
Tabelle II-31: Speicher- und Anzeigebereich des Anwendungs-Konzeptes – © IfaS	168
Tabelle II-32: Ergebnisse zu Positionen im Speicher- und Anzeigebereich – © IfaS	168
Tabelle II-33: Baumaterialienübersicht mit relativen Anteilen von ausgewählten Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcen-Parametern am MVZ-Gebäude – © IfaS	178
Tabelle II-34: Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcen-Paramater nach Bauteilen und Baumaterialien – © IfaS	179
Tabelle II-35: Meilensteine AP 2.3.2 Innovative Mobilitätsangebote – © IfaS	186
Tabelle II-36: Übersicht über Termine in der Beratung der Stadt Kaiserlautern – © IfaS	188
Tabelle II-37: Übersicht erstellter Dokumente in der Beratung der Stadt Kaiserslautern – © IfaS	189
Tabelle II-38: Übersicht über die erstellten Beratungsangebote – © IfaS	190
Tabelle II-39: Bestückung der Mobilitätsstation laut Mobilitätskonzept 2029 – © IfaS 2018	193
Tabelle II-40: Meilensteine des AP 2.4.2 Aktives Quartier – © IfaS	197
Tabelle II-41: Meilensteine des AP 2.1.8 Reallaborzentrum – © IfaS	215
Tabelle II-42: Übersicht zur Einhaltung der Rahmenbedingungen (eine Kundenanlage pro Baufeld) © IfaS	229
Tabelle II-43: Übersicht nach der Aufteilung in sinnvolle Kundenanlagen – © IfaS	231
Tabelle II-44: Gesamtfinanzierungsplan der Hochschule Trier – © IfaS	236
Tabelle II-45: Übersicht der erfolgten Veröffentlichungen – © IfaS	245

V. Abbildungsverzeichnis

Abbildung I-1: Pfaff-Gelände mit neuem Kesselhaus (Mitte), altem Verwaltungsgebäude (dahinter) und den einstöckigen Produktionsgebäuden (rechts), vorne ist Bodenaushub zur Bodensanierung zu sehen (September 2020) – © EnStadt:Pfaff / ISE	11
Abbildung I-2: Bestandsgebäude im Pfaff-Quartier – © ASTOC MESS, Rahmenplan 2017	12
Abbildung I-3: Blick auf das Pfaff-Quartier – © ASTOC MESS, Rahmenplan 2. Fortschreibung (Juli 2018)	12
Abbildung I-4: Rechtskräftiger Bebauungsplan für das Pfaff-Gelände (September 2020) – © Stadt Kaiserslautern	13
Abbildung I-5: Luftbild des Pfaff-Quartiers mit dem sanierten alten Verwaltungsgebäude (Mitte) und dem alten Kesselhaus (links) und dahinter liegenden ehemaligen einstöckigen Produktionsgebäuden, die Flächen unten und Mitte rechts wurden saniert und werden für die Vermarktung erschlossen (Oktober 2024) – © Triolog / EnStadt:Pfaff	15
Abbildung I-6: Reallabor EnStadt:Pfaff in der Pfaff-Achse von der Pforte bis zum alten Verwaltungsgebäude – © Triolog / EnStadt:Pfaff	17
Abbildung I-7: Mögliches Design einer Mobilitätsstation im Pfaff-Quartier – © Triolog / EnStadt:Pfaff	19
Abbildung I-8: Altes Verwaltungsgebäude mit den im Rahmen von EnStadt:Pfaff installierten Technologien – © Triolog / EnStadt:Pfaff	20
Abbildung I-9: Neues Verwaltungsgebäude, das nun als Medizinisches Versorgungszentrum (MVZ) genutzt wird mit den demonstrierten Technologien – © Triolog / EnStadt:Pfaff	22
Abbildung I-10: Energiezentrale mit Heizzentrale und E-Mobil- und Batterie-Forschungslabor – © Triolog / EnStadt:Pfaff	23
Abbildung I-11: Akteure der Quartiersentwicklung im Pfaff-Quartier und ihre Rollen in den verschiedenen Phasen der klimaneutralen Quartiersentwicklung – © Triolog / EnStadt:Pfaff	24
Abbildung II-1: Übersicht der verfügbaren Potenziale - © Astoc Mess, © IfaS	46
Abbildung II-2: Möglicher Anwendungsfall zur Abwasserwärmenutzung mit Hebeschacht - © HUBER SE (Anwendungsbeispiel von Huber SE für das Pfaff-Quartier)	47
Abbildung II-3: PV-Simulationen aus AP 2.2.1 als Grundlage für die PV-Potenzialanalysen - © IfaS	50
Abbildung II-4: Infrarot-Bilder der Werksbegehung - © IfaS	51
Abbildung II-5: Flächenverteilung und Energiebedarf nach Baualter - © IfaS	52
Abbildung II-6: Flächenverteilung und Energiebedarf nach Nutzungsart - © IfaS	52

