

Abschlussbericht

Neue Geschäftsmodelle zum Energiemanagement in einem Quartiersverbund der Karlsruher Oststadt (Smart East)

von

Dr. Andreas Fischer, Johannes Galenzowski, Dr. Wiebke Hofacker, Fabian Kern,
Dr.-Ing. Manuel Lösch, Dr.-Ing. Christoph Schlenzig, Verena Schmiederer, David Wölfle

FZI Forschungszentrum Informatik (FZI)

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI)

Seven2one Informationssysteme GmbH (Seven2one)

Stadtwerke Karlsruhe GmbH (SW Karlsruhe)

Förderkennzeichen: L75 21110 - 21113

Laufzeit: 01.01.2023 - 31.12.2023

Die Arbeiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS) werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

Dezember 2023



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse	4
2. Motivation und Hintergründe des Vorhabens	7
3. Aufgabenstellung	8
4. Stand der Wissenschaft und Technik	8
Living Lab Walldorf & SynergieQuartier Walldorf	9
C/sells	9
Landau Microgrid Project	9
SmaLES	10
EnergieHafenWest	10
DELTA	11
SmartQuart	11
Neue Weststadt Esslingen	11
Darmstadt Energy Laboratory for Technologies in Application (DELTA)	11
Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg (ENaQ)	12
Fazit	12
5. Fortschritte von Dritten	12
6. Konsortium	12
Verbundpartner	12
FZI Forschungszentrum Informatik (FZI)	12
Seven2one Informationssysteme GmbH (Seven2one)	13
Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI)	13
Stadtwerke Karlsruhe GmbH (SWK)	14
Assoziierte Partner	14
Badische Energie-Servicegesellschaft mbH (BES)	14
CyberForum	14
fokus.energie	15
Hochschule Karlsruhe - University of Applied Sciences	15
Hoepfner Bräu	15
InnoCharge GmbH	16
Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg e. V.	16
Solarize Energy Solutions GmbH	16
Technologiefabrik Karlsruhe GmbH (TeFak, IHK)	17
TechnologieRegion Karlsruhe GmbH (TRK)	17
7. Durchführung des Projekts	17
Zusammenarbeit im Konsortium	17
Zusammenarbeit mit Dritten	18
Arbeitsplan	18
Arbeitspakete	19
AP0: Projektmanagement	19

AP1: Definition Anforderungsprofil und Systemarchitektur	19
Anforderungsprofil der Nutzerrollen	19
Architektur der Smart East Quartiersplattform	21
AP2: Digitalisierung der Gebäude im Quartier	23
Technische Umsetzung	28
Systemarchitektur	29
Verwendete Zähler	30
Herausforderungen	31
AP3: Entwicklung der Smart East Quartiersplattform	33
Prognosedienste	41
Das Smart East Web-Portal	42
Zusammenfassung	43
AP4: Quantifizierung der Energieflüsse im Quartier & Bestimmung der Synergiepotenziale	44
Erfassung zur direkten Steuerung geeigneter, existierender Anlagen	45
Verbrauch des Quartiers	46
Einspeisung	47
Mehrgenerationenhaus (MGH)	48
Vergleich der Eignung zum Zubau von flexiblen Ladestationen	50
Beschreibung verwendeter Tools	50
Potenzialanalyse Klimaanlage im Quartier	51
Potenzialanalyse PV	53
Energiebilanz und CO ₂ -Emissionen in Smart East	56
AP5: Entwurf von Geschäftsmodellen für energieoptimierte Quartiere	61
Zielsetzung und Fragestellungen	61
Abgeleitete Arbeitsschritte	61
Bewertungskriterien	62
Geschäftsmodelle	63
Bausteine für Geschäftsmodelle	63
Spezifikation von Geschäftsmodellen	64
AP6: Umsetzung und Bewertung der Geschäftsmodelle im Quartier	69
Umsetzung Geschäftsmodell Ladestrom mit automatisierter Optimierung	70
Geschäftsmodell Mieterstrom	71
Wirtschaftliche Bewertung	72
Netzdienlichkeit	75
Quartiersplattform als zentrale Datenplattform	76
AP7: Öffentlichkeitsarbeit und Anwenderkreis	78
8. Erzielte Ergebnisse	81
9. Veröffentlichungen	82



1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Das Reallaborprojekt Smart East transformiert ein bestehendes, gemischtes Wohn- und Gewerbegebiet in der Karlsruher Oststadt in ein smartes, energieoptimiertes, klimaschonendes Quartier. Im Projekt wurden neue Geschäftsmodelle zur klimaneutralen Energieversorgung für energetisch optimierte Quartiersverbünde entwickelt, in der Praxis getestet und wirtschaftlich bewertet. Smart East wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit 1 Mio. EUR gefördert.

Das Reallabor Smart East fokussierte sich auf die folgenden vier Aktionsfelder:



Abbildung 1: Aktionsfelder des Reallabors Smart East

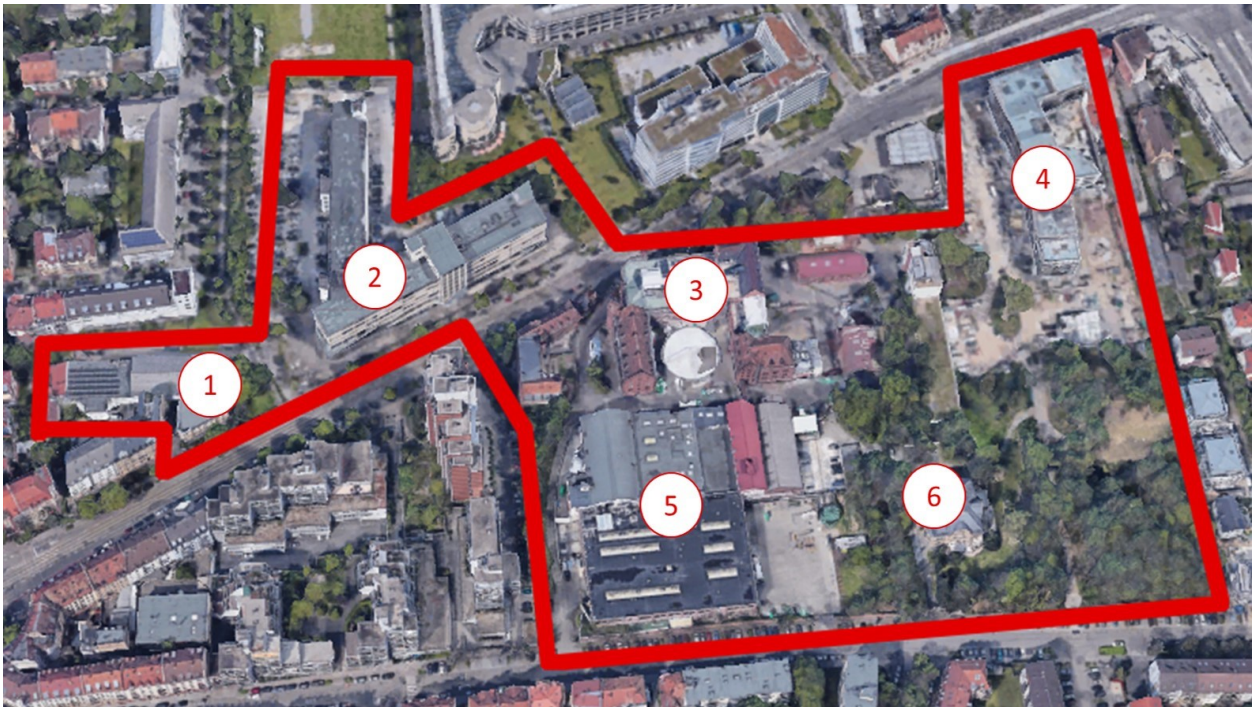


Abbildung 2: Smart East Liegenschaften in der Karlsruher Oststadt

Abbildung 2 zeigt die Liegenschaften in der Karlsruher Oststadt, die im Rahmen des Projekts Smart East zu einem energetisch optimierten Quartiersverbund vernetzt wurden:

1. FZI House of Living Labs (HoLL)
2. Technologiefabrik der IHK (TeFak)
3. Hoepfner Burg mit Cyberforum Hightech-Unternehmer-Netzwerk
4. Mehrgenerationenhaus (MGH) Hoepfner Areal
5. Hoepfner iWerkx Smart Production Park
6. Hoepfner-Villa

Das betrachtete Quartier wird von verschiedenen juristischen Personen betrieben und kann entweder als eine einzelne Kundenanlage oder als mehrere direkt aneinandergrenzende Kundenanlagen betrachtet werden. Die räumliche Nähe und insbesondere die heterogene Anlagenstruktur mit unterschiedlichen Nutzungsprofilen ermöglichte neue Optimierungspotenziale bzgl. der Kopplung der Sektoren Strom und Mobilität, die es zu untersuchen galt. Ergebnis war, dass 1 und 2 und 4 eigenständige Kundenanlagen bleiben. Die direkt aneinander angrenzenden Gebäude 3, 5 und 6 eines Besitzers werden zu einer Kundenanlage zusammengeführt, was auch von der Netztopologie möglich war.

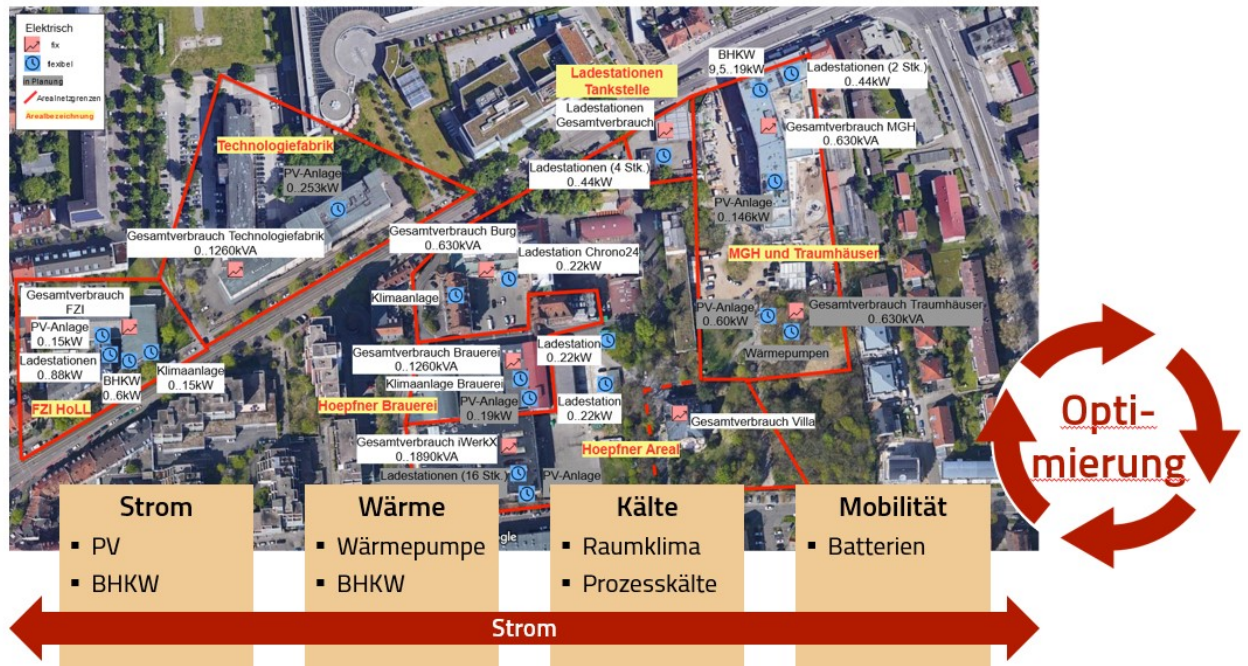


Abbildung 3: Potenziale der energetischen Vernetzung in den Kundenanlagen

Um die Optimierungspotenziale in den Kundenanlagen zu erschließen, wurden die Wohn-, Büro- sowie Produktionsgebäude mit Smart Metern digitalisiert, die digital erfassten Energiedaten in Echtzeit eingesammelt und in der Smart-East-Quartiersplattform zusammengeführt. Dort wurden sie mit dem Quartiers-Energiemanagement vernetzt. Das zentrale Optimierungsmodell wurde dann genutzt, um die Potenziale der Sektorkopplung für eine erneuerbare, klimaneutrale Energieversorgung zu bestimmen, wirtschaftlich zu bewerten und später im Betrieb zu heben.

Das gesamte Quartier wird mit Fernwärme versorgt, welche klimaschonend hauptsächlich aus der Abwärme der nahegelegenen MIRO Raffinerie gewonnen wird. Daher fiel früh im Projekt die Entscheidung, sich für den weiteren Klimaschutz im Quartier auf den Stromsektor zu konzentrieren, da im Wärmebereich kein Handlungspotential gesehen wurde. Um die CO₂-Emissionen im Rahmen des Projekts zu senken, wurde die Stromerzeugung im Quartier mit Photovoltaik (629 kWp) ausgebaut. Die dazu notwendigen Investitionen von knapp 750 T€ wurden von den Eigentümern erbracht. 22% des Stroms werden mit PV-Anlagen lokal erzeugt, wenn alle Anlagen am Netz sind. Dadurch werden die CO₂-Emissionen um 17% (270 tCO₂ jährlich) reduziert (Bezugsjahr 2022). Werden auch die bereits zu Projektbeginn im Quartier existierenden Blockheizkraftwerke (BHKW) berücksichtigt, beträgt die Emissionsminderung aus Strom-Eigenerzeugung insgesamt 21% (335 t/a).

Parallel dazu wurde die Ladeinfrastruktur im Quartier um weitere 46 Ladepunkte für Mieter und Stadtmobil Carsharing ausgebaut. Diese wurden ebenfalls von den Eigentümern finanziert.

