

Schlussbericht

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff

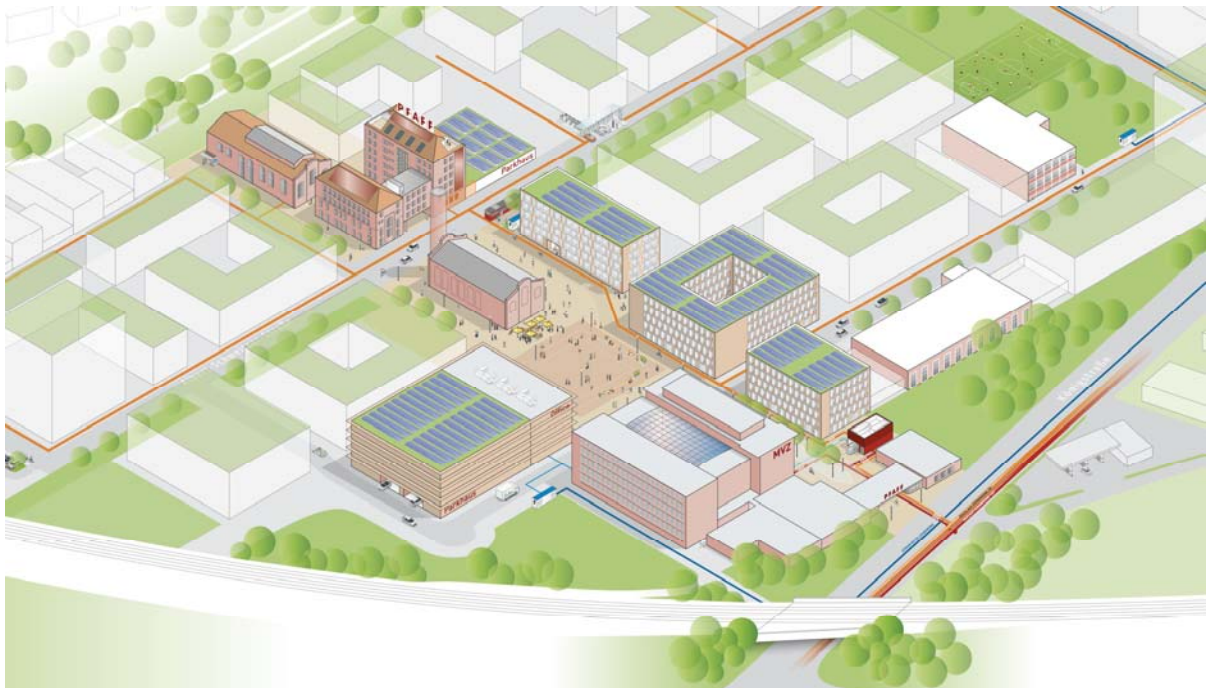
Teilvorhaben

Fraunhofer EnergieIKT

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

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

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „Fraunhofer EnergieIKT“



Schlussbericht

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff

Teilvorhaben

Fraunhofer EnergieIKT

Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

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

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „Fraunhofer EnergieIKT“

Förderndes Ministerium:	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Projektträger:	Forschungszentrum Jülich GmbH
Förderkennzeichen:	03SBE112D
Projektlaufzeit:	01.10.2017 – 31.12.2024
Autor:innen:	Gerhard Stryi-Hipp, Sebastian Gölz, Johanna Kucknat, Philipp Fleischmann, Arne Surmann, Stephan Lux, Sven Auerswald, Peter Engelmann, Frank Ensslen (ISE) Frank Elberzhager, Patrick Mennig, Balthasar Weitzel (IESE) Bettina Dech-Pschorn, Diana Neubert (Stadt KL) Rolo Fütterer, Stefan Staehle (Hochschule KL) Patrick Huwig, Martin Kohl (IfaS)
Ausführende Stelle:	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Heidenhofstr. 2, 79100 Freiburg Fraunhofer-Institut für experimentelles Software Engineering IESE Fraunhofer-Platz 1, 67633 Kaiserslautern
Veröffentlicht:	August 2025
Die Verantwortung der Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.	

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

Titelbild: Grafik des Reallabors im Pfaff-Quartier Kaiserslautern, Quelle: Triolog / EnStadt:Pfaff

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

Zusammenfassung Teilvorhaben EnergieIKT

Das Vorhaben EnStadt:Pfaff wurde vom Oktober 2017 bis Dezember 2024 durchgeführt, um am Beispiel des Pfaff-Quartiers in Kaiserslautern zu untersuchen und zu demonstrieren, wie ein klimaneutrales Quartier erfolgreich konzipiert und umgesetzt werden kann. Das Vorhaben war als Reallabor angelegt, in dem acht Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft gemeinsam mit der Kommune Lösungen untersuchen und entwickeln konnten.

In einer ersten Projektphase wurden Energie-, Mobilitäts- und IKT-Konzepte entwickelt und ein Zielbild für das klimaneutrale Pfaff-Quartier erarbeitet. Diese Arbeiten waren die Grundlage für die Begleitung der Entwicklung des Bebauungsplans durch das Vorhaben EnStadt:Pfaff, der im Mai 2020 verabschiedet wurde. In der zweiten Projektphase wurden verschiedene innovative Technologien entwickelt, demonstriert und optimiert. Die Demonstration erfolgte in den Bestandsgebäuden, die während des Vorhabens saniert und zum Ende des Vorhabens in Betrieb genommen wurden. Weiter wurden verschiedene Werkzeuge und Leitfäden zur Unterstützung der Entwicklung und Planung von klimaneutralen Quartieren erarbeitet sowie Digitale Plattformen und Dienste entwickelt, die die künftigen Nutzerinnen und Nutzer des Quartiers bei einem ressourcenschonenden Verhalten unterstützen, z.B. durch Nutzung alternativer Mobilitätsangebote. Außerdem wurde das Vorhaben sozialwissenschaftlich begleitet, in dem einerseits untersucht wurde, inwieweit sich die Bedarfe der Nutzer:innen in Quartieren künftig verändern werden und wie diese Bedarfsänderungen in der heutigen Planung berücksichtigt werden sollten. Weiter wurden die Steuerungs- und Organisationsstrukturen für die Quartiersentwicklung untersucht, um zu verstehen, wie Innovationen schneller in die Anwendung kommen können. Im Vorhaben wurden insgesamt 37 Forschungs- und Handlungsfelder bearbeitet, um in einem möglichst integrierten Ansatz die Interdependenzen zwischen den verschiedenen Handlungsfeldern zu berücksichtigen. Eine Übersicht über die Forschungs- und Handlungsfelder ist in Abbildung 1 dargestellt.

EnStadt:Pfaff Forschungs- und Handlungsfelder

Planung		13	E-Mobil- und Batterielabor		Planungswerkzeuge
1	Leitbild		Gebäudetechnik	26	Solarleitfaden
2	Energiekonzept	14	Sanierung Altes Verw.-Gebäude	27	Regionaler Wertschöpfungsrechner
3	Mobilitätskonzept / Stellplatzsatzung	15	Sanierung MVZ	28	Lifecycle-Analysis (LCA) Software
4	IKT-Konzept	16	Parkhaus in Holzbauweise	29	Leitfaden Sanierung Denkmalschutz
5	Bebauungsplan-Erstellung	17	Holzintegrialfenster	30	Energie- und Treibhausgasbilanz
6	Solargründachpflicht	18	Bauteilintegrierte Lüftung		Kommunikation / Bildung
	Energie	19	Gebäudeintegrierte PV	31	Reallabor-Zentrum Ausstellung
7	Nahwärmenetz / Abwärmenutzung	20	MorphoColor®-PV-Fassade	32	Reallabor-Zentrum Pfaff-Game
8	Energiezentrale	21	Anforderungen an neue Gebäude	33	Reallabor-Z. Quartierswerkstatt
9	Batterielebensdauer		Digitalisierung	34	Bildungsformate Kinder & Jugend
10	Kundenanlage / Ortsnetztrafo	22	Smart Home		Sozialwissenschaft / Monitoring
	Mobilität	23	Agentenb. Energiemanagement	35	Steuerung und Organisation
11	Mobilitätsstationen	24	Digitale Quartiersplattform	36	Quartierstypologien
12	Ladeinfrastruktur MVZ-Parkhaus	25	Digitale Serviceangebote	37	Monitoringkonzept

Abbildung 1: Forschungs- und Handlungsfelder im Vorhaben EnStadt:Pfaff

Der Schlussbericht des Teilvorhabens Fraunhofer EnergieIKT der Fraunhofer-Institute für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg und für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern

konzentriert sich auf die Vorstellung der Ergebnisse wichtiger Themenfelder, die im Teilvorhaben bearbeitet wurden. Informationen zu weiteren Arbeiten können der Webseite des Vorhabens entnommen werden. Einen Überblick über das Gesamtvorhaben enthält der „Schlussbericht Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff Gesamtvorhaben“ [1], weshalb im Folgenden nicht auf das Pfaff-Quartier und das Vorhaben im allgemeinen, sondern nur auf die Arbeiten der Fraunhofer-Institute eingegangen wird. Der vorliegende Teilbericht enthält dabei die Arbeiten im Teilvorhaben Fraunhofer EnergieIKT, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert wurden. Die Arbeiten, die im Teilvorhaben Fraunhofer SozioMobil vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurden, sind in einem separaten Bericht dargestellt.

Das Fraunhofer ISE hatte die wissenschaftliche Leitung des Vorhabens EnStadt:Pfaff inne und bearbeitete im Teilvorhaben EnergieIKT eine größere Anzahl von technischen Handlungsfeldern, in denen innovative Produktlösungen, wie z.B. ein agentenbasiertes Energiemanagementsystem als Softwarelösung, entwickelt wurden sowie innovative, für klimaneutrale Quartiere relevante Technologien, die demonstriert und optimiert wurden, z.B. Bauteil-integrierte Lüftungsgeräte, effiziente farbige Photovoltaik-Fassaden oder Smart Home Systeme. Weiter wurden die Planungsprozesse begleitet und analysiert, inwieweit in der Bauleitplanung Anforderungen für die Energieversorgung und Mobilität im Quartier festgelegt werden können, um die Klimaneutralität zu ermöglichen.