Abbildung II-7: Übersicht Potenziale im Pfaff-Quartier - © Astoc Mess, © IfaS.....	53
Abbildung II-8: Investitionen und Jahreskosten - © IfaS.....	58
Abbildung II-9: Aufteilung der Jahreskosten - © IfaS	58
Abbildung II-10: Territorialprinzip - © IfaS.....	65
Abbildung II-11: Energiebilanz des Pfaff-Quartiers nach Nutzungsart - © IfaS	67
Abbildung II-12: Prognose der THG-Emissionen im Pfaff-Quartier - © IfaS.....	69
Abbildung II-13: Exemplarische Mobilitätsstation mittlerer Größe - © Triolog/EnStadt:Pfaff	78
Abbildung II-14: Einsparpotenziale für ein Wohngebäude aufgrund der innovativen Stellplatzsatzung – © IfaS ..	79
Abbildung II-15: Betrachtete Handlungsfelder im Mobilitätskonzept - © IfaS.....	82
Abbildung II-16: Die skizzierten Designvarianten von KLARa – © Fraunhofer IESE.....	89
Abbildung II-17: Erstellung des digitalen Modells – KLARa in verschiedenen Ansichten – © Fraunhofer IESE	90
Abbildung II-18: V.l.n.r.: Hauptmenü – Story-Szene-UI-Design – Endmenü – © Fraunhofer IESE	91
Abbildung II-19: V.l.n.r.: Hauptmenü – Lernoberfläche – Ebenen-Erkennung – © Fraunhofer IESE	94
Abbildung II-20: V.l.n.r.: Mühlenszene – Bäckereiszene – Schlusszene – Farmszene – © Fraunhofer IESE	95
Abbildung II-21: Bewertung der AR-Anwendung – © Fraunhofer IESE.....	97
Abbildung II-22: V.l.n.r.: Spielplatzszenen vor und nach der Nachbearbeitung – © Fraunhofer IESE.....	97
Abbildung II-23: RWS-Betrachtung nach RWS-Ebenen bzw. RWS-Akteuren für 5.386 kWp PV - © IfaS	115
Abbildung II-24: RWS-Betrachtung nach RWS-Sektoren bzw. Profiteuren für 5.386 kWp PV - © IfaS	116
Abbildung II-25: Ergebnis für die RWS nach Ebenen bzw. Akteuren sowie Sektoren bzw. Profiteuren - © IfaS..	117
Abbildung II-26: Ausmaß der RWS nach betrachteter Technologie und Sektoren bzw. Profiteuren - © IfaS	119
Abbildung II-27: 3D Modell Pfaff – © Astoc MESS.....	124
Abbildung II-28: Ausschnitt einer vergleichenden Variante hinsichtlich der Aufständerausrichtung (linkes Bild - dachparallel; rechtes Bild - südausgerichtet) – © IfaS.....	125
Abbildung II-29: Verschiedene Installationsvarianten am Beispiel des Alten Verwaltungsgebäudes mit PV-Dach- und Fassadenanlage sowie PV-Gründach - © Triolog/EnStadt:Pfaff.....	126
Abbildung II-30: Integraler Planungsprozess - © Triolog/EnStadt:Pfaff.....	126
Abbildung II-31: Technisch-ökonomisch beispielhaftes Ergebnis einer Fassadenanlage am Parkhaus – © IfaS..	129
Abbildung II-32: Startseite Leitfaden Maximierung solarer Erträge – © IfaS.....	130
Abbildung II-33: Farbige PV-Module an der Fassade des alten Verwaltungsgebäudes - © Triolog/EnStadt:Pfaff	132