Mit Mieterstrom und Smart Charging wurden zwei neue Geschäftsmodelle zur wirtschaftlichen Nutzung von Strom aus Photovoltaik erprobt und von der BES (Badische Energie-Servicegesellschaft), einer Tochter der Stadtwerke Karlsruhe, zur Marktreife entwickelt. Zwei während der Projektlaufzeit gegründete Startups betreiben die dazu entwickelten SaaS-Lösungen: InnoCharge mit einer SaaS-Lösung für „Smart Charging“ zum optimierten Laden von E-Fahrzeugen und Solarize mit einer Mieterstrom-SaaS-Lösung für Gewerbe. Damit ist sichergestellt, dass die BES und weitere Quartiers-Energieversorger auch nach Abschluss des Projekts den mit PV-Anlagen selbst erzeugten Strom in Quartieren optimal vermarkten können.

Die beiden neuen Geschäftsmodelle für eine klimaschonende Quartiersenergieversorgung werden heute bereits von der BES als Produkte im Quartier vermarktet – mit hoher Akzeptanz.

Hier eine Zusammenfassung der wichtigsten Projekt-Ergebnisse:

- Investitionen in Höhe von 750 T€ in PV-Anlagen (629 kWp) wurden ausgelöst
- Der PV-Anteil am Stromverbrauch wurde von 1% auf 22% gesteigert
- Die CO₂-Emissionen im Quartier wurden um 270 t jährlich reduziert (17%)
- Eine Ladeinfrastruktur mit 46 Ladepunkten wurde aufgebaut
- Alle Energieströme und Ladevorgänge werden digital live erfasst
- Eine Quartiersplattform wurde aufgebaut, in der alle Messdaten zusammenfließen
- Zwei neue Geschäftsmodelle wurden nicht nur entwickelt und erprobt, sondern auf den Markt gebracht
- Passende Vertragsangebote für Mieterstrom + Ladestrom sind von BES entwickelt, erste Mieter wurden als Kunden gewonnen
- Zwei IT-Startups haben sich gegründet: InnoCharge für Smart Charging (optimierter Ladestrom) und Solarize für Mieterstrom im Gewerbe
- Fünf Anwender-Workshops wurden durchgeführt, um die Projekt-Erfahrungen mit der Fachwelt und der Öffentlichkeit zu teilen
- Mit der RaumFabrik Durlach wurde bereits ein erster Gewerbepark gewonnen, der das Smart East Konzept als Blaupause übernimmt
- Eine EU-Förderung wurde gewonnen, um das Leuchtturmprojekt nach dem Ende dieses Förderprojekts drei weitere Jahre fortzuführen (EU-Projekt WeForming)

Das Reallabor Smart East hat eine klimaschonende Energieversorgung für ein städtisches Bestandsquartier mit Gewerbe- und Wohnflächen realisiert und damit gezeigt, wie sich die Energiewende in die Stadt bringen lässt. Smart East hat darüber hinaus zwei wirtschaftliche Geschäftsmodelle für dieses neue integrierte Quartierskonzept entwickelt und nachgewiesen, dass man mit nachhaltigem, städtischem Klimaschutz Geld verdienen kann. Das Smart East Konzept wurde als Blaupause für Baden-Württemberg und ganz Deutschland konzipiert und wurde bereits während der Projektlaufzeit auf eine andere Liegenschaft in Karlsruhe übertragen: der RaumFabrik Durlach, ein Gewerbepark mit 80.000 m² Mietflächen.

Um den Projektauftrag zu erfüllen, das Smart East Konzept auch überregional bekannt zu machen, wurden interessierte Stakeholder und potentielle Anwender (Kommunen, Wohnungswirtschaft, Immobilienentwickler, Gewerbeparkbetreiber, öffentliche Liegenschaftsbetreiber) zu Anwenderkreisen eingeladen und so von Anfang an eng ins Projekt integriert. Auf den insgesamt fünf Veranstaltungen lernten sie frühzeitig Projektergebnisse kennen, konnten ihre Anforderungen und Verbesserungsvorschläge einbringen und bereits erste Erkenntnisse nutzen. Die Anwenderkreistreffen wurden zusammen mit der Kompetenzstelle „Smarte Quartiere“ der Smart Grids Plattform BW und dem Energienetzwerk fokus.energie organisiert.

2. Motivation und Hintergründe des Vorhabens

Digitalisierte integrierte Energieverbünde werden in der Praxis bisher fast ausschließlich in Neubaugebieten realisiert. Die Aufgabe des Reallabors Smart East war die Umsetzung solcher Klimaschutzkonzepte in bestehenden Liegenschaften und Quartieren im städtischen Umfeld.

Smart East sollte hierfür mögliche Lösungsstrategien finden, ausprobieren und eine übertragbare Blaupause entwickeln.

Das von Smart East repräsentierte Quartier setzt sich zusammen aus Bestandsgebäuden unterschiedlicher Baujahre vom 100 Jahre alten Industriebau bis zum Neubau. Die Gebäude befinden sich in einem räumlich zusammenhängenden Gewerbequartier und könnten ein Arealnetz bilden. Die Gebäude werden aber von unterschiedlichen juristischen Personen betrieben und haben mehrere Netzanschlusspunkte.

Das Reallaborprojekt untersuchte, ob und wie diese Gebäude durch wirtschaftliche Geschäftsmodelle zu einer Energiegemeinschaft zusammengeschlossen werden können und wie die Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Mobilität wirtschaftlich sinnvoll lokal gekoppelt werden können.

3. Aufgabenstellung

Mit dem Projektvorhaben Smart East sollte in der Karlsruher Oststadt ein gemischtes Gewerbegebiet mit bestehender Bausubstanz in ein energieoptimiertes smartes Quartier transformiert werden. Durch die Digitalisierung der Energieversorgung in den direkt aneinander angrenzenden Wohn-, Büro- sowie Produktionsgebäuden und durch Vernetzung der lokalen Gebäude-Energiemanagementsysteme in ein integriertes Optimierungsmodell sollten die dadurch entstehenden neuen Potenziale der Sektorkopplung für eine erneuerbare, klimaneutrale und netzdienliche Energieversorgung bestimmt werden. Neben der Vernetzung und Optimierung sollte Smart East die Entwicklung von Geschäftsmodellen zur energetischen Kooperation lokaler Akteure in gemischten Wohn- und Gewerbequartieren adressieren. Es sollten ebenfalls Vorschläge zur Weiterentwicklung der Regulatorik im Umfeld von Energiequartieren bzw. Energiegemeinschaften abgeleitet werden.

Die entworfenen Geschäftsmodelle für Quartiersverbände sollten direkt zur Integration von traditionell passiven Letztverbrauchern in die Stromnetze und Energiemärkte beitragen, wie in der EU-Richtlinie 2019/944/EU gefordert. Es sollte gezeigt werden, wie aktuelle Anforderungen zur aktiven Stromnetzintegration von Letztverbrauchern in der Praxis z. B. durch dynamische Quartierstarife umgesetzt werden können. Die entworfenen Geschäftsmodelle sollten alle gemäß den Anforderungen intelligenter Messsysteme entworfen werden, auch wenn im vorliegenden Projekt mit verschiedenen Liegenschaftsbetreibern und Mietern die technisch operative Umsetzung wegen mangelnder Verfügbarkeit und technischer Reife in Kombination mit hoher Komplexität nicht direkt mit Smart-Meter-Gateways realisiert werden konnte.

4. Stand der Wissenschaft und Technik

Seit ca. einem Jahrzehnt sind IKT-basierte Lösungen zur Bewältigung der Herausforderungen der Energiewende Gegenstand der nationalen und internationalen Forschung. Zum Erreichen der klar gesetzten Energieziele in Deutschland und Baden-Württemberg gewann in den vergangenen Jahren die Kopplung verschiedener Sektoren (Strom, Wärme, Kälte, Gas, Mobilität) an Bedeutung. Immer mehr finden sich auch in der Praxis schon Lösungen, die das Thema der Sektorkopplung in Form innovativer Produkte adressieren (Bsp. NEST Thermostat: Strom-Kälte, BEEGY Hermine: Strom-Mobilität, NEXT Kraftwerke: Strom-Gas etc.). Ergänzend zur Sektorkopplung fokussierte sich die Forschung in den vergangenen Jahren auf dezentrale, oft

zellulär gedachte Energiesystemarchitekturen, die z. B. in Quartieren, Verteilnetzen oder sog. "Energie-Communities" zum Einsatz kommen. In diesem Kontext wird nachfolgend ein Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technik im thematischen Umfeld des Projektvorhabens gegeben. Dabei werden Schnittstellen zum vorliegenden Projektvorhaben identifiziert bzw. Abgrenzungen vorgenommen.

Living Lab Walldorf & SynergieQuartier Walldorf

Ziel des Projektes Living Lab Walldorf (bei dem u. a. das FZI als Projektpartner beteiligt war) war es, den lokalen Energieausgleich in einem Verteilnetz(segment) anzureizen. Hierzu wurden u. a. ca. 40 in einem Viertelnetz verteilte Haushalte über Haushalts-Energiemanagement-Boxen eines Aggregators vernetzt. Es wurde aufgezeigt, wie eine veränderte Umlagen- und Entgeltsystematik einen lokalen Ausgleich in diesem Netzsegment anreizen kann - und wie eine Optimierung den lokalen Ausgleich ermöglichen kann. Im Nachfolgeprojekt SynergieQuartier Walldorf wurden die Ergebnisse des Vorgängerprojekts mit starkem Fokus auf intelligente Messsysteme mit standardisierten Smart-Meter-Gateways und Elektromobilität weiterentwickelt. Im Gegensatz zu Smart East standen hierbei jedoch neue Geschäftsmodelle für die Optimierung in einem räumlich zusammenhängenden Quartier mit direkt angrenzenden Liegenschaften nicht im Fokus.

C/sells

Im Zentrum des SINTEG-Projektes C/sells (bei dem u. a. FZI und KIT als Partner und Seven2one als assoziierter Partner beteiligt waren), steht die Idee von eigenständig agierenden zellenartigen Energiesystemen. Mit dem Ziel, interdisziplinär und über die ganze Prozesskette vielversprechende Ansätze einer nachhaltigen Energiewende teils theoretisch und teils praktisch zu evaluieren, wurden viele Forschungsaspekte zu einem Gesamtprojekt gebündelt. Die SINTEG-Verordnung räumt für Feldversuche im Projektkontext sehr eng definierte Abweichungen von den gültigen regulatorischen Rahmenbedingungen ein. Die in C/sells entworfenen theoretischen Konzepte erfordern z. T. jedoch völlig neue Marktstrukturen und waren entsprechend nur begrenzt bzw. nur mit hohem Aufwand praktisch zu evaluieren. Im Gegensatz zu C/sells zeichnet sich SmartEast durch ein überschaubar dimensioniertes Areal direkter Nachbarliegenschaften aus, anhand dessen neue Geschäftsmodelle für die natürliche Aggregationsinstanz "lokaler Quartiersverbund" praktisch abgeleitet und evaluiert werden konnten. Smart East zeigte somit, wie durch neue Geschäftsmodelle die Nachrüstung bestehender Liegenschaften mit entsprechender Infrastruktur angereizt und somit die sehr konkrete nächste Evolutionsstufe der Energiewende erreicht werden kann.

Landau Microgrid Project

Der Schaffung neuartiger Marktstrukturen hatte sich auch das Landau Microgrid Project verschrieben. Lokal erzeugter Strom sollte mit innovativen Lösungen innerhalb lokaler Energiemärkte gehandelt werden. Die Handelsplattform basierte dabei auf einer Blockchain-Technologie. Die Nutzer, die sowohl Strom anbieten als auch nachfragen konnten, hatte die Möglichkeit über eine App ihre Preisvorstellung für ihren Strom mitzuteilen. Über Zuordnungsverfahren wurden dann Paare aus Erzeugern und Verbrauchern gebildet, woraus also 1:1-Beziehungen zwischen Stromanbieter und Stromnachfrager resultierte. Diese Beziehungen zwischen Verbraucher und Erzeuger waren vor allem für soziale Aspekte sowie das Marketing relevant. Oberstes Ziel hierbei war die Angleichung von Verbrauch und Erzeugung in

einem lokal begrenzten Gebiet. Dabei fand jedoch keine Abwägung statt, wie viel dieser Ausgleich kosten darf bzw. wie viel er wert ist. Auch wurde die Netzsituation bei Zuordnung von Stromanbietern und -nachfragern nicht berücksichtigt. Über die "Energy Community Cloud" wurde in Smart East dagegen die Nutzung von Flexibilität – extern z. B. an der EPEX, oder intern für einen regionalen Ausgleich – immer innerhalb eines Optimierungsproblems kostenoptimal entschieden. Damit fand ein Abgleich statt, der je nach globaler und interner Situation die wertvollste Verwendung von Anlagenflexibilität sicherstellte.

SmaLES

Im Projekt SmaLES wurden in einem Wohnquartier in Heilbronn die Themen Mieterstrom, Wärmecontracting, Ladeinfrastruktur, Batteriespeicher und intelligente Energiemanagementsysteme adressiert. Es sollte ein smartes Microgrid aufgebaut, betrieben, simuliert und evaluiert werden. Kommuniziertes Ziel des Vorhabens war es, ein Mieterstrom-Modell mit integrierter lokaler Strom- und Wärmeerzeugung (Photovoltaik-Anlage und Blockheizkraftwerk), Speichertechnologien und Elektromobilität zu entwickeln und zu demonstrieren. Dabei sollte unter anderem aufgezeigt werden, dass mit lokal und regenerativ erzeugter Energie durch moderne Informationstechnologie und intelligentem Lastmanagement ein großer Teil der Energieversorgung einer Liegenschaft wirtschaftlich bereitgestellt werden kann. Für eine intelligente Betriebsführung wurden Speicher- und Betriebskonzept mit einer prognosebasierten Anlagensteuerung entwickelt und wirtschaftliche, ökologische und energetische Auswirkungen im neu entstehenden Gesamtsystem dargestellt. Dies waren relevante Vorarbeiten für Smart East, welches auf Projektergebnissen wie "Leitfaden zur Implementierung intelligenter Energiesysteme in Wohnquartieren" und "Technologiestudie Microgrid" aufbauen konnte. Mit den Stadtwerken als Energieversorger wurden vorhandene Ergebnisse in Smart East insbesondere in Richtung neuerer Geschäftsmodelle für Betreiber von (Teil-)Liegenschaften in einem solchen Quartiersverbund weiterentwickelt.