Das Fraunhofer IESE hat die Digitalen Themen im Vorhaben bearbeitet, ein IKT-Konzept erarbeitet und eine Digitale Quartiersplattform für künftige Nutzerinnen und Nutzer sowie verschiedenste Dienste entwickelt.

Im Folgenden werden verschiedene Themen nur jeweils kurz vorgestellt, um das Dokument kompakt und übersichtlich zu halten. Ergänzend wurden zu den einzelnen Themen jeweils ein Themenbericht erarbeitet, in dem im Detail die Motivation, die Vorgehensweise, die Ergebnisse und die Erkenntnisse des jeweiligen Themas ausführlich dargestellt sind. Diese Themenberichte finden sich im Anhang des Berichts und können auch einzeln auf der Projekt-Homepage heruntergeladen werden.

Mit diesem Konzept für die Ergebnisdarstellung des EnStadt:Pfaff-Vorhabens hoffen wir, einerseits einen guten Überblick über die Vielfalt der bearbeiteten Themen geben zu können und andererseits den Interessentinnen und Interessenten, die einen vertieften Einblick in die Ergebnisse wünschen, diesen zielgerichtet zur Verfügung stellen zu können.

Inhalt

Zusammenfassung Teilvorhaben EnergieIKT	3
Abkürzungen	6
Abbildungen	7
1 Quartiers-Planung und Monitoring	8
1.1 Bauleitplanung für klimaneutrale Quartiere.....	8
1.2 IKT-Konzept	9
1.3 Monitoringkonzept	11
2 Themenbereich Umsetzung Reallabor – Ebene Quartier.....	13
2.1 Digitale Quartiersplattform und Energieeffizienz-Applikation	13
2.2 Agentenbasiertes Quartiers-Energiemanagementsystem.....	14
2.3 Optimierung dezentrale und zentrale Stromspeicher	16
2.4 Reallabor-Zentrum	18
3 Themenbereich Umsetzung Reallabor – Ebene Gebäude.....	20
3.1 Bauteilintegrierte Lüftung.....	20
3.2 Morphocolor®-PV-Fassade in der Energiezentrale	21
3.3 Smart Home Anwendungen.....	22
4 Literatur	25
Anhang	27

Abkürzungen

AR	Augmented Reality
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (heute: BMWE)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (heute: BMFTR)
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
EMS	Energiemanagementsystem
IESE	Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
KL	Kaiserslautern
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
kWh/(m ² a)	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr
IfaS	Institut für angewandtes Stoffstrommanagement der Hochschule Trier
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
PV	Photovoltaik
SWK	Stadtwerke Kaiserslautern

Abbildungen

Abbildung 1: Forschungs- und Handlungsfelder im Vorhaben EnStadt:Pfaff	3
Abbildung 2: Beiträge von EnStadt:Pfaff zur Entwicklung des Pfaff-Quartiers, Quelle: Triolog / EnStadt:Pfaff.....	8
Abbildung 3: Die digitale Quartiersplattform stellt den Menschen in den Mittelpunkt.....	10
Abbildung 4 Schema der Datenerfassung und -übertragung für das Monitoring im Pfaff-Quartier, Quelle: Fraunhofer ISE, Bilder von Lackmann und Kamstrup	11
Abbildung 5: Konzeptionelle Architektur der digitalen Plattform, Quelle: Fraunhofer IESE	13
Abbildung 6: Beispielhafte Screenshots der Fish ´n Tipps App, Quelle: Fraunhofer IESE	14
Abbildung 7: Kommunikation im Agentenverbund zunächst im Team und dann im Quartier, Quelle: Fraunhofer ISE	15
Abbildung 8: Nachgelagerte Abrechnung der Energiemengen in einem Ethereum Smart Contract, Quelle: Fraunhofer ISE.....	16
Abbildung 9: Aufbau des Messstands für Alterungsuntersuchungen an Batterien, Quelle: Fraunhofer ISE	17
Abbildung 10: Visualisierung des ursprünglich geplanten Reallabor-Zentrums im Neuen Kesselhauses, 1. Fortschreibung des Rahmenplans 2018, Quelle: ASTOC Mess.....	18
Abbildung 11: Nord-Ost Fassade des Alten Verwaltungsgebäudes (links), Fensterrahmen-integriertes Lüftungsgerät in der Einbausituation (Mitte) und die Innenansicht eines eingebauten Geräts (rechts), Quelle: Fraunhofer ISE.....	20
Abbildung 12: Rendering der Energiezentrale im Pfaff-Quartier, Darstellung der Südost- und Südwest-Fassade, die in der oberen Hälfte als PV-Fassade ausgeführt wird, Quelle: RBS wave.....	22
Abbildung 13: Schema des Smart Home Konzeptes für das Alte Verwaltungsgebäude im Pfaff-Quartier, das wegen der Bauverzögerungen im Vorhaben nicht umgesetzt werden konnte, Quelle: Fraunhofer ISE	23

1 Quartiers-Planung und Monitoring

1.1 Bauleitplanung für klimaneutrale Quartiere

Autor: Gerhard Stryi-Hipp (ISE), Bettina Dech-Pschorn und Diana Neubert (Stadt KL), Rolo Fütterer und Stefan Staehle (Hochschule KL), Patrick Huwig und Martin Kohl (IfaS)

Aufgrund der nationalen Klimazielsetzungen der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 (§ 3 Absatz 2 KSG (Bundes-Klimaschutzgesetz) [2]) lässt sich ableiten, dass die Neubauquartiere ab sofort klimaneutral konzipiert werden sollten. Denn es kann fest davon ausgegangen werden, dass bis zu diesem Zeitpunkt die energetischen und sonstigen Konzepte, die für die Klimaneutralität erforderlich sind, in Neubaugebieten nicht nochmals verändert werden.

Klimaneutrale Energiesysteme und andere relevanten Quartieraspekte wie z.B. die Mobilität, können die städtebauliche Gestaltung deutlich beeinflussen, diese müssen deshalb parallel zur Bauleitplanung und damit frühzeitiger als bislang geplant und entsprechende Komponenten im Bebauungsplan aufgenommen werden. Welche Herausforderungen damit verbunden sind, wurde im Forschungsvorhaben EnStadt:Pfaff ermittelt. Weiter wurde die Erstellung des Bebauungsplans für das Pfaff-Quartier wissenschaftlich begleitet und Energie- und Mobilitätslösungen entwickelt, die in den Bebauungsplan übernommen wurden, um das Ziel eines klimaneutralen Quartiers zu erreichen. Als konkretes Ergebnis wurde im Bebauungsplan ein Leitbild, eine Solar- und Gründachpflicht und eine Stellplatzsatzung mit Mobilitätsstationen aufgenommen (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Beiträge von EnStadt:Pfaff zur Entwicklung des Pfaff-Quartiers, Quelle: Triolog / EnStadt:Pfaff

Die Erfahrungen mit der Bebauungsplanerstellung haben gezeigt, dass die traditionelle Bauleitplanung in Deutschland weiterentwickelt werden muss, um die Konzeption von klimaneutralen Quartieren zu erleichtern und zielgerichtet zu unterstützen. Dies betrifft insbesondere die Abwägungsprozesse, die zunehmend komplexer werden.

Um die Klimaaspekten in der Bauleitplanung stärker zu berücksichtigen, werden folgende Maßnahmen empfohlen. Erstens sollte als Grundlage ein Leitbild entwickelt werden, an dem sich die Akteure aus den unterschiedlichen Disziplinen daran orientieren können, auch in Themen, die sie nur indirekt berühren. Zweitens sollten konkrete Zielvorgaben bezüglich der Klimaziele gemacht werden in Bezug auf die

Fristen, bis wann welches Ziel zu erreichen ist und was dieses konkret betrifft. Drittens sollte mit dem Beginn der Planaufstellung auch mit der Erstellung eines klimaneutralen Energiekonzeptes begonnen werden. Viertens sollten Klimaschutzmaßnahmen angemessen gewichtet werden entsprechend §1 Absatz 5 BauGB, dass die Wärme- und Energieversorgung von Gebäuden treibhausgasneutral zu gestalten ist [3]. Fünftens sollte für den Planaufstellungsprozess eine Verantwortliche oder ein Verantwortlicher für Klimabelange benannt werden mit der Aufgabe, alle klimaschutz- und klimaanpassungsrelevanten Fragen im Prozess zu koordinieren. Sechstens sollte vereinbart werden, dass die Abwägung von Klimamaßnahmen auf Basis einer transparenten Quantifizierung von Vor- und Nachteilen erfolgt. Siebtens empfiehlt es sich, zusätzlich zum Umweltbericht einen Klimabericht zum Bebauungsplan erstellen zu lassen, der darstellt, inwieweit der Plan das Erreichen der Klimaneutralität ermöglicht bzw. erleichtert. Auf dieser Basis stellen Bebauungspläne eine gute Basis zur erfolgreichen Umsetzung klimaneutraler Quartiere dar.

Die Arbeiten im Bereich Bauleitplanung sind im Themenbericht „Bauleitplanung für klimaneutrale Quartiere“ detaillierter beschrieben (siehe Anlage). [4] Dieses Thema wurde mit Mitteln aus beiden Teilvorhaben „Fraunhofer EnergieIKT“ und „Fraunhofer SozioMobil“ bearbeitet.