Abbildung II-34: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht West - © IfaS	138
Abbildung II-35: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd – © IfaS.....	138
Abbildung II-36: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Nord-Ost - © IfaS	141
Abbildung II-37: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd-Ost - © IfaS	141
Abbildung II-38: Temperaturverteilung, innerhalb der Nutzungszeit, Zeitraum Juni-August - © IfaS	142
Abbildung II-39: Übertemperaturstunden in der Nutzungszeit, Juni-August - © IfaS.....	143
Abbildung II-40: Übertemperaturstunden, in der Nutzungszeit, Juni-August, ohne und mit Nachtlüftung - © IfaS	144
Abbildung II-41: Maximale Kühllast des untersuchten Raums - © IfaS.....	145
Abbildung II-42: Onlineplattform des Leitfadens - © IfaS.....	148
Abbildung II-43: Umweltwirkungen der ökologischen Qualität des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) – Abbildung nach BMUB (2017), S. A6.	159
Abbildung II-44: Abbildung der Module gemäß DIN EN 15804 in ÖKOBAUDAT – Abbildung nach BBSR (2020), S. 14.....	160
Abbildung II-45: Eingabemaske des Gebäudeaufbau-Moduls – © IfaS.....	162
Abbildung II-46: Dateneingabematrix zur individuellen Bauteilerstellung – © IfaS	165
Abbildung II-47: Auswahl von Beton C 45/55 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-Konzeptes – © IfaS	167
Abbildung II-48: Auswahl von MasterTop P660 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-Konzeptes – © IfaS.....	167
Abbildung II-49: Ergebnisbereich der Anwendung des Tool-Konzeptes – © IfaS.....	169
Abbildung II-50: Vereinfachte Darstellung des Aufbaus der LCA BAU Software – © IfaS	171
Abbildung II-51: Daten-Eingabe & -Ausgabe der Umweltwirkungs-Indikatoren und Ressourcenparameter innerhalb der Browser-Anwendung – © Fraunhofer IESE & IfaS	172
Abbildung II-52: Darstellung der Eigenschaften der ausgewählten Baumaterialien mittels Blasendiagramm – © Fraunhofer IESE	173
Abbildung II-53: MVZ-Gebäude – UMBERTO-(Sankey-)Darstellung der Grauen Energie der Baumaterialien – © IfaS.....	176
Abbildung II-54: Lage MVZ Parkhaus und Bahntrasse - © Astoc MESS 2018	192

Abbildung II-55: Standorte der Mobilitätsstationen gem. Planungsstand der Stadtentwässerung Kaiserslautern im April 2023; Quelle: Stadtentwässerung Kaiserslautern / © Astoc MESS	193
Abbildung II-56: Zusammenfassende Darstellung der Nutzerbedürfnisse (Posterformat), adressiert an potenzielle Investoren aus dem Wohnungsbau- und Immobiliensektor sowie zur Nutzung in der Bürgerinformation und Öffentlichkeitsarbeit. – © IfaS	203
Abbildung II-57: Auszug Ergebnisse der Umfrage - © IfaS	211
Abbildung II-58: Auszug Ergebnisse der Umfrage - © IfaS	211
Abbildung II-59: Altes Verwaltungsgebäude mit dem Reallabor-Infozentrum im Untergeschoss - © Triolog/EnStadt:Pfaff.....	213
Abbildung II-60: Durchführung Kinderklimaschutzkonferenz - © IfaS	218
Abbildung II-61: Durchführung Jugendklimaforum - © IfaS	218
Abbildung II-62: Entwicklung des potenziellen Betriebsergebnisses bis 2029 - © IfaS	224
Abbildung II-63: Zusammenfassung der Ergebnisse der erfolgsneutralen und erfolgswirksamen Betrachtung - © IfaS.....	225
Abbildung II-64: Einteilung der Baufelder gemäß Rahmenplanung - © Astoc MESS	227
Abbildung II-65: Stromverbrauch und Stromerzeugung der Kundenanlage A im Szenario 1 (Kundenanlagen je Baufeld) - © IfaS	228
Abbildung II-66: Cashflow von Kundenanlage 2 - © IfaS.....	230
Abbildung II-67: Pfaff-Gelände nach der Aufteilung in rechtskonforme bzw. wirtschaftlich sinnvolle Kundenanlagen - © Astoc MESS, © IfaS	230
Abbildung II-68: Vergleich des Cashflows bei verschiedenen angeschlossenen Kunden - © IfaS	232
Abbildung II-69: Vergleich des CO2 Ausstoßes mit und ohne Kundenanlage - © IfaS	233
Abbildung II-70: Vergleich des Cashflows für alle untersuchten Kundenanlagen (blau – Baufelder gemäß Rahmenplan / grün – neue Einteilung in sinnvolle Kundenanlagen) - © IfaS	233
Abbildung II-71: Autarkieraten im Quartier - © IfaS.....	234
Abbildung II-72: Eigenverbrauchsdaten im Quartier - © IfaS.....	234