EnergieHafenWest

Im Projekt EnergieHafenWest in Ludwigsburg stand Gewerbe-Mieterstrom mit sektorübergreifendem, prognoseoptimiertem Betrieb der Wärme-, Kälte- und Stromerzeuger bzw. -verbraucher im Fokus. Im Rahmen von EnergieHafenWest wurden verschiedene Energiesektoren gekoppelt: Erzeugung und Verbrauch von Wärme, Kälte und Strom sowie die E-Mobilität wurden miteinander vernetzt intelligent gesteuert. Ein Batteriespeicher sorgt für die notwendige Flexibilität, um Erzeugung und Verbrauch zeitlich voneinander zu entkoppeln. Der lokal erzeugte umweltfreundliche Strom wurde über ein Gewerbe-Mieterstrommodell an die ansässigen Unternehmen im Werkzentrum Weststadt und die auf dem Areal vorgesehenen Ladesäulen vermarktet. Im Gegensatz zu diesem Projekt sollten die in Smart East entworfenen Geschäftsmodelle insbesondere die bidirektionale Vermarktung im lokalen Quartier ermöglichen. Smart East entwickelte Geschäftsmodelle, die verschiedene juristische Personen zusammenbringen und ihnen die Möglichkeit geben, gemeinsam eine energetische Optimierung durchzuführen, von der dann alle Beteiligten über entsprechende Geschäftsmodelle profitieren können.

DELTA

DELTA ist ein aktuell laufendes BMWK-“Reallabor der Energiewende“-Projekt und verfolgt das Ziel mehrere Quartierstypen – von Industrie über Gewerbe und Bildung bis hin zum Wohnen – mit Netzinfrastrukturen in den Bereichen Strom, Wärme, Gas, Kommunikation und Verkehr zu verknüpfen. Netze sollen damit besser ausgelastet und Energiequellen und -senken verstärkt gekoppelt werden, sodass sektorübergreifende Synergien entstehen. Der Fokus des neu startenden Projekts liegt auf dem Reduzieren von Energieverbrauch und Kohlendioxid-Ausstoß in innerstädtischen Stadtquartieren. Hierzu verfolgt das Projekt das Ziel, mehrere Quartiere mit Fokus auf das urbane Energiesystem synergetisch zu koppeln. Die wirtschaftliche Umsetzbarkeit und gesellschaftliche Akzeptanz sollen zwar überprüft werden, im Gegensatz zu Smart East liegt die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle für benachbarte Liegenschaften innerhalb eines geografisch umrissenen Quartiers jedoch nicht im Fokus.

SmartQuart

SmartQuart ist ein aktuell laufendes BMWK-“Reallabor der Energiewende“-Projekt. Das Projekt zielt auf die Kopplung der Sektoren Wärme, Kälte, Strom, Wasserstoff und Mobilität in drei Quartieren in ländlicher, kleinstädtischer und großstädtischer Lage ab. Das zentrale Projektelement ist dabei der Energieaustausch und die intelligente Vernetzung innerhalb und zwischen den Quartieren. Im Gegensatz zu Smart East werden zwei der drei Quartiere neu gebaut. Das dritte Quartier ist ein Bestandsquartier im ländlichen Raum. Im Gegensatz zu Smart East steht in diesem Quartier allerdings der Aufbau eines wasserstoffbasierten Microgrids zur Kopplung der genannten Sektoren im Fokus.

Neue Weststadt Esslingen

Auch dieses Projekt ist ein aktuell laufendes Projekt im Rahmen der BMWK-Förderung zu “Reallaboren der Energiewende”. Auf einem ehemaligen Güterbahnhofsgelände in Esslingen entsteht ein neues, nahezu klimaneutrales Stadtquartier. In dem geplanten Quartier „Neue Weststadt“ werden Stromüberschüsse aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien als Wasserstoff gespeichert und bei Bedarf wieder ans Netz abgegeben. Das Quartier dient darüber hinaus als Reallabor für die systemdienliche Kopplung der Sektoren Wärme, Kälte, Strom und Mobilität. Im Gegensatz zu Smart East liegt der Fokus auf der Nutzung von Wasserstoff zur Energieoptimierung und Sektorenkopplung.

Darmstadt Energy Laboratory for Technologies in Application (DELTA)

Dieses Projekt widmet sich der Erforschung von kommunalen Energiespeichern zur Optimierung von Wohnvierteln, Schätzung des Zustands des Verteilungsnetzes, Kombination von Schnellladestationen mit Gleichstrom-Straßenbahnsystemen und erzeugen von Quervernetzungen in der Verteilungsnetztopologie. Dieses erst nach Smart East gestartete Projekt verfolgt in Teilen ähnliche Ziele, scheint aber einen breiten Fokus zu haben. So werden neben der eigentlichen Optimierung des Quartiers auch Forschungstätigkeiten z.T. Netzbetrieb oder Regulatorik ausgeführt. Insgesamt scheint DELTA einen größeren Schwerpunkt auf Forschung zu legen, während Smart East verstärkt auf sofortige Umsetzbarkeit abzielt.

Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg (ENaQ)

EnaQ erforschte lokalen Energiehandel zwischen Prosumern in einem Quartier sowie Integration in den lokalen Flexibilitätsmarkt und Quantifizierung von CO₂-Emissionen durch eine digitale Serviceplattform als digitaler Zwilling des Quartiersenergiesystems. Der Fokus des Forschungsprojekts liegt allerdings auf der Konzeption des noch zu errichtenden Quartiers, ganz im Gegensatz zu Smart East welches einen Fokus auf Ertüchtigung bestehender Strukturen legte.

Fazit

Es lässt sich festhalten, dass das Thema Sektorkopplung in vernetzten Quartieren in jüngster Zeit große Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat und große technische Potenziale aufgezeigt werden konnten. Smart East sollte daher auf bisherigen Erfahrungen aufbauen und weiter als reine Potenzialanalysen und Umsetzungen in einem konkreten Quartier gehen. Es sollte Blaupausen für bereits bestehende Quartiere entwickelt werden, die ganz praxisnah am bestehenden Quartiersverbund aufzeigen, wie die energetische Optimierung in Quartiersverbünde mit attraktiven Geschäftsmodellen angereizt werden kann. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Tatsache gelegt, dass Quartiersverbünde in der Praxis in aller Regel von verschiedenen juristischen Personen mit eigenen wirtschaftlichen Interessen betrieben werden, die in Einklang zu bringen sind.

5. Fortschritte von Dritten

Während der Durchführung des Vorhabens wurden die, im vorherigen Abschnitt bereits eingeführten, laufenden Forschungsprojekte kontinuierlich beobachtet. Ferner wurden Hinweisen auf neu gestartete Projekte nachgegangen, wodurch insbesondere das Projekt DELTA identifiziert werden konnte. Darüber hinaus wurden keine Fortschritte von Dritten bekannt, insbesondere nicht im Bezug auf den Fokus von Smart East als anwendungsorientiertes Projekt für bestehende Quartiere mit heterogenen Besitzstrukturen.

6. Konsortium

Das Projekt Smart East wurde von einem Konsortium aus vier Verbundpartnern und ursprünglich fünf assoziierten Partnern bearbeitet. Während der Projektlaufzeit konnten zusätzlich fünf assoziierte Partner gewonnen werden.

Verbundpartner

FZI Forschungszentrum Informatik (FZI)

Das FZI Forschungszentrum Informatik ist eine gemeinnützige Einrichtung für Informatik-Anwendungsforschung und Technologietransfer mit etwa 200 Wissenschaftler/-innen. Das FZI ist nach DIN EN ISO 9001:2015 zertifiziert und kann auf lange Erfahrungen im Bereich der

angewandten Energieinformatik-Anwendungsforschung zurückgreifen. Mitten in der IT-Region Karlsruhe hat das FZI mit dem FZI House of Living Labs auf zwei Stockwerken mit über 2.000 qm eine neuartige Forschungsumgebung insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen geschaffen, die branchen- und anwendungsfeldübergreifend für Forschung und Entwicklung zur Verfügung steht. Im Anwendungsfeld Energie steht das FZI mit dem FZI Living Lab smartEnergy Unternehmen als Innovationspartner bei der Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen zur Verfügung.

Seven2one Informationssysteme GmbH (Seven2one)

Seven2one Informationssysteme GmbH wurde 2001 als Startup der Universität Stuttgart gegründet. Heute realisiert Seven2one (50 Mitarbeiter, ca. 6 Mio. EUR Umsatz) individuelle Lösungen für durchgängige, vollautomatisierte energiewirtschaftliche Prozesse rund um Energieerzeugung, Handel und Vermarktung. Die Lösungen basieren alle auf der Seven2one Software-Plattform und umfassen z. B. virtuelle Kraftwerke, Marktdatenmanagement, regulatorisches Reporting. Seven2one ist Experte für die Digitalisierung der Geschäftsmodelle der Energiewende und entwickelt dazu individuelle Lösungen für das Energiemanagement dezentraler Energiesysteme in smarten Quartieren und Unternehmen.

Kunden der Seven2one sind neben den großen Energieversorgern RWE, Eon und EnBW auch viele Stadtwerke (München, Krefeld, Düsseldorf, Bremen), Energiehandelsunternehmen (Syneco, Axpo Trading), aber auch Verbände und Institutionen (VGB Powertech, E-Control, Umweltbundesamt). Auch die Transparenzplattform für Energie und das regulatorische Reporting der EEX wurde von Seven2one entwickelt.

Seven2one ist in der Smart Grids Plattform BW und dem Karlsruher Energienetzwerk fokus.energie aktiv engagiert. Dr. Christoph Schlenzig ist Vorstand bei fokus.energie, der Smart Grids Plattform BW und Mitglied des Energiebeirats der Technologieregion Karlsruhe TRK. Seven2one war assoziierter Partner im Schaufensterprojekt C/sells.

Seven2one ist verantwortlich für den Aufbau der digitalen Quartiers-Plattform zur energetischen Vernetzung der Gebäude in Smart East. Die Plattform bündelt die Daten aller Zähler und Sensoren in einer Datendrehscheibe, bindet dort die Optimierungsmodelle der Forschungspartner an und ermöglicht so das kontinuierliche Quartiers-Energiemanagement. Für die Menschen bietet die Plattform ein Web-Portal zur Visualisierung der relevanten Quartiers-Informationen.

Weitere Informationen finden Sie auf der [Internetseite von Seven2one: http://www.seven2one.de](http://www.seven2one.de)

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI)

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ist eine technische Universität des Landes Baden-Württemberg sowie gleichzeitig ein nationales Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft. Unter anderem im Rahmen des Helmholtz Programms Energiesystemdesign (ESD) forscht das KIT am Energiesystem der Zukunft. Das Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) im Speziellen forscht an innovativer und anwendungsnaher Informations-, Automatisierungs- und Systemtechnik. Daher leistet das IAI im Kontext ESD seinen Beitrag in Topic 2: Digitalisierung und Systemtechnologie. Insbesondere forscht das IAI im Subtopic 2.3 "Intelligente Infrastrukturen und Forschungsplattformen". In Subtopic 2.3 ist das Ziel, neuartige Simulationstools, Algorithmen

und auch Hardware in Großforschungsinfrastrukturen zu erforschen. Diese Großinfrastrukturen, wie beispielsweise das Energy Lab 2.0 des KITs, kommen der realen Welt so nahe, dass eine Umsetzung des Energiesystems der Zukunft in ihnen praktisch vor dem großflächigen Ausrollen erforscht werden kann.

Das KIT-IAI bringt in Smart East seine Erfahrung zum Aufbau und Betrieb von Großforschungsinfrastrukturen ein. Das Reallabor Smart East kann als Brücke zwischen realer Welt und Großforschung dienen. Das Smart East Labor kann weitere wichtige Erkenntnisse liefern, welche offenen Forschungsfragen von bei dem Transfer von Grundlagenforschung über Großforschungsinfrastrukturen zur Realweltanwendung benötigt werden. Ein Unterschied, beispielsweise zum Energy Lab 2.0 ist, dass in Smart East ein Bestandsareal untersucht wird. Das KIT-IAI bringt Erfahrungen aus den Bereichen Digitalisierung von Reallaboren, Potenzialanalyse sowie Prognosedienste oder Datenmodellierung ein.

Stadtwerke Karlsruhe GmbH (SWK)

Die Stadtwerke Karlsruhe GmbH (SWK) ist mit über 1.100 Mitarbeitenden für die zuverlässige Versorgung der Kundinnen und Kunden in Karlsruhe und der Region mit Strom, Erdgas, Fernwärme und Trinkwasser zuständig. Neben dem Kerngeschäft investieren die SWK seit Jahren auch in Klimaschutzaktivitäten, beispielsweise den Ausbau erneuerbarer Energien, die Erweiterung des Fernwärmenetzes und die Erforschung und Umsetzung von Quartiers- und Mobilitätskonzepten. Die Stadtwerke Karlsruhe sowie ihre Tochter Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH sind Gründungsmitglieder der seit 2014 existierenden Forschungspartnerschaft Karlsruhe (FPS KA). Ziel der Kooperation mit dem KIT und der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut ist u.a. die Entwicklung und Realisierung innovativer Lösungsansätze für zukünftige Energiesysteme unter Nutzung der komplementären Kompetenzen und Ressourcen der Partner.