1.2 IKT-Konzept

Autor: Frank Elberzhager, Patrick Mennig (IESE)

Das IKT-Konzept 2029 beschreibt am Beispiel des Pfaff-Quartiers im Endausbau im Jahr 2029, wie die Digitalisierung unseres Lebens in Zukunft aussehen kann und welche Einflussmöglichkeiten auf klimafreundliches Verhalten der Menschen sie bietet. Das Konzept zeigt, wie Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in Zukunft in das Leben der Quartiersbewohner:innen, Anwohner:innen, Besucher:innen, Arbeiternehmer:innen, Pendler:innen und sonstiger Akteure eingebettet sein kann.

Wie sieht unser Leben in zehn oder noch mehr Jahren aus? Welchen Herausforderungen müssen wir uns aufgrund der veränderten Lebensbedingungen durch den Klimawandel stellen? Wir haben Konzepte entworfen, wie ein klimaneutrales Stadtquartier realisiert werden kann. Das Projekt hat sich dabei am Klimaschutzziel der Bundesregierung der Klimaneutralität für das Jahr 2045 orientiert. Gleichzeitig steigt der Anteil der Menschen, die in Städten leben, stetig. Weltweit lebt mehr als die Hälfte der Bevölkerung der Erde in Städten; in Deutschland sind es bereits über 75 %. Entwicklungen, die das Klima durch Handlungsänderungen von Menschen schützen sollen, sind daher in Städten besonders wichtig. Die digitale Quartiersplattform unterstützt das Erreichen der Ziele, indem Nutzer in nachhaltigem Handeln unterstützt werden. Ihnen werden u.a. Dienste für nachhaltige Mobilität und Energie zur Verfügung gestellt und die PFAFF-Gemeinschaft zum gemeinsamen Handeln angeregt. Die verschiedenen Ideen, Maßnahmen und Lösungen der Projektpartner leisten ihren individuellen Beitrag zum klimaneutralen Quartier. Die Quartiersplattform bietet die Grundlage für die Entwicklung von Anwendungen, die Menschen dabei unterstützen, nachhaltig zu handeln.

Die digitale Quartiersplattform ist mehr als nur eine technische Lösung, sie ist auch die konzeptionelle Idealvorstellung, wie in Zukunft Technologie in das tägliche Leben integriert ist. Schon heute sind technische und digitale Elemente fester Bestandteil unseres Lebens. Smartphones und Apps unterstützen uns beim Einkauf, beim Tanken, beim Sport, halten Notizen und Erinnerungen fest, u. v. m. Das IKT-Konzept beschreibt eine positive Vision, wie digitale Technologien unser Leben nachhaltig beeinflussen, zum Wohl einzelner Individuen, größerer Gruppen und ganzer Gesellschaften. Der Mensch steht im Mittelpunkt der digitalen Quartiersplattform. Sie muss sich nach den Menschen und ihrem Leben richten (siehe Abbildung 3). Das Leben der Bewohner und Besucher des PFAFF-Quartiers wird in Zukunft anders aussehen als heute. Alle Domänen des Alltags, wie Arbeitswelt, Mobilität, Bildung und Wohnen

werden geprägt sein durch die stetig voranschreitende Digitalisierung, die Zunahme von Automatisierung und globaler Vernetzung, die Auswirkungen des Klimawandels und die Ressourcenknappheit.



Abbildung 3: Die digitale Quartiersplattform stellt den Menschen in den Mittelpunkt

Weitere Details sind im Themenbericht „IKT Konzept 2029“ nachzulesen, in dem die Vision der digitalen Quartiersplattform als technische und organisatorische Grundlage für IKT im klimaneutralen Quartier erläutert wird. Danach werden das klimaneutrale Stadtquartier und Gestaltungsräume des Forschungsprojektes anschaulich dargestellt. Es folgt eine Betrachtung betroffener Stakeholder und beispielhafter Personas von Menschen rund um das PFAFF-Quartier, bevor mögliche digitale Dienste der Quartiersplattform anschaulich dargestellt werden. Die technischen Details der digitalen Quartiersplattform werden im Anschluss skizziert. Abschließend werden mögliche Geschäfts- und Betreibermodelle visualisiert dargestellt, wobei auch auf die Kostenstruktur eingegangen wird.

Das IKT-Konzept 2029 bietet einen leichtgewichtigen Zugang zum Thema Digitalisierung im PFAFF-Quartier und ist im Themenbericht „Digitale Lösungen für ein klimafreundliches Stadtquartier“ noch einmal aufgegriffen und zeigt, welche Lösungen bisher umgesetzt werden konnten und wo die Reise zukünftig hingehen wird. Dabei wurde zum Ende des Projekts noch mal ein viel breiterer Blick eingenommen und Themen im Projekt aufgegriffen, bei denen die Digitalisierung eine grundsätzliche Rolle spielt. Dies ist u.a. durch Ergebnisse wie der Pfaff-Landkarte, der KLara App, dem PfaffFunk, dem Quartierssimulator, dem Smart-Home Simulator, durchgeführten Hackathons mit eigenen prototypischen Ergebnissen sowie ein weiterer Ausblick in die Jahre 2030 und 2045 dargestellt, die neben den Kernthemen Quartiersplattform, Energieeffizienz-App und Mobilitätsdienste ausgearbeitet wurden.

Die Arbeiten im Bereich IKT Konzept sind im Themenbericht „IKT-Konzept 2029“ detaillierter beschrieben (siehe Anlage). [5]

1.3 Monitoringkonzept

Autoren: Philipp Fleischmann, Gerhard Stryi-Hipp (ISE)

EnStadt:Pfaff wurde von 2017 bis 2024 durchgeführt, um zu demonstrieren, wie ein klimaneutrales Quartier konzipiert und umgesetzt werden kann. Hierzu wurden Energie-, Mobilitäts- und Digitalisierungskonzepte erstellt und verschiedene innovative Technologien demonstriert, die zur Erreichung der Klimaneutralität hilfreich sind. Dies sind z.B. farbige Photovoltaikmodule, bauteilintegrierte Lüftungsgeräte und Ladeinfrastruktur zum bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen.

Im anschließenden Monitoring- und Transfervorhaben EnStadt:Pfaff 2, das von 2025 bis 2027 durchgeführt wird, erfolgt ein wissenschaftliches Monitoring, bei dem die wichtigsten Energieströme im Quartier erfasst und ausgewertet werden, um zu überprüfen, ob die Erwartungen der Planungen erreicht werden und ob sich das Quartier erfolgreich auf dem Weg zur Klimaneutralität befindet. Weiter werden die demonstrierten Technologien im Einsatz überwacht, um deren Performance zu ermitteln. Bei Bedarf sollen Empfehlungen für Verbesserungen der Betriebsweise ausgearbeitet werden.

Im Rahmen des Erstvorhabens wurde das Monitoringsystem konzipiert, mit den Beteiligten, insbesondere dem Energieversorger und Messstellenbetreiber SWK (Stadtwerke Kaiserslautern) abgestimmt und weitestgehend implementiert. Allerdings konnte das Monitoringsystem erst im Laufe des Jahres 2025 fertiggestellt und in Betrieb genommen werden, da ein großer Teil der Zähler erst zu einem späten Zeitpunkt installiert oder mit einer Kommunikationsschnittstelle versehen wurde.

Zur Datenerfassung werden in der Regel die vorhandenen Zähler der SWK genutzt, die entweder über Modbus oder über einen IR-Sensor ausgelesen werden. Eine entsprechende Vereinbarung wurde mit der SWK getroffen. Erfasst werden elektrische und Wärmeströme und im Einzelfall auch Kälteströme. Darüber hinaus werden einzelne Klimadaten erfasst. Die Daten werden in den vermessenen Gebäuden an einen Messrechner geleitet, der sie per Internet an die Cloud-basierte Monitoring-Datenbank sendet. Von dort können sie zur Auswertung oder zur Darstellung abgerufen werden. Abbildung 4 zeigt das Schema der Datenerfassung, die Weiterleitung an die Mondas-Datenplattform sowie die Datennutzung.

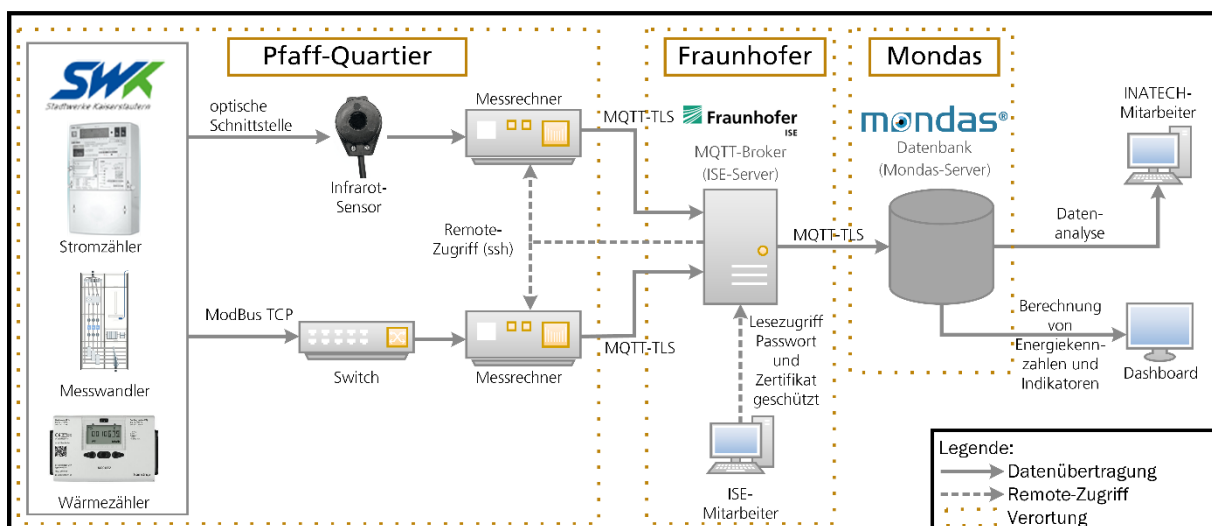


Abbildung 4 Schema der Datenerfassung und -übertragung für das Monitoring im Pfaff-Quartier, Quelle: Fraunhofer ISE, Bilder von Lackmann und Kamstrup

Ein wichtiger Aspekt beim Monitoring ist der Datenschutz und die Datensicherheit. Das Ziel des Monitorings ist es, die Quartiersentwicklung zu bewerten, deshalb werden nur die Gesamtenergieverbräuche der einzelnen Gebäude erfasst und auf die Messung von Energieverbräuchen einzelner

Nutzungseinheiten (Wohnungen, Büros etc.) verzichtet. Somit wird die Erfassung von personenbezogenen Daten vermieden, was den Datenschutzaufwand deutlich reduziert. Trotzdem findet die Übertragung der Daten nur verschlüsselt statt und nur Berechtigte haben einen passwortgeschützten Zugang zu den Daten.