VI. Literaturverzeichnis

VI.1 Monographien

- Allianz (2019): Outperform Transform Rebalance. Geschäftsbericht 2018, Allianz SE, München
- Astoc Mess (2017): ASTOC MESS (Hrsg.): Rahmenplan Pfaff-Areal Kaiserslautern: Unterlage Sitzung Stadtrat 06. Februar 2017. 2017
- Astoc Mess (2018): Astoc Mess (Hrsg.): Rahmenplan Pfaff-Areal Kaiserslautern, Fortschreibung: Ratssitzung 24. September 2018. 2018
- BMF (2000): AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter (AfA-Tabelle "AV"). Aktenzeichen: IV D 2-S 1551-188/00, B/2-2-337/2000-S 1551 A, S 1551-88/00, juris GmbH, Saarbrücken
- BMF (2022a): Bund-Länder-Finanzbeziehungen auf der Grundlage der Finanzverfassung 2022. Bundesministerium der Finanzen. Referat L B 3 (Öffentlichkeitsarbeit & Bürgerdialog), Berlin
- BMF (2022b): BMF Dokumentation. Die Entwicklung der Gewerbesteuerumlage seit der Gemeindefinanzreform 1969, Bundesministerium der Finanzen, Berlin
- Bundesagentur für Arbeit (2018): Der Arbeitsmarkt in Deutschland 2017. Amtliche Nachrichten der Bundesagentur für Arbeit, 65. JAHRGANG, Sondernummer 2, Bundesagentur für Arbeit, Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung, Nürnberg
- Deutsche Energie-Agentur (2021): Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hrsg.): Abschlussbericht "Klimaneutrale Quartiere und Areale". 2021
- Destatis (2009): Der Dienstleistungssektor. Wirtschaftsmotor in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse von 2003 bis 2008, Artikelnummer: 5474001099004, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Destatis (2023): Preise. Daten zur Energiepreisentwicklung, Lange Reihen von Januar 2005 bis Januar 2023, Artikelnummer: 5619001231014, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Deutsche Bundesbank (2015): Hochgerechnete Angaben aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen von 1997 bis 2013. Statistische Sonderveröffentlichung, Frankfurt am Main

Deutsche Bundesbank (2019) Die Ertragslage der deutschen Kreditinstitute im Jahr 2018. Monatsberichte, Frankfurt am Main

Deutsche Bundesbank (2023): Jahresabschlussstatistik (Hochgerechnete Angaben) Dezember 2023. Statistische Fachreihe, Deutsche Bundesbank, Frankfurt am Main

Stadt Kaiserslautern (2020): Stadt Kaiserslautern (Hrsg.): Leitbild für die Entwicklung des Pfaff-Quartiers Kaiserslautern: Stand 16.07.2019 zur Vorlage für den Stadtrat Kaiserslautern. 2020

Stadt Kaiserslautern (2020): Stadt Kaiserslautern (Hrsg.): Bebauungsplan Königstrape -Albert-Schweizer-Straße - Pfaffstraße Plan: "Bebauungsplan Pfaff-Quartier". 2020

Wéckel (2024): Wéckel, Julian (Hrsg.); Ohnsorge, David (Hrsg.): Beispielhafte Projekte der Quartiersentwicklung – Neue Materialien zur Planungskultur. München, 2024

VI.2 Online-Quellen

Agrarplus (2019): Heizwerte/-äquivalente. Online unter <https://www.agrarplus.at/heizwerte-aequivalente.html>, AGRAR PLUS Beteiligungsgesellschaft m.b.H., St. Pölten.

Allianz (2024): Kennzahlen zur Allianz Gruppe. Mehrjahresübersicht, URL: https://www.allianz.com/de/investor_relations/ergebnisse-berichte/kennzahlen.html, Allianz SE, München, letzter Zugriff in 2024-06-30.

Angel Advertising e. K. (2023): Gewerbesteuerinfoportal. Gewerbesteuerhebesatz, URL: <https://www.gewerbesteuer.de/gewerbesteuerhebesatz/kaiserslautern-kreis-freie>, Angel Advertising e.K., München, letzter Zugriff in 2024-06-30.