Assoziierte Partner

Badische Energie-Servicegesellschaft mbH (BES)

Wir liefern grüne Energie aus lokaler Erzeugung für Wohnviertel, gemischte Quartiere und Industrieanlagen. Dabei erarbeiten wir für unsere Kunden effiziente, innovative und smarte Lösungen zur Energieversorgung. Unsere Kunden: B2B-Unternehmen der Immobilienwirtschaft, Industriebetriebe. Was uns wichtig ist: Unabhängige Lösungen für Kunden und nachhaltige, lokale Partnerschaften.

Die Badische Energie-Servicegesellschaft entwickelt passgenaue Lösungen nach den jeweiligen Anforderungen der Projekte und verkauft Nutzenergie in Form von Wärme, Kälte oder Strom an die Kunden. Üblicherweise werden Blockheizkraftwerke, Photovoltaikanlagen, oder andere erneuerbare Energien eingesetzt. Dabei werden auch eine moderne Ladeinfrastruktur, sowie Wärmepumpen miteinbezogen.

CyberForum

Das Cyberforum e.V. ist ein gemeinnütziger Verein mit mehr als 55 Beschäftigten und mehr als 1200 Mitgliedern. Als Netzwerk für Unternehmen der Hightech- und IT-Branche in der Technologieregion Karlsruhe hat das CyberForum seinen Sitz mitten im Quartiersverbund. Das

CyberForum konzentriert sich auf den Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch zwischen Unternehmensgründern, Wachstumsunternehmen und erfahrenen Unternehmern, Hochschul- und Forschungseinrichtungen sowie Städten und Gemeinden. Das CyberForum ist daher perfekter Multiplikator zur Kommunikation der Projektergebnisse an relevante Stakeholder. In Smart East unterstützt das CyberForum die Transformation des Quartiersverbands in ein energieoptimiertes smartes Quartier, indem es die Stakeholder-Rolle des Mieters einnimmt. Es unterstützt darüber hinaus durch Gewährung des Zugriffs auf Daten und Lastverläufe energetischer Anlagen des Bürogebäudes.

fokus.energie

fokus.energie ist ein auf Energie-Themen konzentriertes Netzwerk als eingetragener, gemeinnütziger Verein mit über 90 Mitgliedern. Eines der Ziele ist es, Brücken zwischen Wirtschaft und Forschung zu bauen. Das Netzwerk ist unabhängig und offen für jede nachhaltige Technologie zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Nutzung von Energie. fokus.energie identifiziert sich mit den Ideen und den Menschen und fördert die Schlüsselkompetenzen von morgen. Mit Blick auf neue Technologien und neue Denkweisen fokussiert sich fokus.energie auf diejenigen mit echtem Potenzial. fokus.energie hat seinen Standort in der Karlsruher Oststadt, in den Gebäuden der Technologiefabrik und unterstützt Smart East durch die eigene Informationsplattform mit der Kommunikation an die interessierte Öffentlichkeit z.B. an die Netzwerk-Mitglieder. Fokus.energie sieht sich mit AXEL – Der Energie-Accelerator ebenso als Betreuer und Koordinator von Start-ups, die mit innovativen Ideen für neue Geschäftsmodelle im Bereich der energetischen Kooperation, Produktideen beisteuern können und erproben wollen.

Hochschule Karlsruhe - University of Applied Sciences

Technologien der Zukunft mitgestalten: praxisnah, vielfältig, zukunftsorientiert. Neugelertes gleich anwenden, dazu sind die Studiengänge der HKA genau das Richtige. Elektro- und Informationstechnik steckt in Umweltschutz und Renewable Energy, Robotik und künstlicher Intelligenz (KI), Emobility und vernetzter Mobilität, Smart Grids und Software-Entwicklungen, Digitalisierung und Industrie 4.0. Forschungsstark, mit zahlreichen Laboren und Vernetzungen zu zahlreichen internen und externen wissenschaftlichen Einrichtungen - das macht die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik aus. Es besteht ein reger Austausch mit Unternehmen aus Industrie und Wirtschaft, der die Lehre mit wertvollem Input bereichert.

Hoepfner Bräu

Die 1798 gegründete Hoepfner Bräu hat drei Geschäftsbereiche. Die Muttergesellschaft Hoepfner Bräu entwickelt und bewirtschaftet eigene Immobilien, insbesondere das Hoepfner Areal mit der Burg, der zur Paulaner-Gruppe gehörenden Brauerei, den Büros für eine Reihe bekannter Hi-Tech-Firmen, CyberForum und Cyberlab, dem iWerkx Smart Production Center für Industrie 4.0 und einem Mehrgenerationenhaus mit betreutem Wohnen, Pflege und Kita. Die Tochtergesellschaft Hoepfner Baulvest plus GmbH & Co., KG plant und errichtet Immobilienprojekte mit einem Schwerpunkt von Bauten für die ältere Generation und nachhaltige Investoren. Die Hoepfner hi-tech Beteiligungsgesellschaft mbH unterstützt Hi-Tech-Startups als Business Angel. Zu den Beteiligungen gehört auch die BES Badische Energie-Servicegesellschaft mbH, die für das Energiekonzept im Hoepfner-Areal verantwortlich ist und in Smart East ebenso als assoziierter Partner teilnimmt. Hoepfner war einer der ersten Betreiber eines Blockheizkraftwerks im industriellen Maßstab in Süddeutschland, das an ein komplexes

System zur Energie-Rückgewinnung angeschlossen wurde. Die firmeneigene Mobilität wird durch eine kleine elektrische Firmenflotte von mehreren voll-elektrischen PKW durchgeführt. Ferner befinden sich auf dem Hoepfner-Areal drei halb-öffentliche Ladesäulen, die über eine Kooperation an ein europaweites Netzwerk angeschlossen sind. In Smart East nimmt Hoepfner Bräu die Rolle des Liegenschaftseigentümers ein.

InnoCharge GmbH

Die InnoCharge GmbH ist ein 2023 gegründetes Hightech-Start-up mit Sitz in Karlsruhe, das günstiges und grünes Laden von Elektroautos auf Firmenparkplätzen ermöglicht. Als Ausgründung des Karlsruher FZI Forschungszentrum Informatik baut die InnoCharge-Softwarelösung auf zehn Jahren zukunftsweisender Forschung und Entwicklung zu intelligentem Energie- und Lademanagement auf. Die InnoCharge-Ladeoptimierung macht sich die Eigenschaft zunutze, dass Elektroautos auf dem Firmenparkplatz viel länger stehen als sie laden müssen – und der Strompreis während dieser Zeit schwankt. Herzstück des InnoCharge-Produktangebots bildet der InnoCharge-Dirigent, der die Batterie des E-Fahrzeugs intelligent nutzt und entscheidet, wann innerhalb der Standzeit mit welcher Leistung geladen wird: Er kennt die kontinuierlich schwankenden Preise am Strommarkt sowie die Situation in der Liegenschaft und im öffentlichen Stromnetz – und optimiert die Ladungen so, dass zum richtigen Zeitpunkt geladen und bares Geld gespart wird. In Smart East übernimmt InnoCharge die operative Ladeoptimierung, um gemeinsam mit den Projektpartnern neue Vermarktungsoptionen für Ladeflexibilität zu erproben.

Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg e. V.

Die 2013 gegründete Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg e. V. ist ein Netzwerk zentraler Akteure aus Energiewirtschaft, Forschung, Politik, IT, Industrie und interessierten Privatpersonen. Der Zweck des Vereins ist die Förderung intelligenter Energienetze, um die Energiewende so effizient wie möglich zu gestalten. Die 10 Mitarbeitenden und 76 Mitglieder arbeiten unter Förderung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg am langfristigen Ziel der Plattform: die CO₂-freie Energieerzeugung in Baden-Württemberg, Deutschland und darüber hinaus. Die Arbeitsschwerpunkte des Vereins und zugleich thematischen Kernbereiche zur weiteren Digitalisierung des Energiesystems liegen in den Bereichen „Smart Meter Rollout“, „E-Mobilität“ und „Smarte, energieoptimierte Quartiere und Sektorkopplung“. Die Förderung des Ausbaus intelligenter Energie- und Stromnetze ist erklärtes Ziel der Plattform und wird als Querschnittsthema bearbeitet, an welches alle anderen Themen anknüpfen. Die wesentliche Aufgabe des Vereins besteht in der Vernetzung der Akteure, um einen intensiven Austausch zu forcieren und Synergien zu bündeln. Weiter ist die Initiierung, Vorbereitung und Durchführung von (Forschungs-)Projekten, wie den Großprojekten Callia und C/sells, ein Tätigkeitsfeld der Plattform. Um den Austausch zu fördern, werden Veranstaltungsformate sowie Arbeitskreise organisiert und durchgeführt. Darüber hinaus erfolgen intensive Kommunikationstätigkeiten mit hoher Reichweite, um die Aktivitäten der Mitglieder sowie aktuelle Entwicklungen im Themenfeld der Smart Grids aktiv zu präsentieren.

Solarize Energy Solutions GmbH

Die Solarize Energy Solutions GmbH mit Büros in Berlin und Stuttgart vereinfacht mit einer innovativen SaaS-Lösung die Abrechnung der Stromkosten für Mehrparteienimmobilien mit PV und Netzstrom. Über die digitale Plattform wird der nachhaltig erzeugte Solarstrom effizient an

beliebig viele Mieter im Areal geliefert, bilanziert und abgerechnet. Das kundenorientierte Lösungs-Portfolio beinhaltet von der Planung der PV-Anlagen bis zur Abrechnung der einzelnen Verbräuche sämtliche Schritte. Solarize trägt damit zur Dezentralisierung im Energiesektor bei. Mit den Dienstleistungen von Solarize steigen Anlagenbetreiber in den Mieterstrom ein, werten gleichzeitig Immobilien nach ESG-Kriterien auf und realisieren attraktive Renditen. Für Mieter ist der Strom aus lokaler Erzeugung zudem deutlich preiswerter als der Netzstrom.

Technologiefabrik Karlsruhe GmbH (TeFak, IHK)

Die Technologiefabrik Karlsruhe ist eines der ältesten Gründerzentren Deutschlands. Das Gebäude der TeFak wurde Teil des Forschungsvorhabens Smart East. Mit der energetischen Optimierung des Gebäudes und der Einbettung in das genannte Quartier möchte die IHK mit der TeFak die klimaneutrale Energieversorgung vorantreiben und so auch ein weiteres Ausrufezeichen zur Umsetzung der Energiestrategie der Technologieregion Karlsruhe und zur Erreichung der Klimaschutzziele in Baden-Württemberg und Deutschland setzen. Die TeFak nimmt in Smart East die Rolle des Liegenschaftsbetreibers ein.

TechnologieRegion Karlsruhe GmbH (TRK)

Die TRK hat in ihrer Energiestrategie beschlossen, bis 2050 die klimapolitischen Ziele der Pariser Klimakonferenz zu erreichen und Vorbild für nachhaltiges Wirtschaften und die Gestaltung von Energiesystemen zu werden. Mit der Energiestrategie möchte die TRK einen neuen Wirtschaftsschwerpunkt entwickeln, die Klimaschutzziele für 2050 erreichen, die Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit der Energieversorgung gewährleisten und damit die strategische und wirtschaftliche Position der Region absichern. Smart East ist für die TRK ein Leuchtturmprojekt, das genau die Ziele der TRK Energiestrategie verfolgt.

7. Durchführung des Projekts

Zusammenarbeit im Konsortium

Die räumliche Nähe der im Projekt beteiligten Partner untereinander sowie zum Quartiersverbund Karlsruhe Oststadt bildet die Grundlage für eine effektive und effiziente Zusammenarbeit im Projekt. Das FZI hatte die Rolle des Konsortialführers und somit die Verantwortung für die interne Organisation sowie die externe Vertretung des Verbundvorhabens. Dazu gehörte unter anderem die Kommunikation mit dem Fördergeber bzw. Projektträger, die Projektsteuerung, das Projektcontrolling, das Projektreporting, aber auch die Organisation der regelmäßig durchgeführten Projekttreffen an welchem alle Verbundpartner, sowie nach Bedarf auch die assoziierten Partner, teilgenommen haben. Das Projekt wurde inhaltlich in insgesamt acht Arbeitspakete aufgeteilt, wobei jedem Arbeitspaket ein Partner als verantwortlich für die Ausführung zugeordnet wurde.

Zusammenarbeit mit Dritten

Eine Zusammenarbeit erfolgte mit:

- Elektro-Meier GmbH & Co. KG <https://www.elektro-meier-ka.de/> bei der Installation von Zählern, Internetkabeln und Stromversorgung auf dem Hoepfner Areal
- KÜHN - ELEKTROTECHNIK GMBH <https://www.kuehn-elektrotechnik.de/> beim Austausch von Stromwandlern in der Technologiefabrik
- InterConnect GmbH & Co. KG <https://www.interconnect.de/> für die Konfiguration des V-LANs auf dem Hoepfner Areal
- GFal Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V. <https://www.gfai.de/> durch die Nutzung von Top-Energy
- Veltec GmbH & Co. KG <https://www.veltec-services.com/de/> für diverse Installationsarbeiten
- WOLFF & MÜLLER Hoch- und Industriebau GmbH & Co. KG <https://www.wolff-mueller.de/> bei der Instrumentierung im Neubau iWerkx
- maier solution GmbH <https://maiersolution.de/> im Kontext Unterverteilung beim Neubau iWerkx
- plan b. solutions GmbH <https://www.planb.de/> für den Internetzugang im iWerkx über KA-WLAN

Arbeitsplan

Das nachfolgende Gantt-Diagramm zeigt die ursprüngliche zeitliche Planung zur Durchführung des Vorhabens mit den einzelnen projektübergreifenden Arbeitspaketen.