Eine detaillierte Beschreibung, wie das Monitoringsystem aufgebaut ist, wie die Datenkommunikation umgesetzt wurde, welche Maßnahmen zum Datenschutz und zur Datensicherheit ergriffen wurden und wie die Daten genutzt werden, ist dem Themenbericht „Monitoringkonzept für das Pfaff-Quartier“ zu entnehmen (siehe Anhang) [6].

2 Themenbereich Umsetzung Reallabor – Ebene Quartier

2.1 Digitale Quartiersplattform und Energieeffizienz-Applikation

Autoren: Frank Elberzhager, Balthasar Weitzel (IESE)

Die Digitale Quartiersplattform unterstützt die Erstellung von Anwendungen im Kontext der Digitalisierung des Pfaff-Quartiers. Solche Anwendungen wurden zum einen im Projekt entwickelt, sollen aber auch langfristig von externen Partnern zur Verfügung gestellt werden können. Besonders für die Verstärkung der Projektergebnisse nach Ende des Projekts ist die Langlebigkeit der Plattform relevant. Dazu stellt die Plattform Basisdienste zur Verfügung, mit deren Hilfe einfach neue Dienste oder Anwendungen erstellt werden können. Dabei liegt der Fokus stark auf Anwendungen mit direkter Nutzerinteraktion, die beispielsweise als Mobilanwendungen oder Webanwendungen bereitgestellt werden. Beispielhafte Basis-Dienste sind eine Nutzerverwaltung, Push-Nachrichten, DSGVO (Datenschutz-Grundverordnung) Dienste, Stammdaten-Verwaltung, Chat-Dienste, Bilder-Dienste oder auch Gamification-Konzepte.

Diese Basis-Dienste können von Anwendungen benutzt werden und ermöglichen damit eine Fokussierung auf den eigentlichen Mehrwert des Dienstes. Die Plattform wird in einer Cloud-basierten Umgebung betrieben, die automatisch skaliert und damit eine schwankende Nutzerzahl und Last bedienen kann. Endbenutzer interagieren dabei nicht direkt mit der Plattform, sondern über die Dienste, die auf der Plattform zur Verfügung gestellt werden.

Einen Überblick über die konzeptionelle Architektur der Plattform bietet Abbildung 5. Dabei wird grundlegend zwischen Anwendungen auf der Plattform und der Plattform selbst unterschieden. Nutzer interagieren hauptsächlich mit den Anwendungen, nur für querschnittliche Aspekte wie Anmeldung oder Datenauskunft findet eine direkte Interaktion mit der Plattform statt. Die Anwendungen selbst zerfallen wiederum in einen Frontend- und Backend-Teil. Dabei ist die Aufgabe des Frontends, die direkte Interaktion mit einem einzelnen Nutzer zu ermöglichen. Diese Frontends sind dabei häufig Apps, die auf einem Gerät installiert sind, oder Webanwendungen, die dann im Browser ausgeführt werden.

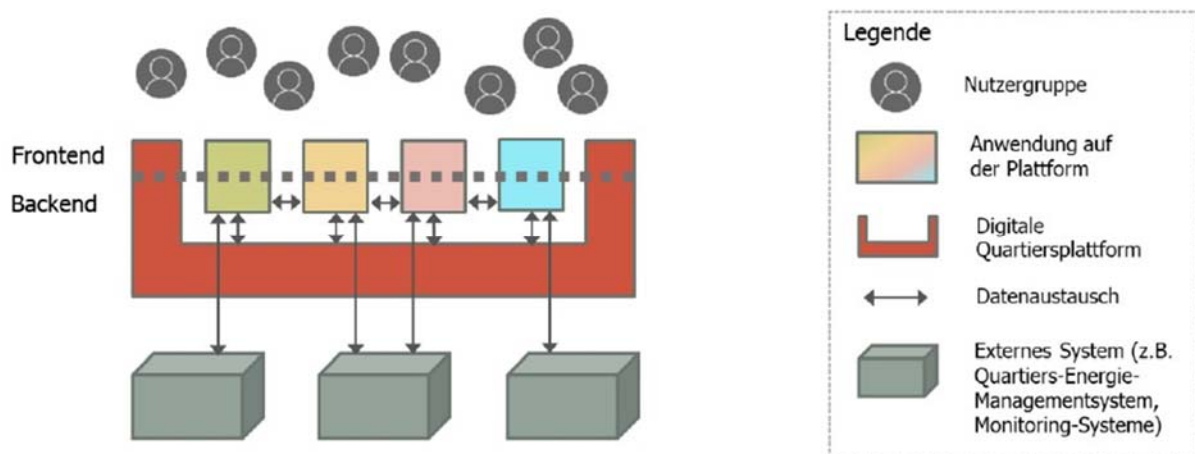


Abbildung 5: Konzeptionelle Architektur der digitalen Plattform, Quelle: Fraunhofer IESE

Der Backend-Teil der Anwendungen hingegen hat einen anderen Anspruch. Er sorgt dafür, dass es zu einem geregelten Datenaustausch zwischen den einzelnen Frontends der Anwendung kommt. Am Beispiel einer Chat-Anwendung würden die Frontends der Nutzer die Nachrichten an das Backend schicken, welches dann wiederum diese Nachrichten genau den Frontends zur Verfügung stellt, deren Nutzer

darauf Zugriff haben. Zusätzlich sorgen die Backend-Teile der Anwendungen auch für einen Austausch zwischen Anwendungen. Beispielsweise könnte eine Anwendung, die Mitfahrten organisiert, direkt als Bot in einer Chat-Anwendung eingebunden werden.

Im Rahmen des Vorhabens EnStadt:Pfaff wurde neben der Quartiersplattform auch ein Plattform-Mock erstellt. Der Plattform-Mock bietet eine Prototypumgebung und soll Entwickler dabei unterstützen, neue funktionale Prototypen im Plattformkontext schneller und effizienter zu entwickeln. Dies bedeutet, dass die Entstehungsdauer eines Prototyps zwischen grundlegender Idee zu Beginn bis zur fertig umgesetzten Prototypanwendung verkürzt werden kann. So können neue Anwendungen schneller entwickelt werden.

Eine digitale Applikation im Rahmen des Themas Energie war die Fish 'n Tipps App. Zielstellung war es, die Infrastruktur der Plattform zu verwenden, um Nutzern ein Nutzungserlebnis zu bieten, das ihren Energieverbrauch sichtbar macht und ihnen hilft, im Alltag Energie zu sparen. Das Konzept der Energieeffizienzapplikation sollte dann prototypisch umgesetzt werden. Einen Eindruck vermittelt die beispielhaften Screenshots der App in Abbildung 6.



Abbildung 6: Beispielhafte Screenshots der Fish 'n Tipps App, Quelle: Fraunhofer IESE

Weitere Details sind dem Themenbericht „Digitale Quartiersplattform und Energieeffizienz-Applikation“ zu entnehmen (siehe Anhang). [7]

2.2 Agentenbasiertes Quartiers-Energiemanagementsystem

Autor: Arne Surmann (ISE)

Das Energiesystem befindet sich in einem umfassenden Umstrukturierungsprozess von einem fossilen und zentralisierten System zu einer dezentralen Struktur, die auf erneuerbaren Energiequellen basiert. Damit einher geht die Elektrifizierung des Wärmesektors und der Mobilität. Damit nimmt der Stromverbrauch zu und mit steigenden Anteilen von Solar- und Windenergie weist die Stromerzeugung zunehmend Schwankungen auf. Um den diesbezüglich notwendigen Ausbau der Stromnetze und der Speicher in Grenzen zu halten, sollte sich der Verbrauch sowohl örtlich als auch zeitlich an der Erzeugung orientieren.

Dies wirft verschiedene Fragestellungen im Quartierskontext auf. Wie kann genügend erneuerbarer Strom produziert werden, um nicht nur den heutigen Bedarf, sondern auch den steigenden Bedarf aufgrund der Elektrifizierung des Heizungs- und Mobilitätssektors zu decken? Wie kann der Stromverbrauch mit der volatilen Stromproduktion von Wind- und Solaranlagen räumlich und zeitlich in Einklang gebracht werden? Und wie kann dies auf sozial akzeptable Weise geschehen, bei der die Bürger aktiv teilnehmen und von dem Strukturwandel profitieren können? Mit dem agentenbasierten Energiemanagement wurde im Vorhaben EnStadt:Pfaff eine mögliche Lösung entwickelt, mit der diese Fragen aus der Perspektive des Quartiers teilweise beantwortet werden können.