BBSR (2020): ÖKOBAUDAT-Handbuch. Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank, Version 1.1, Online unter https://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/2020-08-14_OEBD-Handbuch.pdf, Berlin

BMI (o. J.): Ökobaodat – Informationsportal nachhaltiges Bauen. Online unter <https://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Berlin.

BMUB (2017): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) – Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude. Online unter https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Buero_Nebau/aktuell/BNB_BN_2015__Allgemeine_Vorbemerkungen_2017-03-01.pdf, Berlin

- Destatis (2019): Preise. Daten zur Energiepreisentwicklung – Lange Reihen von Januar 2005 bis Juni 2019. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Publicationen/Energiepreise/energiepreisentwicklung-pdf-5619001.pdf?__blob=publicationFile, Wiesbaden, letzter Zugriff in 2024-06-30.
- Destatis (2021): Lohn- und Einkommensteuerstatistik 2020 (Gewinnfälle). Einkommensteuerpflichtige einschließlich nicht veranlagte Steuerpflichtige nach Größenklassen des Gesamtbetrags der Einkünfte, URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Staat/Steuern/Lohnsteuer-Einkommensteuer/Tabellen/gde.html>, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, letzter Zugriff in 2024-06-30.
- Destatis (2023) Preise. Verbraucherpreisindizes für Deutschland, Lange Reihen ab 1948, URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/Publicationen/Downloads-Verbraucherpreise/verbraucherpreisindex-lange-reihen-pdf-5611103.html>, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, letzter Zugriff in 2024-06-30.
- Destatis (2024) Hebesätze der Gemeinden 2022 in Prozent, URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Staat/Steuern/Hebesaetze.html>, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, letzter Zugriff in 2024-06-30.
- Deutsche Bundesbank (2023): Jahresabschlussstatistik (Hochgerechnete Angaben) Dezember 2023, URL: <https://www.bundesbank.de/resource/blob/902164/df25f588522b1c26337add7793c7cde1/mL/xls-ges-jahresabschlussstatistik-hochgerechnete-angaben-data.xlsx>, Deutsche Bundesbank, Frankfurt am Main, letzter Zugriff in 2024-06-30.
- DHZ (2021): Einkommensteuer: Das gilt 2020 für die Anrechnung der Gewerbesteuer. URL: <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/einkommensteuer-das-gilt-2020-fuer-die-anrechnung-der-gewerbesteuer-145672/>, Holzmann Medien GmbH & Co. KG, Bad Wörishofen, letzter Zugriff in 2024-06-30.
- EC (2021): JRC Technical Reports. Level(s) – Ein gemeinsamer EU-Rahmen von Kernindikatoren für die Nachhaltigkeit von Büro- und Wohngebäuden, Online unter <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/UM1.ENV-2020-00021-02-00-DE-TRA-00.pdf>, Brüssel
- EnStadt:Pfaff <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/Innovationen>

- Enstadt:Pfaff (2025): Enstadt:Pfaff Chronologie des Bauleitplanungsprozesses. URL <https://pfaff-quartier-klimaneutral.de/kommunale-quartiersentwicklung/prozess-bauleitplanung>, letzter Zugriff in 2025-06-10
- Finanzen.de (2021): Photovoltaik – Versicherung – Vergleich. URL: <https://www.finanzen.de/photo-voltaik-versicherung/vergleichsrechner>, Finanzen.de, Vermittlungsgesellschaft für Verbraucherverträge GmbH, Berlin, letzter Zugriff in 2024-06-30.
- Heinze GmbH (2025): BauNetz. Wissen, Beton, Fachwissen, Betonherstellung und Klimaschutz, Online unter <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519>, Berlin.
- IINAS (2019): Globales Emissions-Model Integrierter Systeme (GEMIS). Online unter <https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/>, Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, Darmstadt.
- Joint Program Initiative Urban (2025): Joint Program Initiative Urban: Positive Energy Districts (PED). URL <https://jpi-urbaneurope.eu/ped/>, letzter Zugriff in 2025-06-15
- Spiegel (2019): Klimawandel – CO₂-Gehalt der Atmosphäre erreicht neuen Höchststand. Online unter <https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/co2-gehalt-der-atmosphaere-erreicht-historischen-hoechststand-a-1267384.html>, DER SPIEGEL GmbH & Co. KG., Hamburg.
- UBA (2022): Schwefeldioxid – Grenzwerte. Online unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/schwefeldioxid>, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- UBA/IINAS (2024): Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme ProBas. Online unter <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessliste.php>, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Berlin.