Arbeitspaket	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q1	Q3	Q4
AP0: Projektmanagement												
AP1: Definition Anforderungsprofil und Systemarchitektur												
AP2: Digitalisierung der Gebäude im Quartier												
AP3: Entwicklung der Quartiersplattform "Urban Energy Community Cloud"												
AP4: Quantifizierung der Energieflüsse im Quartier und Bestimmung der Synergiepotenziale												
AP5: Entwurf von Geschäftsmodellen für energieoptimierte Quartiere												
AP6: Umsetzung und Bewertung der Geschäftsmodelle im Quartier												
AP7: Öffentlichkeitsarbeit und Anwenderkreis												

Abbildung 4: Ursprüngliche zeitliche Planung der Arbeitspakete

Mit Ausnahme von AP2 konnten alle Arbeitspakete planmäßig abgeschlossen werden. In AP2 wurde die Beschaffung von Hardware durch globale Lieferengpässe erschwert, der Abschluss des Arbeitspakets hat sich entsprechend bis Mitte 2023 verzögert.

Arbeitspakete

AP0: Projektmanagement

In diesem Arbeitspaket wurden die Projektmanagementtätigkeiten des Gesamtvorhabens gebündelt. Dies beinhaltete die Koordination der Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern sowie die Kommunikation mit Fördergeber und Projektträger. Zentrale Aufgaben waren die Ermöglichung des effektiven internen Austausches von Informationen zwischen den Projektpartnern und über Arbeitspakete hinweg. Zu diesem Zweck wurden monatliche Gesamtprojekttreffen organisiert, durchgeführt und dokumentiert. Ferner wurde in kritischen Projektphasen, z.B. vor öffentlichen Veranstaltungen, die Bildung von fachlich orientierten Kleingruppen angeregt, um einen Austausch in kurzen Abständen und die effiziente Bearbeitung von notwendigen Tätigkeiten zu gewährleisten. Ferner wurden die Stakeholder des Projekts frühzeitig über einen Lenkungskreis eingebunden. Des Weiteren wurden der Fortschritt des Projekts kontinuierlich überwacht sowie die Erstellung der geforderten Berichte koordiniert.

AP1: Definition Anforderungsprofil und Systemarchitektur

Das erste Arbeitspaket hatte zum Ziel, die Anforderungen, Erwartungen und Use Cases der verschiedenen Stakeholder (siehe die folgende Abbildung 5) zu erfassen, ihre Rollen zu präzisieren und daraus ein Anforderungsprofil an die umzusetzende Lösung zu erarbeiten. Danach wurde eine übergreifende Systemarchitektur konzipiert, welche die in den anderen Arbeitspaketen entwickelten Teillösungen nahtlos integriert.

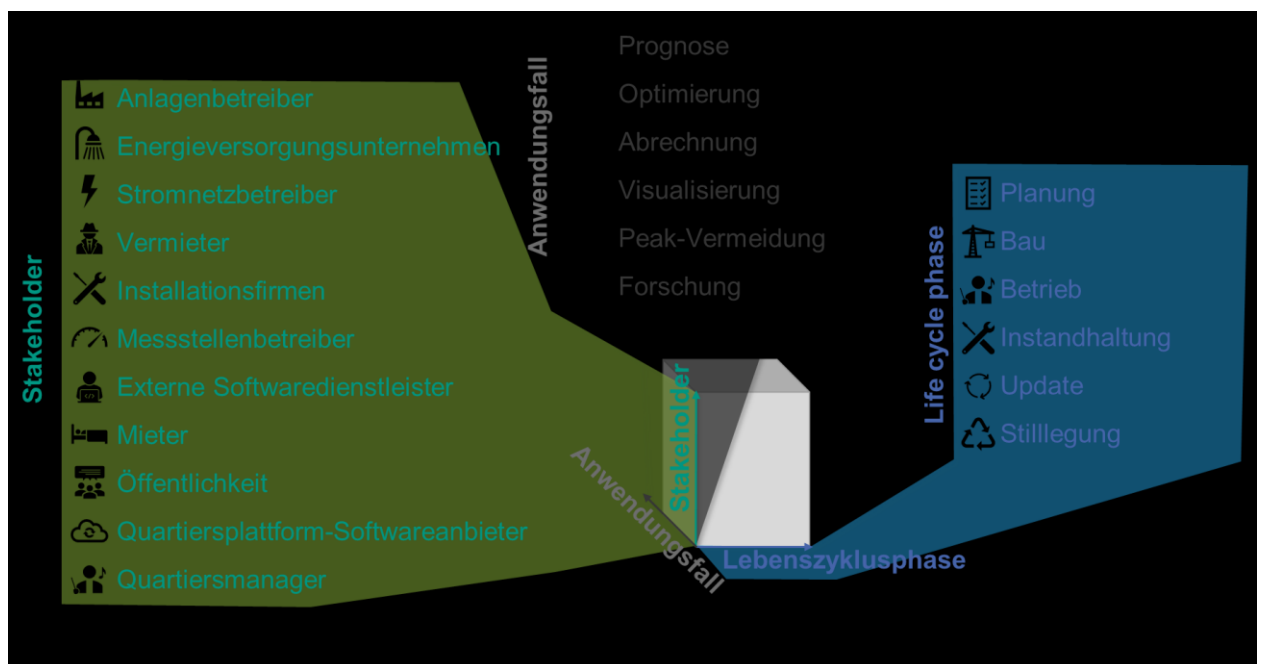


Abbildung 5: Das soziale System im Quartier besteht aus den drei Achsen: Stakeholder, Anwendungsfälle und Lebenszyklusphasen. Die Anforderungen an eine Quartiersplattform ergeben sich aus einer Kombination dieses multidimensionalen Raumes (Galenzowski et al. 2023).

Anforderungsprofil der Nutzerrollen

Im ersten Schritt wurden die Anforderungen der Nutzer der Quartiersplattform für folgende Rollen analysiert und beschrieben.

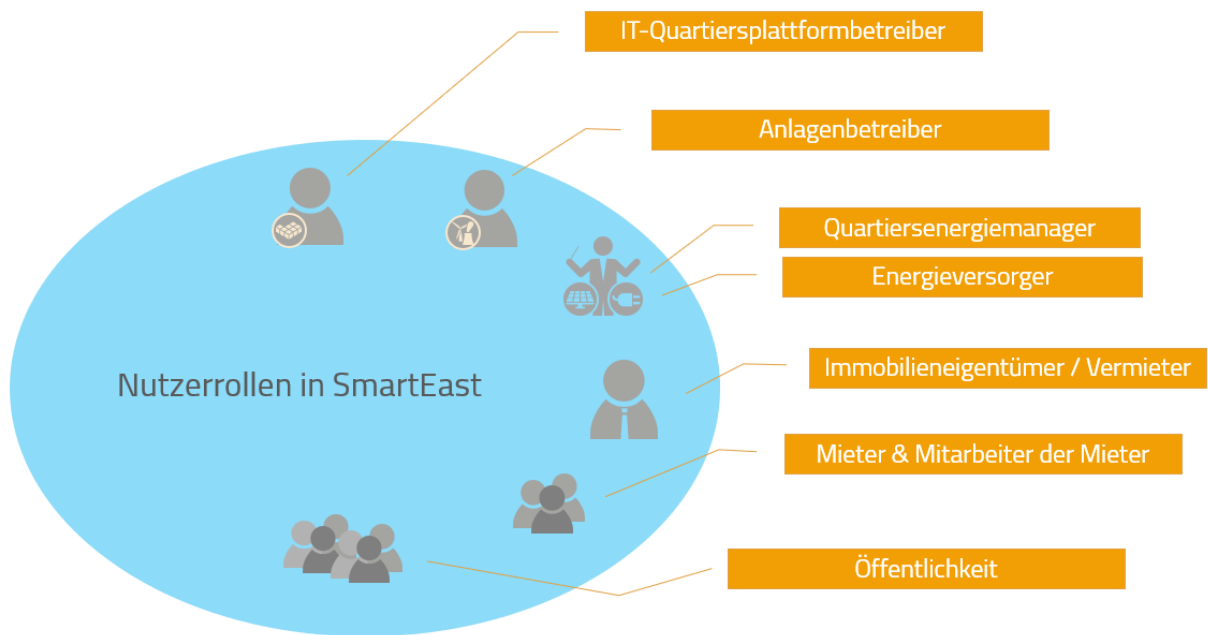


Abbildung 6: Verschiedene Nutzerrollen der Smart East Quartiersplattform

1. Der **Plattformbetreiber** der Quartiersplattform verfolgt rein administrative Aufgaben. Er arbeitet als IT-Administrator und sorgt für den sicheren und zuverlässigen Betrieb der IT-Lösung. Er verwaltet Datenstrukturen und Daten. Dies umfasst das Erstellen, Bearbeiten, Erweitern und Löschen von Daten für Gebäude mit Ihrer Struktur (Stockwerke, Mietflächen, Räume), für die Anlagen mit den Stammdaten, ihrem Standort im Quartier und ihren Zeitreihen, für die Messgeräte (Zähler) mit ihren Stammdaten und ihrem Standort im Gebäude, für die Mieter mit ihren Stammdaten und ihrer Zuordnung zu Mietflächen sowie für die Mitarbeiter mit Ihren Stammdaten. Der Plattformbetreiber verwaltet auch die User-Rechte.
2. Der **Anlagenbetreiber** ist für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der Energieerzeugungsanlagen verantwortlich. Er benötigt einen Zugang zu den Anlagendaten und möchte für alle Anlagen des Smart East Areals den Betriebsstatus angezeigt sehen, inkl. der Zeitreihen für Erzeugung und weitere Betriebskenngrößen. Der Betreiber möchte auch die optimierten Fahrpläne sehen und frühzeitig Abweichungen oder Störungen erkennen.
3. Der **Quartiersenergiemanager** ist in der Regel auch der Energieversorger des Quartiers und oft auch der Anlagenbetreiber. Er möchte die Energieverbräuche seiner Kunden kennen, den Status und die Erzeugung seiner Anlagen sowie den Restrombezug und den Lastverlauf des Quartiers mit der aktuellen Jahreslastspitze. Er möchte jederzeit die aktuellen Preise seines dynamischen Tarifs sehen. Er möchte den Status und die Auslastung der Ladeinfrastruktur kennen sowie den gelieferten Ladestrom. Er möchte Mieterstrom und Ladestrom abrechnen können.
4. **Eigentümer und Vermieter** der Immobilie interessieren sich für die Energiebilanz und die CO₂-Bilanz ihrer Gebäude und des gesamten Quartiers. Sie möchten wissen, wie viele CO₂-Emissionen eingespart wurden.
5. Der **Mieter** möchte seinen eigenen momentanen und vergangenen Energieverbrauch sehen können, er möchte den PV-Anteil an der Stromversorgung und die eingesparten CO₂-Emissionen kennen. Er möchte seine Abrechnungen digital einsehen können.
6. Die **Öffentlichkeit** interessiert sich für die Energiebilanz und die CO₂-Bilanz des Quartiers. Sie möchte die PV-Stromerzeugung sehen, sowie die eingesparten CO₂-Emissionen.

Architektur der Smart East Quartiersplattform

Die Quartiersplattform hat die folgenden Aufgaben:

- alle Daten aus dem Quartier in einer zentralen Datenbank zusammenführen
- den Optimierungsprozess vollautomatisch steuern (rollierender 24/7 Prozess)
- den Nutzern über ein Web-Portal Zugang zu den Informationen verschaffen
- die Daten visualisieren

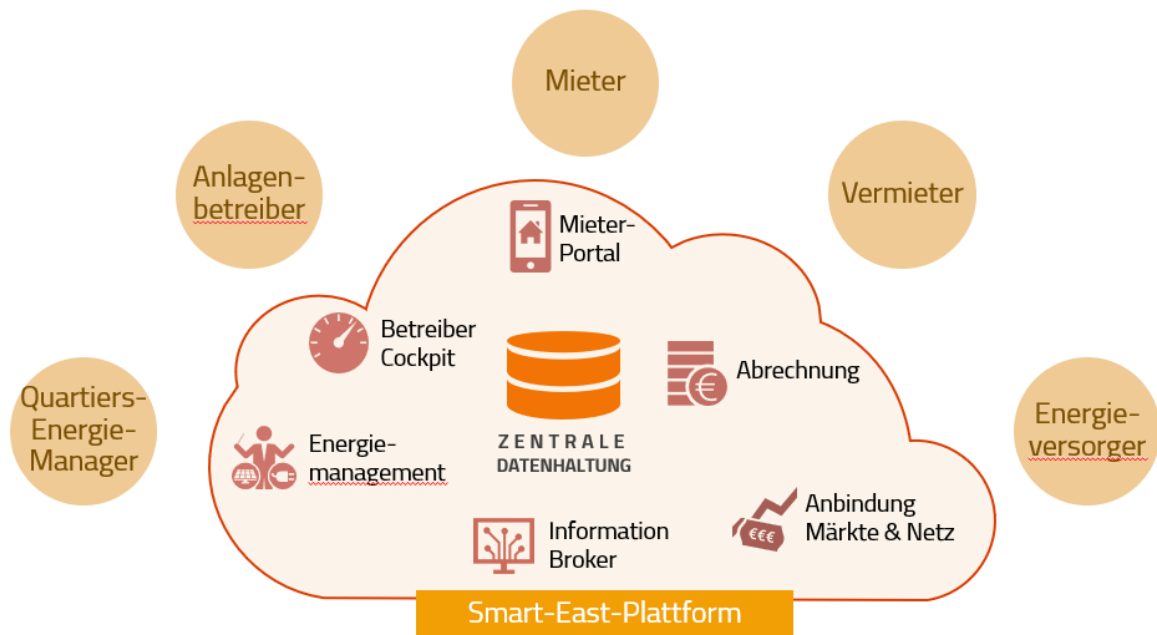


Abbildung 7: Funktionsmodule und Nutzerrollen der Smart East Quartiersplattform

Das Zielbild der Plattform besteht aus 6 funktionalen Modulen rund um die zentrale Datenbank:

Der **Information Broker** sammelt alle notwendigen Daten ein. Dazu gehören die Messdaten aller Zähler, der Anlagen und der Ladepunkte sowie weitere Daten aus dem Internet (Börsenpreise, Wetterdaten, Wetterprognosen). Hinzu kommen die Erzeugungsprognosen für die Stromlast und die PV-Erzeugung. Alle Daten werden in die zentrale Datenbank übertragen, in der alle Informationen zusammengeführt werden.