Ein agentenbasiertes Quartiers-Energiemanagementsystem (EMS) zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Gemeinschaftliche Optimierungsziele angereizt durch Quartierspreis
- Individuelle Ziele und Konfigurationsparameter ohne zentrale (Fern-)Steuerung
- Einfach Skalierbar und Adaptierbar durch neue Agenten im Verbund
- Resilienz durch verteilte Optimierung
- Privatsphäre durch lokale Datenhaltung
- Optionales Add-on: Offener Konsensmechanismus durch Smart Contract Abrechnung und verteilte Buchhaltung in einer privaten Blockchain

Das Systemlayout des Quartiers-EMS ist in Abbildung 7 und Abbildung 8 schematisch dargestellt.

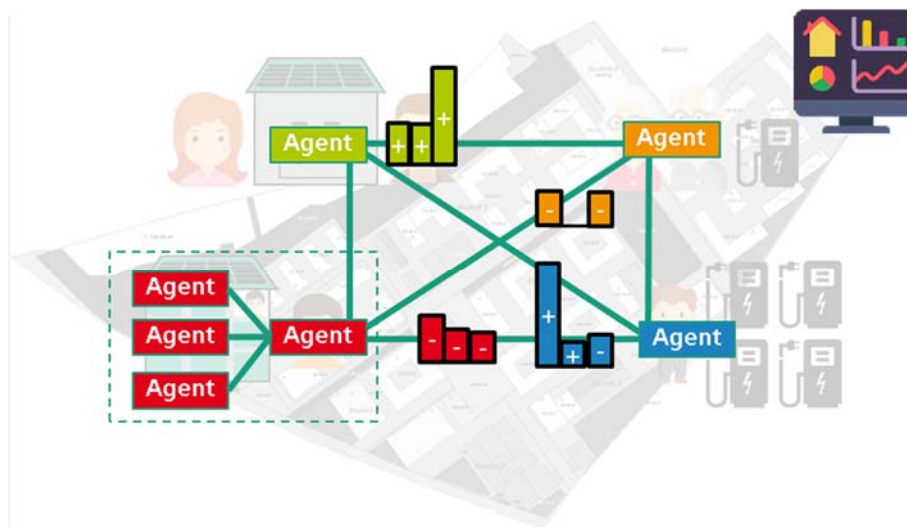


Abbildung 7: Kommunikation im Agentenverbund zunächst im Team und dann im Quartier, Quelle: Fraunhofer ISE

Im Vorhaben EnStadt:Pfaff wurde ein agentenbasiertes Quartiers-EMS entwickelt und im Labor auf verteilter Hardware installiert und demonstriert. Dabei wurde der ökonomische Mehrwert für den Einsatz des Agenten EMS für bidirektionales Laden im Quartier untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass der Eigenverbrauch im Quartier um 19% gesteigert werden könnte, wobei 11% auf gesteuertes und 8% auf bidirektionales Laden zurückzuführen ist [8]. Im Laborbetrieb wurde gezeigt, dass das Agentensystem in Echtzeit eine verteilte Optimierung durchführt und Agenten sich zuschalten und abmelden können. Das System funktioniert auch bei Teilausfällen von Agenten oder dem Ausfall des übergeordneten Kommunikationssystems durch einen hierarchischen Aufbau auf eine lokale Team- und eine Quartiersebene.

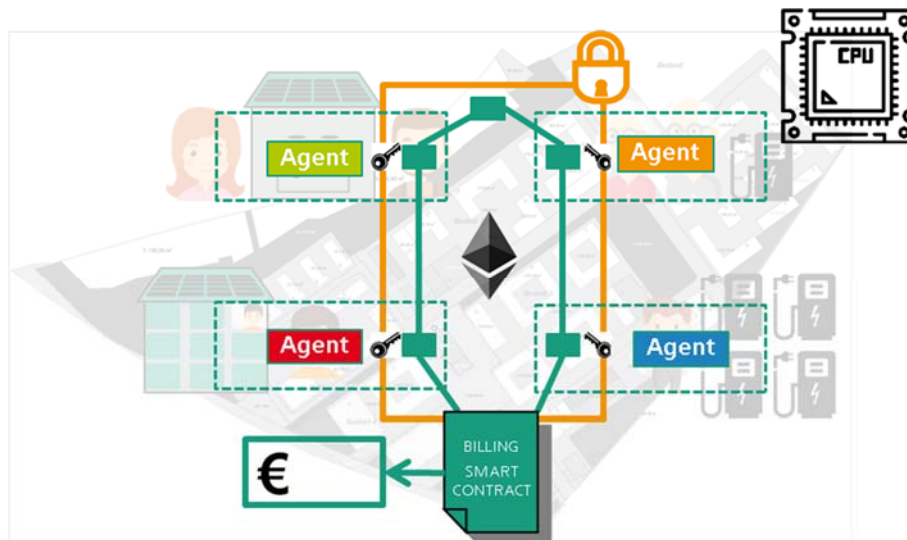


Abbildung 8: Nachgelagerte Abrechnung der Energiemengen in einem Ethereum Smart Contract, Quelle: Fraunhofer ISE

Aus den Ergebnissen der Arbeiten konnten folgende allgemeine Erkenntnisse gewonnen werden:

- Ein dezentrales EMS bietet viele Vorteile gegenüber einer zentralen Variante in puncto Datenhaltung, Resilienz und Adaptierbarkeit
- In einer vollständig selbstverwalteten Energiegemeinschaft könnte eine Blockchain-Lösung zur Konsensfindung eingesetzt und direkt mit den optimierenden Agenten verbunden werden. Mit einem Quartiersbetreiber als Vertrauensinstanz ist die Blockchain nicht notwendig.
- Eine lokale Optimierung im Haus ist derzeit ökonomisch sinnvoll, z.B. im Mieterstromkonzept oder mit gemeinschaftlicher Gebäudeversorgung. Ein Quartiersbetrieb, z.B. in Form einer Erneuerbaren Energien-Gemeinschaft, bietet derzeit in Deutschland keine ökonomischen Anreize, sofern sich das Quartier im öffentlichen Netz befindet. Unter der in Österreich geltenden Regulatorik für Energiegemeinschaften würden sich die Stromkosten im Pfaff-Quartier dagegen um 3,6 ct/kWh reduzieren [9].
- Eine Optimierung des Quartiers auf Eigenverbrauchsmaximierung ist gut, eine Optimierung auf übergeordnete systemdienliche Ziele wäre für das Gesamtenergiesystem besser. Wie Quartiere sich systemdienlich verhalten können, ist weiter Gegenstand der Forschung.

Eine detaillierte Beschreibung der Arbeiten und Ergebnisse können dem Themenbericht „Agentenbasiertes Energiemanagement und Blockchain-basierte Organisation für Energiegemeinschaften“ entnommen werden (siehe Anhang) [10].

2.3 Optimierung dezentrale und zentrale Stromspeicher

Autor: Stephan Lux, Gerhard Stryi-Hipp (ISE)

Mit dem zunehmenden Ausbau der volatilen Solar- und Windstromerzeugung gewinnen Batteriespeicher als integraler Bestandteil moderner Energiesysteme immer mehr an Bedeutung. In klimaneutralen Quartieren eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten für den Einsatz von Batteriespeichern in Gebäuden und auf Quartiersebene, um den Selbstversorgungsgrad von Gebäuden und den Quartieren mit Strom zu erhöhen und möglicherweise Systemdienstleistungen für das Stromnetz zur Verfügung zu stellen. Dies ermöglicht eine höhere Unabhängigkeit von externen Energieversorgern und trägt zur Stabilisierung des lokalen Stromnetzes bei. Zudem bieten sich innovative Geschäftsmodelle an, wie

beispielsweise Energie-Sharing-Systeme innerhalb eines Quartiers oder die Bereitstellung von Speicherkapazitäten für flexible Lastmanagementlösungen.

Eine solide Modellierung und Simulation von Batteriespeichern ist die Grundlage für einen sinnvollen und effizienten Einsatz der Batteriespeicher. Um die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichersystemen optimal zu nutzen, ist es unerlässlich, präzise Modelle zu entwickeln, die das Verhalten der Speicher unter verschiedenen Betriebsbedingungen abbilden. Durch detaillierte Simulationen können potenzielle Einsatzszenarien analysiert und optimiert werden, bevor die Systeme tatsächlich installiert werden. Dies umfasst die Betrachtung von Lade- und Entladezyklen, die Integration erneuerbarer Energiequellen sowie die Berücksichtigung von Netzanforderungen und regulatorischen Rahmenbedingungen, aber auch das Langfristverhalten der Batteriespeicher aufgrund von Alterungsprozessen. Im Vorhaben EnStadt:Pfaff wurde deshalb ein fundiertes Modell zur Simulation der Alterung von Lithium-Ionen-Batteriespeicher entwickelt und parametrisiert auf Basis von Alterungsuntersuchungen an Batteriezellen (siehe Abbildung 9). Damit konnte nachgewiesen werden, dass Li-Ionen Batteriesysteme eine Lebensdauer von mindestens 10 bis 14 Jahren aufweisen.

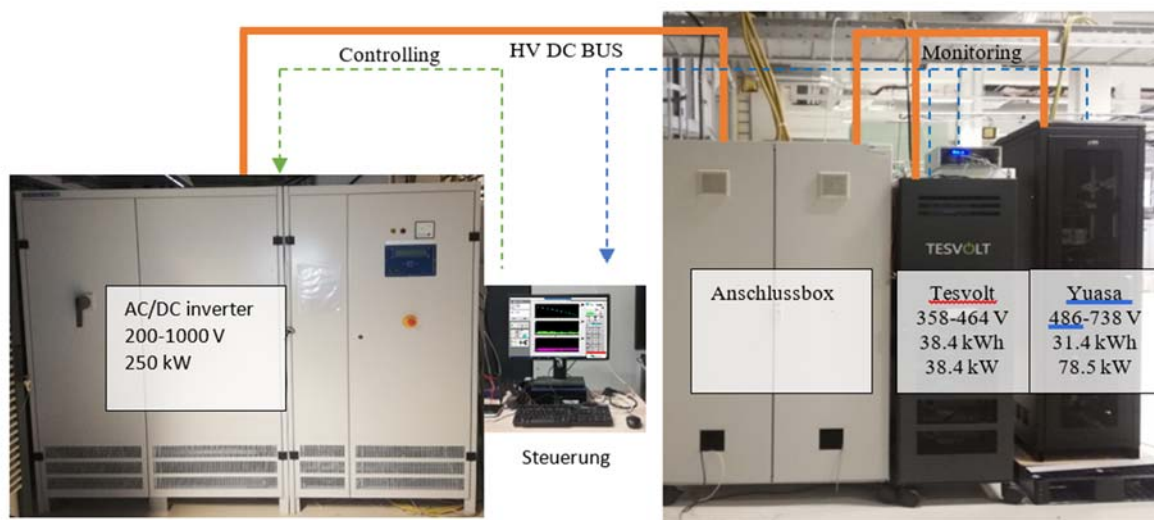


Abbildung 9: Aufbau des Messstands für Alterungsuntersuchungen an Batterien, Quelle: Fraunhofer ISE

Mit dem validierten Modell lassen sich die Lebensdauer von Batteriesystemen im konkret geplanten Einsatz prognostizieren und Wartungsstrategien entwickeln, die die Betriebskosten minimieren und die Effizienz maximieren. Dies hilft, Risiken im Betrieb von Batteriesystemen zu identifizieren und die Entscheidungsfindung für Investitionen in Batteriespeicher auf eine solide Basis zu stellen.

Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von stationären Batteriespeichern sind attraktive Geschäftsmodelle. Diese hängen stark von den technischen, energiewirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen ab. Im Vorhaben wurde untersucht, welche Geschäftsmodelle für Batteriespeicher für Gewerbebetriebe im Quartier interessant sind, um künftige Chancen für deren Einsatz zu erkennen. Dabei wurde gezeigt, dass attraktive Geschäftsmodelle vorhanden sind, wobei diese von der Größe des Verbrauchers und der Größe der Batteriespeicher abhängt. So profitieren Gewerbebetriebe mit einem Stromverbrauch größer 100 MWh/a auch davon, dass ein Batteriespeicher die Spitzenlast reduziert und somit Einsparungen beim Leistungspreis ergeben.

Die Arbeiten im Bereich Batterien sind im Themenbericht „Untersuchungen zum Einsatz von Batteriespeichern in Quartieren: Lebensdauer und Geschäftsmodelle“ detaillierter beschrieben (siehe Anlage). [11]

2.4 Reallabor-Zentrum

Autor:innen: Gerhard Stryi-Hipp, Sebastian Gölz, Johanna Kucknat (ISE), Bettina Dech-Pschorn, Diana Neubert (Stadt Kaiserslautern), Frank Elberzhager (IESE), Rolo Fütterer (Hochschule Kaiserslautern)

Das Vorhaben EnStadt:Pfaff ist als Reallabor konzipiert, in dem das Konsortium aus Wissenschaft, Wirtschaft und Kommune mit den Akteuren vor Ort gemeinsam Lösungen bei der Entwicklung des klimaneutralen Pfaff-Quartiers erarbeiten. Das Ziel ist ein vertieftes Verständnis von Hemmnissen bei der Entwicklung klimaneutraler Quartiere und deren Überwindung. Die Erkenntnisse aus EnStadt:Pfaff sollen dazu beitragen, die Entwicklung von Quartieren in Deutschland künftig stärker am Ziel der Klimaneutralität auszurichten. Dies erfordert einen schnellen Transfer der Erkenntnisse der wissenschaftlichen Ergebnisse in die Praxis zu den Entwickelnden, Planenden und Umsetzenden von Quartieren.

Mit dem Aufbau eines Reallabor-Zentrums wurde ein physischer Ort und damit eine gute Voraussetzung geschaffen für einen gezielten Transfer der Ergebnisse von EnStadt:Pfaff in die Praxis. Hier kann die Kommunikation des Konsortiums mit interessierten Akteuren erfolgen und durch eine Ausstellung, einem Quartiersspiel und einer Quartierswerkstatt Inhalte zielgruppengerecht vermittelt werden.



Abbildung 10: Visualisierung des ursprünglich geplanten Reallabor-Zentrums im Neuen Kesselhauses, 1. Fortschreibung des Rahmenplans 2018, Quelle: ASTOC Mess

Ursprünglich sollte das ehemalige Neue Kesselhaus saniert und zum Reallabor-Zentrum ausgebaut werden (siehe Abbildung 10). Verschiedene Demonstratoren eines klimaneutralen Quartiers sollten im Gebäude installiert werden. Leider hat sich die Bausubstanz des Gebäudes als ungenügend erwiesen. Glücklicherweise konnte ein gut geeigneter Raum als Alternative gefunden werden, so dass bis zum Vorhabenende das Reallabor-Zentrum erstellt werden konnte. Daraus lässt sich die Empfehlung ableiten, dass in großen Demonstrationsprojekten ein physischer Ort für den Austausch geschaffen werden sollte, dass dieser jedoch möglichst unabhängig vom sonstigen Baufortschritt konzipiert sein sollte.

Ein zentrales Element zur Vermittlung der Erkenntnisse zu klimaneutralen Quartieren war der Aufbau einer Ausstellung. Diese behandelt die Themenfelder Energie, Gebäude, Mobilität sowie Mensch und Technik. Die Inhalte werden über Augmented Reality (AR) Technik mittels Tablets vermittelt, wenn diese auf die physischen Exponate gerichtet werden. Eine klare Definition der Zielgruppen und eine entsprechende Ausrichtung der Sprache, der Inhalte und der Detailtiefe ist wichtig. Die Umsetzung war deutlich zeitaufwändiger als erwartet. Daraus wurde die Erkenntnis abgeleitet, dass die gezielte Wissenschaftskommunikation ein festes Element von Forschungsvorhaben an Quartieren sein sollte, dass dafür aber auch ausreichende Ressourcen und Kompetenzen eingeplant werden müssen.

Weiter wurde ein Computer-Quartiersspiels als Serious Game entwickelt, das im Reallabor-Zentrum gespielt werden kann. Dieses vermittelt spielerisch die relevanten Abwägungsprozesse bei der Entwicklung klimaneutraler Quartiere. Dazu läuft eine Spielfigur auf einem großen Touch-Screen durch das Pfaff-Quartier und löst bestimmte Aufgaben für deren Lösung es Punkte gibt. In der Quartierswerkstatt werden digitale Lösungen vorgestellt und gemeinsam mit Teilnehmer:innen von Veranstaltungen entwickelt. Weiter wurden Videos über verschiedene Aspekte der Quartiersentwicklung erstellt.

Das Reallabor-Zentrum bietet für das anschließende Monitoring- und Transfervorhaben EnStadtPfaff 2 den Rahmen für einen intensiven Transfer der Erkenntnisse in die Praxis. Dabei wird sich erst zeigen, wie sich die entwickelten Angebote bewähren.

Die Arbeiten zum Reallabor-Zentrum sind im Themenbericht „Reallabor-Zentrum im Pfaff-Quartier“ detaillierter beschrieben (siehe Anlage). [12]

3 Themenbereich Umsetzung Reallabor – Ebene Gebäude

3.1 Bauteilintegrierte Lüftung

Autoren: Sven Auerswald, Peter Engelmann (ISE)

Im Rahmen des Vorhabens EnStadt:Pfaff wurde die Entwicklung und Erprobung bauteilintegrierter Lüftungssysteme mit Fokus auf Energieeffizienz, Nutzerkomfort und technische Robustheit untersucht. Die Relevanz kontrollierter Wohnraumlüftung ist groß vor dem Hintergrund zunehmender Luftdichtheit moderner und sanierter Gebäudehüllen, steigender Anforderungen an die Raumluftqualität sowie weiterer gesundheitlicher und energetischer Aspekte. Mechanische Lüftungssysteme weisen ein hohes Potenzial aus zur Verbesserung der Luftqualität bei gleichzeitiger Reduktion von Wärmeverlusten und sind somit eine Komponente zur Erreichung der Klimaneutralität in Quartieren. Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden weisen Bauteil-integrierte und insbesondere Fassaden-integrierte, dezentrale Lösungen besonders Vorteile auf, denn die Integration in Bauteile wie Fensterrahmen, Rollladenkästen oder Fassaden-dämmung ermöglicht Zeit- und damit Kostenersparnisse bei der baulichen Umsetzung.

In den Fensterrahmen des Demonstrationsobjekts im Pfaff-Quartier, dem Alten Verwaltungsgebäude (siehe Abbildung 11), wurde ein hybrides Pendellüftungssystem installiert, um die Systeme zu erproben und weiterzuentwickeln. Allerdings erfolgte der Einbau aufgrund von Verzögerungen der Umbauten so spät, dass die Erprobung und Weiterentwicklung der Technik nicht am Gebäude in Kaiserslautern, sondern an einem Demonstrationsgebäude in Adorf (Vogtland, Sachsen) erfolgte. Auf Basis einer detaillierten Analyse bestehender Schwachstellen wurde das in einem Vorläuferprojekt entwickelte Fenster-integrierte Lüftungssystem optimiert in Bezug auf eine fehleranfällige Klappensteuerung, unzureichende Sensorik, hohe Geräuschentwicklung und Systemausfälle. Zwei zentrale Maßnahmen wurden dabei umgesetzt: die vollständige Überarbeitung der Steuerungslogik sowie der Ersatz der Klappenmechanik durch einen strömungstechnischen Schichtdiffusor. Ergänzt wurden diese durch eine verbesserte Sensorik, nutzerfreundlichere Betriebsweise und eine moderne Datenvisualisierung, einerseits zur wissenschaftlichen Auswertung der Daten, aber auch als Schnittstelle für NutzerInnen.