Das **Energiemanagement** berechnet daraus mit dem vom FZI und InnoCharge entwickelten Optimierungsalgorithmus die optimalen Fahrpläne für den Betrieb aller Anlagen mit Flexibilität. Diese werden ebenfalls in der Datenbank gespeichert und über Schnittstellen an die Anlagen übermittelt. Die Anbindung des Quartiers-Optimierungsmodells der Forschungspartner an die Datendrehscheibe ermöglicht es, das durch Sektorkopplung im Quartier entstandene Optimierungspotenzial im Betrieb zu heben und damit den eigentlichen wirtschaftlichen Mehrwert zu schaffen. Die Automatisierung des Planungsprozesses erfolgt ebenfalls in der Plattform und ermöglicht eine kontinuierliche, rollierende Energiesystemoptimierung des Quartiers in Echtzeit.

Das **Smart East Webportal** ermöglicht den Blick auf die Daten des Quartiers aus unterschiedlichen Perspektiven und für unterschiedliche Bedürfnisse. Das **Betreiber-Cockpit** ist wie ein Leitstand für den Betreiber zur Visualisierung und zum Monitoring aller Anlagendaten und der Systemzustände im Quartier. Hier werden die Fahrpläne als Ergebnis der Optimierung, die aktuellen Verbräuche der Gebäude und die Zustände der Anlagen dargestellt. Über dieses Cockpit kann der Betreiber die Vorgänge und Interaktionen im Quartier überwachen.

Das **Mieterportal** ist ausgerichtet auf die Anforderungen und Bedürfnisse der Vermieter und Mieter zur Visualisierung ihres eigenen Energieverbrauchs und ihrer Energiekosten.

Das **Abrechnungsmodul** bereitet die Daten für die Kostenabrechnung vor.

Über das Modul **Anbindung Märkte & Netz** können später Anforderungen der Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber zur Stabilisierung der Netze (§14a) berücksichtigt werden.

Das grundlegende Datenmodell von Smart East

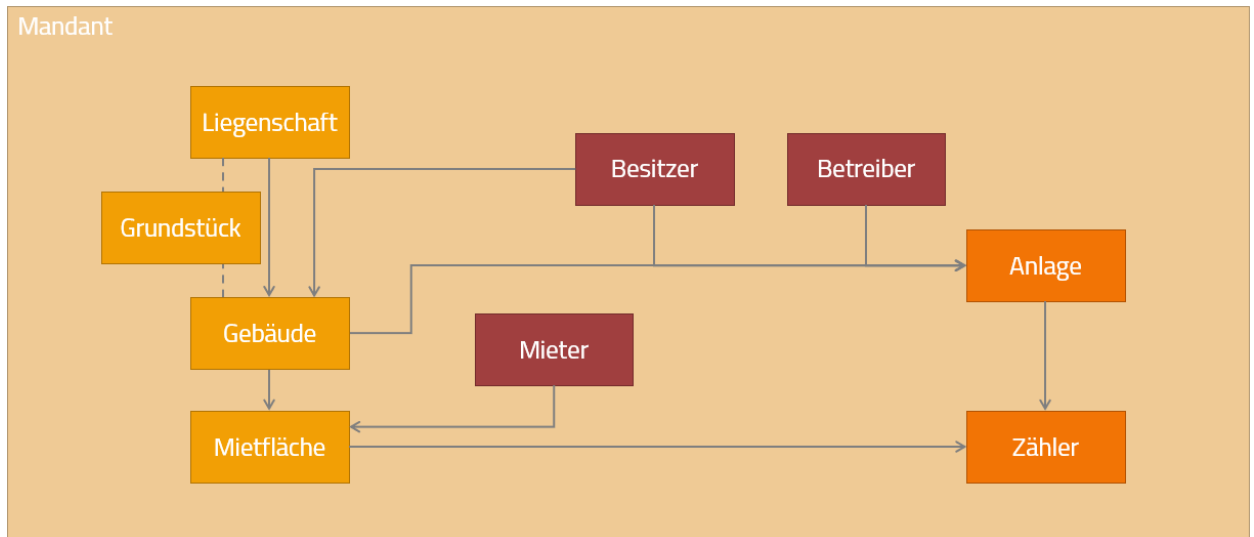


Abbildung 8: Prinzipielle Darstellung des Datenmodells für die Quartiersplattform

- Mandant Bezeichnung der Kundenanlage
- Liegenschaft Bezeichnung des Quartiers
- Grundstück Unterteilung des Quartiers in Grundstücke (falls vorhanden)
- Gebäude Bezeichnung des Gebäudes innerhalb des Quartiers
- Mietfläche Bezeichnung der Mietfläche innerhalb des Gebäudes
- Besitzer Besitzer (und Vermieter) des Gebäudes
- Mieter Mieter der Mietfläche
- Betreiber Betreiber der Anlage
- Anlage Bezeichnung der Anlage (BHKW, PV-Anlage, Ladesäule)
- Zähler Bezeichnung des Zählers und Zuordnung zu einer Mietfläche / Gebäude

Die Systemarchitektur der Smart East Quartiersplattform

In der folgenden Abbildung 8 wird das im AP1 entwickelte Zielbild der Systemarchitektur der Quartiersplattform dargestellt. Ganz oben befindet sich das Arealnetz der Kundenanlage, in das Strom aus dem Netz, den PV-Anlagen und den BHKW eingespeist wird. Darunter gibt es vier Verbrauchsgruppen innerhalb der Kundenanlage: Mieter, Ladeinfrastruktur, Kälteanlagen und Batterien. Nach dem Realitäts-Check der ersten Projektphase wurde der Fokus nur auf die ersten zwei Gruppen gelegt. Kälteanlagen sind komplizierter anzusteuern und eine Batterie war nicht verfügbar. Alle Verbraucher werden als Mieterstrom-Teilnehmer angesehen, auch die Ladeinfrastruktur, deren Ladepunkte zusammengefasst und als ein Teilnehmer behandelt werden. Jeder Mieterstrom-Teilnehmer hat seinen eigenen Smart Meter, der eine viertelstündliche Bilanzierung seiner Verbräuche an PV-Strom und Netzstrom ermöglicht. Alle Zähler sind an das Backend eines (oder mehrerer) Messstellenbetreibers angebunden. Die Daten

werden dort von der Mieterstromlösung (Solarize) eingesammelt und anschließend für die Abrechnung aufbereitet. Die Visualisierung der Mieterdaten erfolgt in einem Web-Portal (Solarize). Die Ladesäulen dagegen sind an ein OCPP-Backend angebunden, dass der Charge Point Operator (CPO, in unserem Fall die BES) nutzt. Das OCPP-Backend im Projekt wird von InnoCharge bereitgestellt. Von dort werden die Ladevorgänge (Charging Data Records, CDR) und die aktuellen Ladeleistungen an die Plattform übertragen.

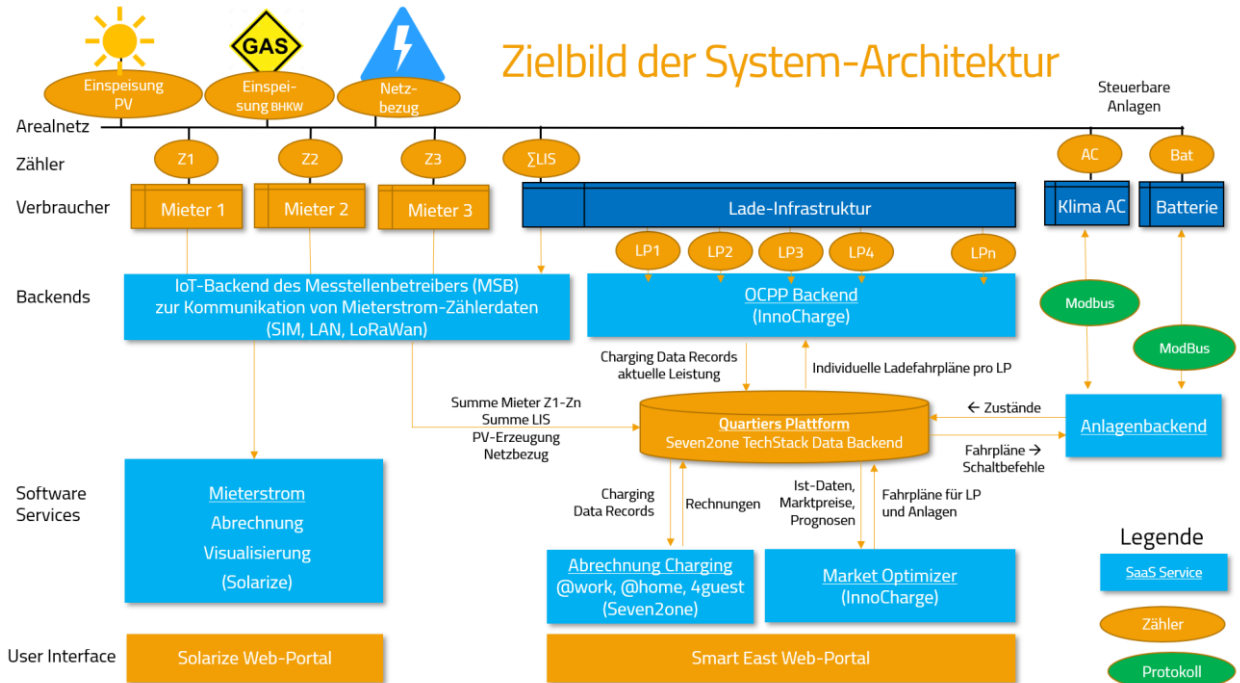


Abbildung 9: Zielbild der Systemarchitektur der Quartiersplattform

Die Prozess-Automatisierung in der Quartiersplattform ergänzt diese Daten um Marktpreise, stößt die Lastprognose und die PV-Erzeugungsprognosen an und übergibt alle Daten an den Market Optimizer. Dieser berechnet nun die optimalen Fahrpläne für alle Ladevorgänge, gibt diese zurück an die Plattform, welche sie über das OCPP-Backend zurück an die Ladesäulen überträgt. Sobald sich ein Systemzustand ändert, wird dieser Planungsprozess automatisch wieder neu angestoßen.

AP2: Digitalisierung der Gebäude im Quartier

Zunächst muss die Frage beantwortet werden, an welchen Stellen im Quartier gemessen werden muss. Energiewirtschaftlich ist relevant, welche Energie vom öffentlichen Netz an das private Netz geliefert wird. Die Übergabe vom öffentlichen zum privaten Netz erfolgt am sogenannten Netzübergabepunkt (NAP). Die hinter einem Netzanschlusspunkt liegende energietechnische Anlage wird auch als Kundenanlage bezeichnet. Wir verwenden die Begriffe Netzanschlusspunkt und Kundenanlage teilweise synonym.

Unterschieden wir eine Übergabe auf Mittelspannungs- und Niederspannungsebene. Mittelspannung ist im Karlsruher Verteilnetz die 20 kV Ebene. Niederspannung sind die in Europa üblichen 400 V bzw. 230 V. Die Benennung in der Niederspannung erfolgt zu Unterscheidung eines dreiphasigen Anschlusses (Drehstrom) und eines einphasigen Anschlusses (Wechselstrom). Bei dreiphasigen Anschluss sprechen wir von 400 V und beim einphasigen

Anschluss von 230V. Im Allgemeinen sind größere Verbraucher in der Niederspannung dreiphasig angeschlossen und sprechen wir daher von 400 V.

Kundenstation: Erfolgt die Übergabe von Öffentlich auf Privat auf 20 kV, liegt der Trafo zur Wandlung auf die in den Gebäuden benötigte 400 V im privaten Besitz. In diesem Fall wird die Anlage als Kundenstation bezeichnet und SWKN mit dem Buchstaben „H“ abgekürzt. Achtung, die Bezeichnung Kundenstation ist nicht gleichbedeutend mit der Bezeichnung Kundenanlage!

Netzstation: Erfolgt die Übergabe von Öffentlich auf Privat auf 400 V, liegt der Trafo also im Besitz des Netzbetreibers, so erfolgt die Wandlung von 20 kV auf 400 V in einer Netzstation (Abkürzung „N“ die noch Teil des öffentlichen Netzes ist).

Der Netzanschlusspunkt kann also sowohl auf der Mittelspannungsebene als auch auf der Niederspannungsebene liegen. Weiter können an einem Netzanschlusspunkt eine Vielzahl an Gebäuden angeschlossen sein, oder aber, jedes Gebäude seinen eigenen Netzanschlusspunkt haben (siehe Bild unten).

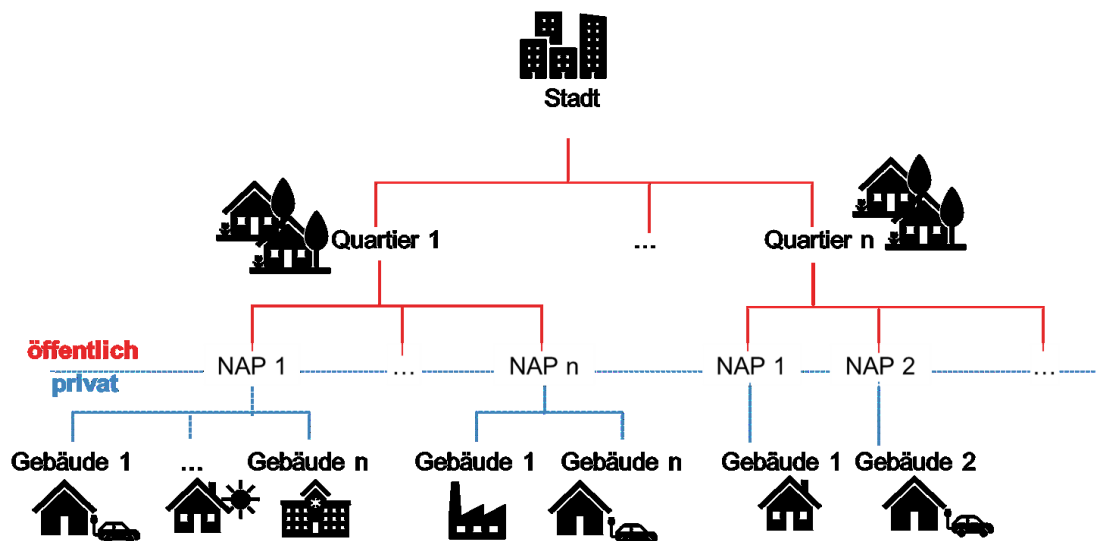


Abbildung 10: Hierarchie der übergeordneten Infrastruktur: Mehrere Gebäude an einem Netzanschlusspunkt (NAP) (links) oder nur ein Gebäude pro NAP und Kopplung der Gebäude nur über das öffentliche Netz (rechts) (Galenzowski, Waczowicz, and Hagenmeyer 2023)

Zunächst wurden daher alle Netzanschlusspunkte beziehungsweise Kundenanlagen ermittelt.

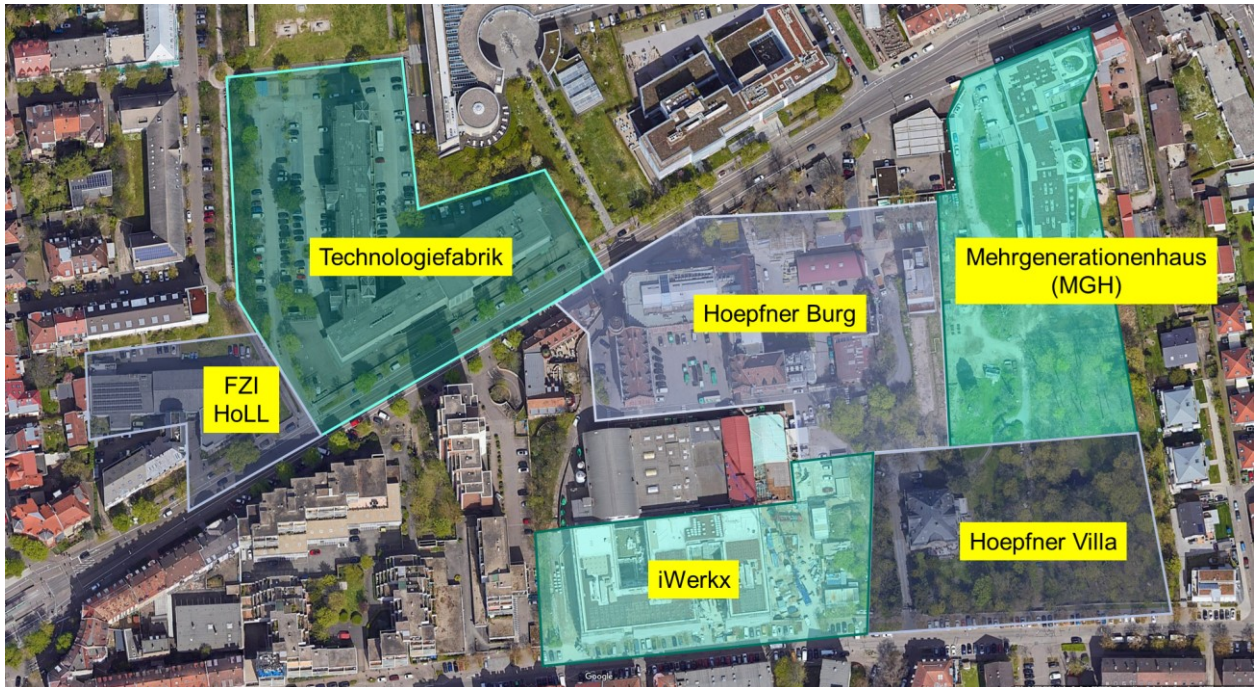


Abbildung 11: Das Smart East Areal besteht aus sechs Kundenanlagen

Bezeichnung	Adresse	Spannungslevel Übergabe
FZI HoLL	Haid-und-Neu-Str. 5a	400 V
Technologiefabrik	Haid-und-Neu-Str. 7	20 kV
Mehrgenerationenhaus (MGH)	Haid-und-Neu-Str. 32	20 kV
Hoepfner Burg	Haid-und-Neu-Straße 18/20	20 kV
Hoepfner Villa	Rinheimer Str. 33	400 V
iWerkx	Haid-und-Neu-Straße 18 Rinheimer Straße 23	20 kV

Tabelle 1: Kundenanlagen und die von uns gewählte Bezeichnung mit den zugeordneten Adressen und des Spannungslevels, auf welchem die Kundenanlage mit Strom versorgt wird

In jeder Kundenanlage existiert eine Vielzahl an Stakeholdern. Zusätzlich sollen die für alle Use Cases benötigten Daten alle vollständig erfasst werden. Für den Use Case Optimierung werden Prognosen für den lokalen Verbrauch und die lokale regenerative Erzeugung benötigt. Wie in AP4 vorgestellt, handelt es sich bei der lokalen regenerativen Erzeugung um PV-Anlagen. Zusätzlich wird für den Use Case Abrechnung oder Visualisierung der historische Verbrauch der flexiblen Verbraucher benötigt. Wie in AP4 dargestellt, sind die vielversprechendsten Verbraucher Ladestationen. Vorteilhaft ist hier, dass die Ladestationen bereits eine integrierte Messung besitzen. Für den Use Case der Prognose des lokalen Restverbrauchs (aller nicht gesteuerter Anlagen) wird ebenfalls ein Lastgang benötigt. Hier entsteht die Frage, ob alle Mieter des Gebäudes dafür live und hochaufgelöst gemessen werden müssen. Dies würde einen erheblichen Installationsaufwand bedeuten. Zusätzlich wirft das hochfrequente Messen einzelner Mieter einige datenschutzrechtliche Probleme auf. Aus dem untenstehenden Bild wird allerdings deutlich, dass, durch Messen des Energieaustauschs der Kundenanlage mit dem Quartier, der Restverbrauch mathematisch bestimmt werden kann.

$$P_{sum, res. cons.} = P_{exch.} - P_{loc. gen.} - P_{flex. cons.}$$

mit:

$$\text{Restverbrauch: } P_{sum, res. cons.}$$

Austausch mit Quartier: Pexch.

lokale Erzeugung: Ploc. gen.

Flexible Verbraucher: Pflex. cons.

Im untenstehenden Beispiel kann damit die Anbindung von ca. 30 Mieterzählern gespart werden.

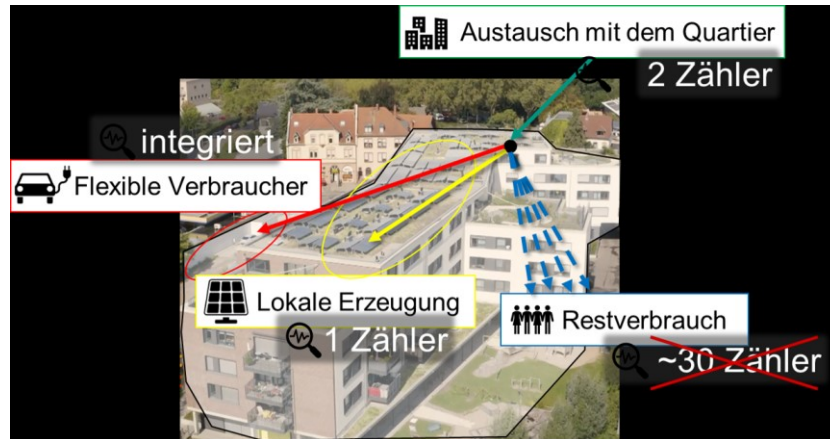


Abbildung 12: Beispiel einer Kundenanlage und der relevanten Energieflüsse (Galenzowski et al. 2023)

Der einzige Fall, in dem für das Energiemanagement von der oben vorgestellten Architektur abgewichen werden muss ist, wenn Leistungslimits in einer Unterverteilung existieren. Ein zusätzlicher Zähler wird dort notwendig, wo durch eine flexible Anlage die Leistungsgrenze überschritten werden könnte. Wenn die an einer gemeinsamen Unterverteilung angeschlossenen Anlagen allesamt flexible Anlagen sind, die eine eigene integrierte Messung haben, kann auf den zusätzlichen Zähler verzichtet werden.

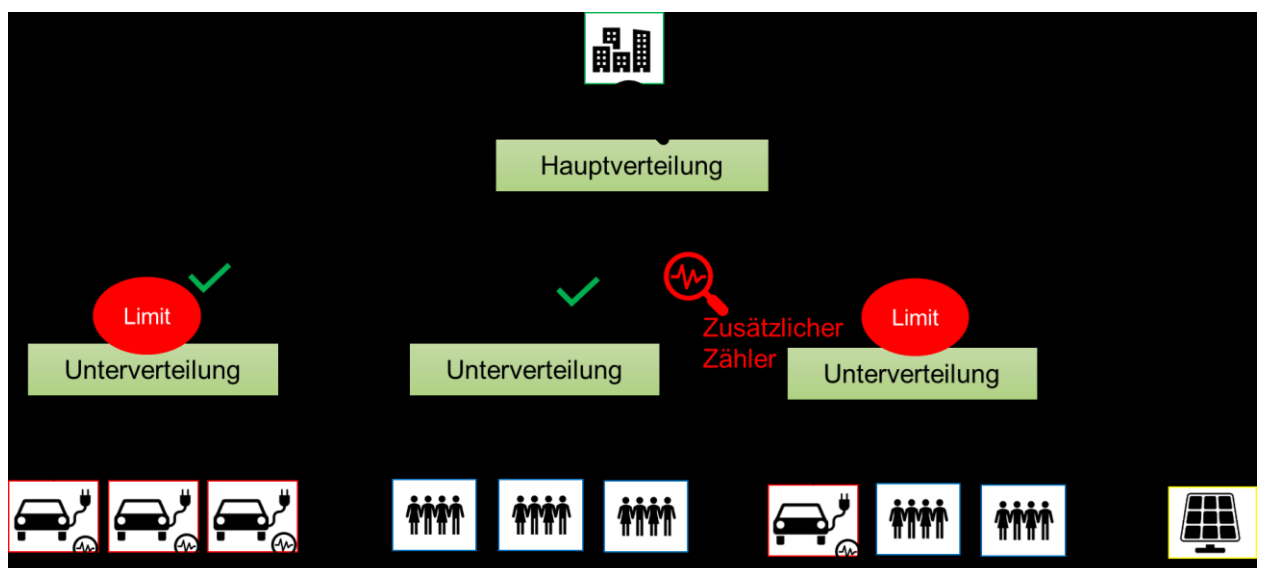


Abbildung 13: Im Falle eines Leistungslimits in einer Unterverteilung kann eine zusätzliche Messung notwendig werden

Insgesamt wurden 24 Stromzähler, 8 Wärmezähler, 2 Gaszähler geplant. Die ca. 200 im Quartier befindlichen Zähler von einzelnen Mietern sind, wie oben erklärt, keine zwingende Voraussetzung.

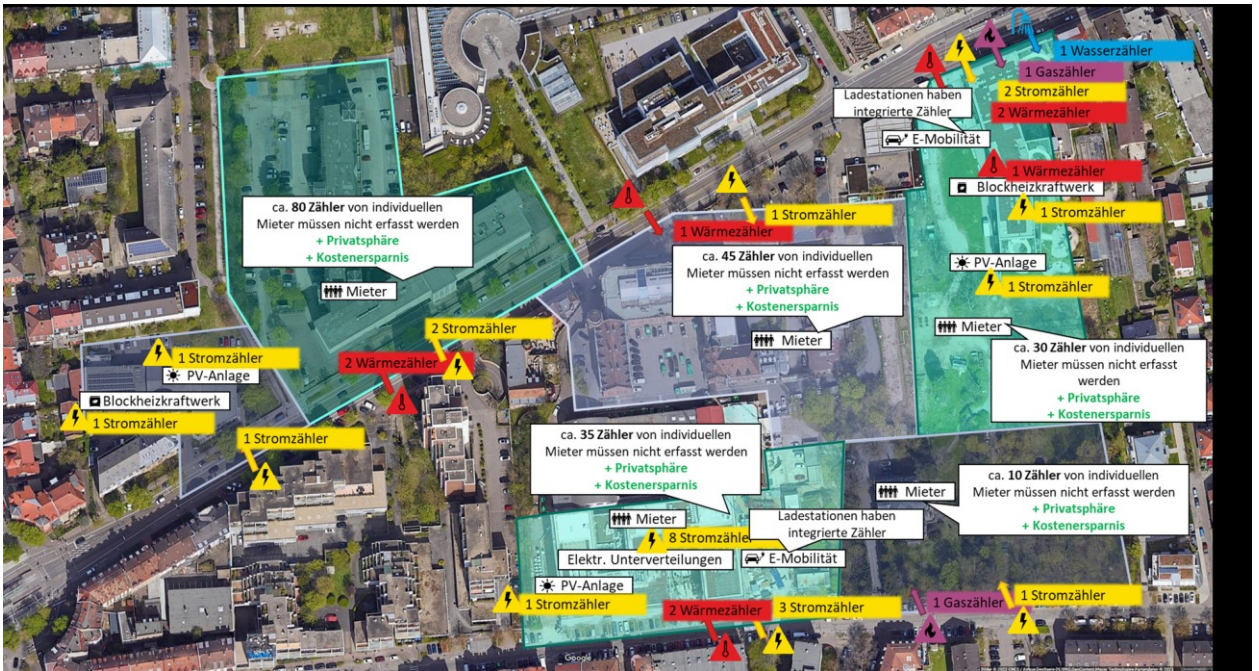


Abbildung 14: Übersicht aller in Smart East installierten Zähler

Von den 34 geplanten Zählern sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes noch zwei ausstehend. Der Stromzähler für die Hoepfner Burg kann erst bei der nächsten Trafowartung eingebaut werden, da sich die Verteilerschranktür, in welche er eingebaut werden soll, nur bei Spannungsfreiheit öffnen lässt. Da der Aufbau der PV-Anlage im MGH erst im Rahmen des Projektes erfolgte und zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes noch nicht abgeschlossen ist, wurde auch der Stromzähler für die PV-Anlage des MGH noch nicht installiert.