Abbildung 11: Nord-Ost Fassade des Alten Verwaltungsgebäudes (links), Fensterrahmen-integriertes Lüftungsgerät in der Einbausituation (Mitte) und die Innenansicht eines eingebauten Geräts (rechts), Quelle: Fraunhofer ISE

Die Validierung im Realbetrieb in Adorf zeigte signifikante Verbesserungen: Die Systemstabilität des Reglers wurde erhöht, die Geräuschentwicklung deutlich reduziert und die Energieeffizienz gesteigert. Der spezifische Heizwärmeverbrauch im Demonstrationsgebäude in Adorf lag bei $32 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, was der Energieklasse B entspricht. Bei konsequenter Nutzung einer sensorbasierten Regelung und damit weiterer Reduktion der Lüftungswärmeverluste wäre Klasse A erreichbar. Die Rückwärmzahl betrug im Mittel 95,5 %. Die Ergebnisse demonstrieren das Potenzial bauteilintegrierter Lüftungssysteme für eine

nachhaltige, nutzerzentrierte Gebäudemodernisierung, zeigen aber auch Entwicklungsbedarf bei der Einbindung weiterer Sensorik für eine nutzungsorientierte Betriebsführung.

Die Verbesserungen der Technik sind teilweise bereits in die im Alten Verwaltungsgebäude im Pfaff-Quartier eingebauten Fensterrahmen-integrierte Pendellüfter eingeflossen. Ergebnisse dieser Anlagen sind allerdings erst im anschließenden Monitoringvorhaben nach Inbetriebnahme des Monitoringsystems im Gebäude verfügbar.

Die Arbeiten im Bereich Smart Home Anwendungen sind im Themenbericht „Bauteilintegrierte Lüftung“ detaillierter beschrieben (siehe Anlage). [13]

3.2 Morphocolor®-PV-Fassade in der Energiezentrale

Autor: Frank Ensslen, Gerhard Stryi-Hipp (ISE)

Photovoltaik (PV)-Fassaden stellen in urbanen Gebieten eine wichtige Ergänzung von PV-Dachanlagen dar, da sie das Solarpotenzial bei mehrstöckiger Bebauung deutlich erhöhen können. Die Solareinstrahlung pro m² Modulfläche ist zwar in der Fassade aufgrund des Einstrahlungswinkels geringer als bei flacher Installation der PV-Module auf dem Dach, doch wird aufgrund der kontinuierlich steigenden Effizienz der PV-Module auch in der Fassade bei guter Beplanung ein hoher Solarstromertrag erreicht.

In der Fassade installiert werden PV-Module zum gut sichtbaren Gestaltungselement und können das Erscheinungsbild von Gebäuden prägen. Dies erfordert einerseits eine sorgfältige Planung und den Einsatz ausgereifter Produkte, eröffnet andererseits aber auch neue Gestaltungsmöglichkeiten, die das Gebäude aufwerten können. Um in der Breite eingesetzt zu werden, müssen sich die PV-Fassaden im Design der Gestaltung der Gesamtfassade von Gebäuden anpassen. PV-Fassaden müssen deshalb gebäudeindividuell angeboten werden in Bezug auf die Farbigkeit und das Format der PV-Module sowie die Art der Befestigungsstrukturen, dabei sollten sie einen möglichst hohen Wirkungsgrad aufweisen.

Mit der MorphoColor®-Beschichtungstechnologie wurde am Fraunhofer ISE eine Technologie entwickelt, die es ermöglicht, PV-Module in einer große Farbauswahl herzustellen mit einer hohen Farbsättigung und Farbhomogenität sowie eine außergewöhnlich gute Winkelstabilität unter verschiedenen Betrachtungsrichtungen. Dabei ist die bei farbigen PV-Modulen unvermeidbare Reduktion des elektrischen Wirkungsgrades auf ein Minimum reduziert. Die innovativen MorphoColor®-PV-Module befinden sich derzeit in der Markteinführung.

An der Energiezentrale im Pfaff-Quartier in Kaiserslautern wurde im Rahmen des Vorhabens EnStadt:Pfaff eine burgunderrote MorphoColor®-PV-Fassade als eine der ersten Anlagen mit dieser Technologie in Deutschland installiert. Sie demonstriert an prominenter Position im Eingangsbereich des Quartiers, welche attraktiven Gestaltungsmöglichkeiten die innovative PV-Fassadentechnologie bietet. Es wird erwartet, dass die Demonstrationsanlage das Interesse an PV-Fassaden und der Akzeptanz der Beteiligten und der Öffentlichkeit erhöht (siehe Abbildung 12).

Die Planung und Umsetzung von PV-Fassadenanlagen stellt jedoch einige Herausforderungen für alle beteiligten Akteure bereit und erfordert entsprechende Kenntnisse. Deshalb werden im Themenbericht „MorphoColor®-PV-Fassade an der Energiezentrale im Pfaff-Quartier Kaiserslautern“ nach der Beschreibung der demonstrierten PV-Fassadenanlage die wichtigsten Schritte des Planungsprozesses erläutert und dann die konkreten Erfahrungen bei der Planung, Ausschreibung und der Erlangung des bauordnungsrechtlichen Verwendbarkeitsnachweises für die MorpoColor®-Module der PV-Fassade an der Energiezentrale im Pfaff-Quartier beschrieben.



Abbildung 12: Rendering der Energiezentrale im Pfaff-Quartier, Darstellung der Südost- und Südwest-Fassade, die in der oberen Hälfte als PV-Fassade ausgeführt wird, Quelle: RBS wave

Damit PV-Fassaden einen nennenswerten Beitrag zum Klimaschutz leisten, muss ihr Stromertrag ausreichend groß sein. Deshalb wurde eine detaillierte Ertrags- und Verschattungsanalyse durchgeführt, deren Ergebnisse vorgestellt und analysiert werden. Abschließend werden die Erkenntnisse zusammengefasst, die im Rahmen von EnStadt:Pfaff bei der Planung und Umsetzung der PV-Fassade an der Energiezentrale gesammelt wurden. Die zentrale Erkenntnis ist, dass mit der innovativen MorphoColor®-PV-Fassadentechnologie ein ästhetisch und vom Solarstromertrag attraktives Produkt verfügbar, für eine erfolgreiche Marktverbreitung von PV-Fassaden jedoch auch die Weiterbildung der beteiligten planenden und umsetzenden Akteure erforderlich ist. Die Erfahrungen mit der Demonstrationsanlagen im Pfaff-Quartier leisten dazu einen wichtigen Beitrag.

Die durchgeführten Untersuchungen, erzielten Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse sind im Detail im Themenbericht „MorphoColor®-PV-Fassade an der Energiezentrale im Pfaff-Quartier Kaiserslautern“ beschrieben (siehe Anhang) [14].

3.3 Smart Home Anwendungen

Autoren: Arne Surmann (ISE), Frank Elberzhager (IESE)

Die Nutzung von Smart Home Systemen in Quartieren kann insbesondere im Bereich Energieeffizienz sehr vorteilhaft sein sowohl aus Sicht der Nutzer als auch aus Sicht des Gesamtquartiers. Denn durch die Vernetzung und Automatisierung von Haushaltsgeräten und Sensoren innerhalb einzelner Smart Home Systeme als auch der Vernetzung verschiedener Smart Home Systeme im Quartier kann der Energieverbrauch signifikant reduziert und damit sowohl Kosten als auch Umweltbelastungen minimiert werden. Smart Home Systeme können damit zur Erreichung der Klimaneutralität in Quartieren beitragen, gleichzeitig sind sie auch Schnittstellen der Nutzer zu den vernetzten Geräten. Im Rahmen von EnStadt:Pfaff wurden verschiedene Anwendungskonzepte für die Nutzung von Smarte Home Anwendungen entwickelt und untersucht, dieser Themenbericht stellt diese im Überblick vor.

Ein zentraler Aspekt von Smart Home Systemen ist die Fähigkeit, Energie effizienter zu nutzen. Intelligente Thermostate, die mit Sensoren und Algorithmen ausgestattet sind, können die Heizung und

Kühlung eines Hauses optimieren, indem sie die Temperatur basierend auf der Anwesenheit der Bewohner und den Wetterbedingungen automatisch anpassen. Dies verhindert unnötigen Energieverbrauch und sorgt gleichzeitig für ein bedarfsgerechtes Raumklima. Während klassische Smart Home Systeme dies bereits effizient über Wenn-Dann Logiken abbilden, wurde im Projekt untersucht, wie beispielsweise durch zusätzliche Dienste Verhaltensweisen angelernt werden können und so die bedarfsgerechte Beheizung von Räumen oder des Warmwassers weiter verbessert werden kann.

Bei Vernetzung mit Energiemanagementsystemen (EMS) ermöglichen Informationen aus Smart Home Systemen die vorrangige Nutzung erneuerbarer Energien. So kann die Information darüber, ob jemand zu Hause ist oder bei der Arbeit, genutzt werden, um im eigenen EMS den Energiebedarf der nächsten Stunden zu prognostizieren. Der auf dieser Basis erwartete Überschuss an Solarenergie könnte dann Nachbarn angeboten werden, die keine eigene Solaranlage besitzen, deren Smart Home System aber weiß, dass am nächsten Tag die Fahrt in den Urlaub ansteht und das E-Auto vollgeladen werden sollte.

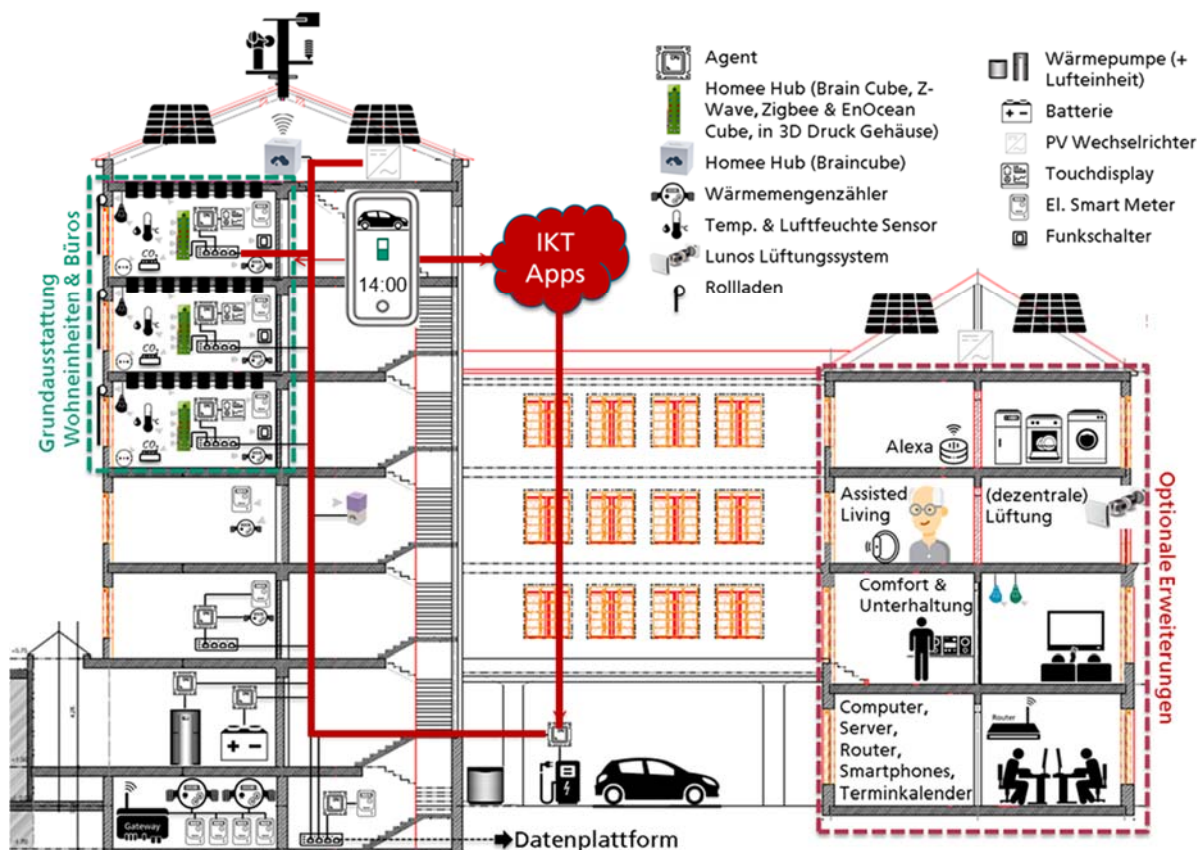


Abbildung 13: Schema des Smart Home Konzeptes für das Alte Verwaltungsgebäude im Pfaff-Quartier, das wegen der Bauverzögerungen im Vorhaben nicht umgesetzt werden konnte, Quelle: Fraunhofer ISE

Ein weiterer Vorteil der Smart Home Vernetzung in Quartieren ist die Möglichkeit, Daten zu sammeln und auszuwerten. Diese Daten können genutzt werden, um den Energieverbrauch weiter zu optimieren und gezielte Maßnahmen zur Energieeinsparung zu ergreifen. Zum Beispiel könnten Bewohner über ihre individuellen Energiemuster informiert und zu Verhaltensänderungen motiviert werden. Dieser Anwendungsfall wurde durch die Entwicklung einer eigenen Energiesparapp im Projekt demonstriert. Dabei stehen die Nutzer im Zentrum und behalten immer den Überblick über ihre Daten.

Der in diesem Bericht präsentierte Smart Home-Anwendungsfall zeigt eine Auswahl möglicher Schnittstellen zwischen verschiedenen digitalen Anwendungen und Diensten. Je mehr Datenquellen verfügbar sind, desto mehr Möglichkeiten entstehen für eine intelligente Automatisierung. Maschinelles Lernen wurde von uns nur kurz im Hinblick auf die Analyse von Nutzerverhalten getestet. Bei der Verknüpfung

verschiedener Anwendungen innerhalb des IKT-Universums, um den Energieverbrauch zu reduzieren und den Komfort zu erhöhen, rückt das Thema Datenschutz in den Fokus. Im Rahmen des EnStadt:Pfaff Vorhabens wurde nicht an der Netzwerksicherheit oder der Datenverschlüsselung gearbeitet, sondern stattdessen ein MQTT-Broker mit klaren Nachrichten verwendet, die von jedem Dienst genutzt werden können. Die Gewährleistung eines sicheren Umgangs mit persönlichen Daten ist jedoch ein wichtiges Thema für eine reale Implementierung. Auf jeden Fall sollte dabei gewährleistet sein, dass der Nutzer immer selbst entscheiden kann, welche Apps auf welche Daten zugreifen können und ob Synergien überhaupt genutzt werden sollen.

Zusammengefasst bieten Smart Home Systeme in Quartieren ein großes Potenzial zur Energieeinsparung. Sinnvoll eingesetzt ermöglichen sie eine effizientere Nutzung von Ressourcen, fördern die Integration erneuerbarer Energien und tragen zur Reduzierung von Kosten und Umweltbelastungen bei. Durch die Vernetzung und Automatisierung können sie nicht nur den individuellen Energieverbrauch optimieren, sondern auch auf Gemeinschaftsebene nachhaltige Lösungen schaffen. Voraussetzung dafür sind Systeme mit kompatiblen Schnittstellen, die sowohl eine Vielzahl an Komponenten ins eigene System integrieren können als auch mit anderen Systemen, z.B. über eine Quartiersplattform, Informationen austauschen können.

Aufgrund der starken Bauverzögerungen im Pfaff-Quartier gab es im Vorhabenzeitraum keine nennenswerte Nutzung des Quartiers mit bewohnten Gebäuden. Deshalb beschränkten sich die Untersuchungen im Bereich Smart Home Anwendungen auf Konzepte, die in einem Simulationsumfeld, bestehend aus IKT-Plattform Mockup, Laborhardware und zwei Smart Home Systemen, ausgeführt wurden.

Die Arbeiten im Bereich Smart Home Anwendungen sind im Themenbericht „Smart Home Anwendungen“ detaillierter beschrieben (siehe Anlage). [15]

4 Literatur

- [1] B. Dech-Pschorn *et al.*, "Schlussbericht Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff Gesamtvorhaben: Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff: „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern - Integrierte Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere“, " 2025.
- [2] Deutscher Bundestag, *Bundes-Klimaschutzgesetz: KSG*, 2019.
- [3] Deutscher Bundestag, *Baugesetzbuch: BauGB*, 1960. Zugriff am: 12. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/index.html>
- [4] G. Stryi-Hipp *et al.*, "Bauleitplanung für klimaneutrale Quartiere: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/materialien>
- [5] P. Mennig, S. Polst, A. Schmitt, B. Weitzel, P. Stüpfert und F. Elberzhager, "IKT-Konzept 2029: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff "Implementierung der Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern", " 2025.
- [6] P. Fleischmann und G. Stryi-Hipp, "Monitoringkonzept für das Pfaff-Quartier: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025.
- [7] B. Weitzel, P. Mennig, P. Stüpfert, F. Elberzhager und S. Scherr, "Digitale Quartiersplattform und Energieeffizienz-Applikation: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025.
- [8] A. Surmann, R. Walia und R. Kohrs, "Agent-based bidirectional charging algorithms for battery electric vehicles in renewable energy communities," *Energy Inform*, Jg. 3, S1, 2020, doi: 10.1186/s42162-020-00122-8.
- [9] A. Surmann und T. Erge, "Energiegemeinschaften in Österreich - lohnend auch für Deutschland?: Eine Fallstudie im Projekt EnStadt:Pfaff," 2021, doi: 10.24406/publica-1583. Zugriff am: 25. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/9e2c15ca-7d8d-4846-87fe-c818c9343754>
- [10] A. Surmann, "Agentenbasiertes Energiemanagement und blockchainbasierte Organisation für Energiegemeinschaften: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „Fraunhofer EnergieIKT“, " 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/materialien>
- [11] Lux, Stephan, Stryi-Hipp, Gerhard, "Untersuchungen zum Einsatz von Batteriespeichern in Quartieren: Lebensdauer und Geschäftsmodelle: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/materialien>
- [12] G. Stryi-Hipp *et al.*, "Reallabor-Zentrum im Pfaff-Quartier: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025.

- [13] S. Auerswald und P. Engelmann, "Bauteilintegrierte Lüftung: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/materialien>

- [14] F. Ensslen und G. Stryi-Hipp, "MorphoColor®-PV-Fassade an der Energiezentrale im Pfaff-Quartier Kaiserslautern: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/materialien>

- [15] A. Surmann und F. Elberzhager, "Smart Home Anwendungen: Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff „Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“, " 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/materialien>

Anhang

Themenberichte, die sich auf die Kapitel dieses Dokuments beziehen

- 1) Bauleitplanung für klimaneutrale Quartiere
- 2) IKT-Konzept 2029
- 3) Monitoringkonzept für das Pfaff-Quartier
- 4) Digitale Quartiersplattform und Energieeffizienz-Applikation
- 5) Agentenbasiertes Energiemanagement und blockchainbasierte Organisation für Energiegemeinschaften
- 6) Untersuchungen zum Einsatz von Batteriespeichern in Quartieren: Lebensdauer und Geschäftsmodelle
- 7) Reallabor-Zentrum im Pfaff-Quartier
- 8) Bauteilintegrierte Lüftung
- 9) MorphoColor®-PV-Fassade an der Energiezentrale im Pfaff-Quartier Kaiserslautern
- 10) Smart Home Anwendungen