Use case	Processing	Parameter	Unit	Available resolution	Required resolution	Required period
1.1.) Load forecast	online	$P_{sum,res,cons.}$	W	1 min	15 min	last day
	offline	$P_{sum,res,cons.}$	W	1 min	15 min	since construction
1.2.) PV forecast	online	global radiation	W/m ²	10 h	15 min	next day
		air temperature	°C	10 h	15 min	next day
		wind speed	m/s	10 h	15 min	next day
	offline	global radiation	W/m ²	10 min	15 min	since construction
		air temperature	°C	10 min	15 min	since construction
		wind speed	m/s	10 min	15 min	since construction
2.) Optimization	online	$P_{loc,gen}$	W	1 min	15 min	since construction
		C_{sp}	€/MWh	15 min	15 min	next day
		$P_{loc,gen}$	W	15 min	15 min	next day
		$P_{sum,res,cons.}$	W	15 min	15 min	next day
3.) Billing	offline	$e_{charged}$	Wh	event	event	recent
		C_{el}	€/MWh	15 min	15 min	last year
		$P_{loc,gen}$	W	15 min	15 min	last year
4.) Peak avoidance	online	$P_{flex,cons}$	W	15 min	15 min	last year
		P_{exch}	W	1 s	1 s	recent, current 15 min
5.) Research	offline	P_{exch}	W	1 s	1 s	since construction
		$P_{flex,cons}$	W	1 s	1 s	since construction
		$P_{loc,gen}$	W	1 s	1 s	since construction
		grid status data set	various	1 s	1 s	during measuring campaigns
6.) Visualization	online	all above	all above	1 s to 10 h	1 min	construction - next day

Tabelle 2: Erforderliche Zeitreihen für alle Anwendungsfälle der Quartiersplattform. Der Netzzustandsdatensatz besteht aus dreiphasiger und gesamter Wirk-, Blind- und Scheinleistung, dreiphasige Spannung, Strom und deren gesamte harmonische Verzerrung (THD), Netzfrequenz und $\cos(\varphi)$ (Galenzowski et al. 2023).

Technische Umsetzung

Es gibt grundsätzlich bei Messgeräten zu unterscheiden:

- **Energiemengen:** Stromzähler, geeicht und misst Energiemengen
 - SLP Kunde: nur Energiemenge pro Jahr bekannt
 - RLM Kunde: Verbrauch 15 min scharf für Vergangenheit bekannt
- **Leistung:** Netzanalysator, misst hochaufgelöst diverse Netzzustandsgrößen

und

- **Abrechnungsrelevant:** Zähler wird neben Energiemanagement und Livewerterfassung auch für die Abrechnung genutzt (Stakeholder Messstellenbetreiber und Plattformbetreiber benötigen die Daten)
- **Nicht-abrechnungsrelevant:** Zähler ist an einem Ort montiert, der nicht abrechnungsrelevant ist oder redundant zu einem abrechnungsrelevanten Zähler montiert, d.h. zwei an gleichem Ort

Die oben genannten 34 Zähler messen die in eine Kundenanlage hineingehenden Energieflüsse und lokale Erzeugung sowie lokale Engpässe.

Abrechnung erfolgt bei Fernwärme üblicherweise am Übergabepunkt. Die Weiterverteilung auf die Mieter erfolgt dann durch den Vermieter. Daher ist bei Fernwärme der Energiefluss in eine

Kundenanlage hinein über einen abrechnungsrelevanten Zähler erfassbar. Anders ist dies beim Strom, da hier die Abrechnung in der Regel für jeden Mieter erfolgt. Dennoch existierten in allen Kundenanlagen Stromzähler am Übergabepunkt. Diese waren zu Wartungszwecken für Techniker und zum lokalen Ablesen gedacht. Wichtig ist, dass bereits Stromwandler installiert waren. Die Zähler konnten mit vertretbarem Aufwand gegen welche mit einer digitalen Schnittstelle zur Fernauslesbarkeit ausgetauscht werden. Für die Installation hätte man dagegen für einige Zeit den Strom der gesamten Kundenanlage abschalten müssen, was teilweise nicht ohne Weiteres möglich ist, da die Vielzahl an Kunden (unter anderem diverse Firmen) auf eine durchgehende Stromversorgung angewiesen sind.

Systemarchitektur

In Smart East wurden diverse mögliche Zähler und Wege der Gewinnung von Messwerten untersucht. Mit SMGWs traten leider einige Probleme auf (bitte hierzu erst: Fehlende Nutzbarkeit von SMGWs lesen). Die Zählerwerte sollen über ein gemeinsames Datenformat als JSON über MQTT an die Quartiersplattform übertragen werden. Die Auslesung der Zähler und Transformation in das benötigte Datenformat kann bei den eigenen Zählern direkt durch den Zähler, lokal über einen Mini-Rechner oder in einem Clouddienst erfolgen. Da Zähler mit MQTT Integration zum Zeitpunkt der Instrumentierung eine zu lange Lieferzeit hatten, wurden diese nicht getestet. Von der Varianten „lokaler Mini-Rechner“ und zentraler Clouddienst hat sich der zentrale Dienst als überlegen erwiesen. Die lokalen Rechner hatten zu häufig Probleme und jedes Mal muss jemand vor Ort fahren, um sie zu beheben. Außerdem ist ihr Vorteil, dass diese auch Werte liefern, wenn die VPN-Verbindung zu den Clouddiensten gestört ist, in unserem Falle nicht sehr groß. Dies liegt daran, dass VPN-Endpunkt und MQTT Broker beim selben Partner in derselben Infrastruktur liegen. Fällt also die Verbindung zu diesem Partner aus, so kommen sowieso keine Werte, da der Broker nicht erreichbar ist. Da sich gezeigt hat, dass die VPN-Verbindung zuverlässig über längere Zeit aufrechterhalten werden kann, kann ein zentraler Dienst die Abholung aller Messwerte erledigen. Dieser kann einfach angepasst oder neu gestartet werden, ohne vor Ort gehen zu müssen.

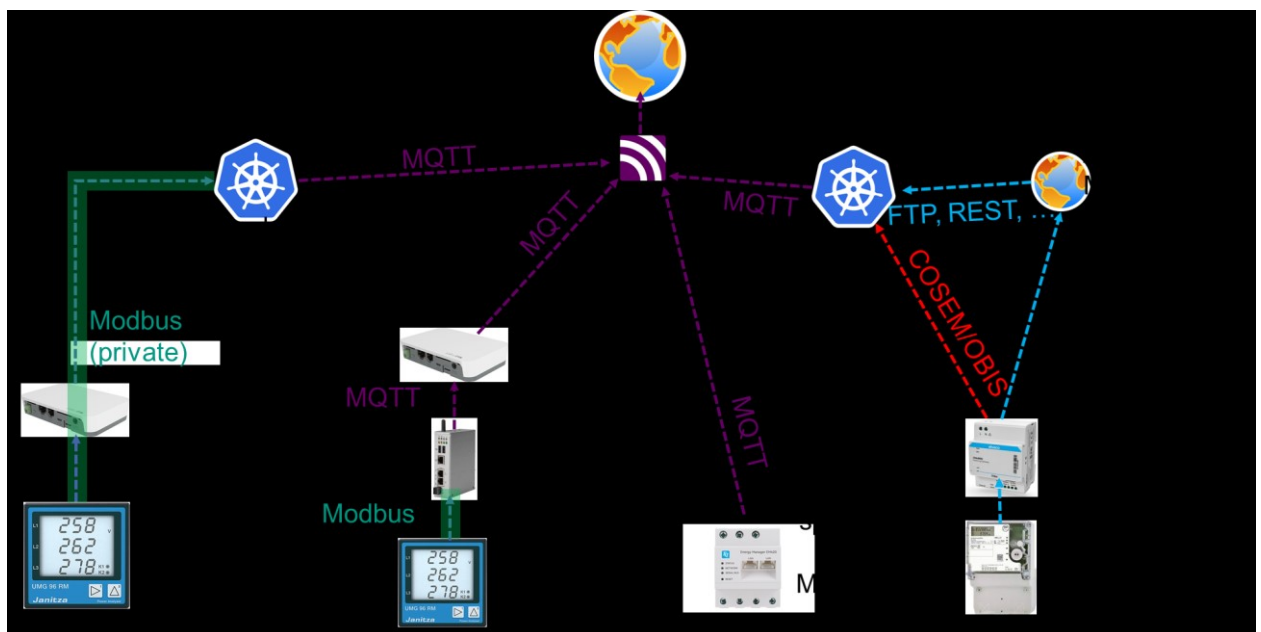


Abbildung 15: Diverse Möglichkeiten zur Realisierung der Datenabholung

Auch die Anbindung eines Messstellbetreiber-Backendes wurde realisiert (siehe Wärmehzähler).

Verwendete Zähler

Als Wärmezähler wurden die bereits von SWKN installierten Landis+Gyr ULTRAHEAT®T550 Wärmezähler verwendet. Sie wurden über einen M-Bus Lesekopf und ein Gateway von SWKN über ein SWKN Backend und SFTP sowie über unsere eigenen Clouddienste zu MQTT und in die Quartiersplattform angebunden.



Abbildung 16: Landis+Gyr ULTRAHEAT®T550 Wärmezähler
<https://www.landisgyr.de/product/ultraheat-t550-uh50/>

Die von uns installierten Messgeräte an den Übergabepunkten sind Janitza UMG 96RM-E sowie Janitza UMG 604-PRO.



Abbildung 17: Janitza UMG 96RM-E
<https://www.janitza.de/produkte/netzanalysator-umg-96rm-e.html>

Das UMG 96RM-E wurden gewählt, da es eine lokale Aufzeichnungsfunktion besitzen. Es hat sich gezeigt, dass die Kommunikation von Messgerät zu Plattform durch diverse Probleme gestört sein kann (siehe Herausforderungen bei der Instrumentierung). Daher sollte ein Messgerät gewählt werden, das selbst Werte aufzeichnet, die später nachimportiert werden können. Idealerweise hat das Messgeräte eine zum Abruf aufgezeichneter Werte REST Schnittstelle. Zeichnet das Gerät die Werte selbst auf, ist auch eine Zeitsynchronität und erhöhte Stabilität gegenüber einem lokalen Mini-Rechner in jeder Kundenanlage, der die Abfrage übernehmen könnte, gegeben.

Nicht zu vernachlässigen sind die lokalen Gegebenheiten im Schaltschrank. So hatten die meisten Schaltschränke eine Aussparung für UMG 96RM-E in ihrem Frontpanel. Bei drei

Messpunkten wurde jedoch zwangsweise ein Hutschienengerät benötigt. Für diese Schränke wurden daher Janitza UMG 604-PRO verbaut.

Herausforderungen

Zunächst wird in diesem Kapitel auf die Thematik SMGW eingegangen. Anschließend wird auf die Herausforderungen bei der Instrumentierung eingegangen.

Fehlende Nutzbarkeit von SMGWs

Wie oben beschrieben, wurden für die durch uns instrumentierten Zähler anders als im Antrag geschrieben keine SMGWs eingebaut. Eine Vielzahl an Gründe führte dazu, dass SMGWs nicht geeignet waren:

Fehlender TAF 14

- Ursache: Zum Zeitpunkt der Planung der Instrumentierung konnte der lokale Messstellenbetreiber SWKN den benötigten TAF 14 (hochfrequente Bereitstellung von Messdaten) nicht anbieten
- Auswirkung: Verletzung der Anforderung, Live Daten mit mindestens minütlicher Auflösung zu erhalten. Es fehlte eine verlässlicher lokaler Partner, der die Zähler und das SMGW Backend einbauen, konfigurieren und betreiben kann, mit dem hochaufgelöste Daten bereitgestellt werden können
- Zukünftige Entwicklung: TAF 14 wird voraussichtlich auch von SWKN zukünftig angeboten. Das Problem könnte damit zukünftig entfallen.

Gateways – Zähler nur in 1:1 Beziehung verfügbar

- Ursache: Zum Zeitpunkt der Planung der Instrumentierung konnte der lokale Messstellenbetreiber SWKN nur einen Zähler pro Gateway anbinden. An mehreren Übergabepunkten sind aber mehr als ein Zähler zu instrumentieren
- Auswirkung: bei der Nutzung von SMGW können nicht zwei oder mehr Zähler über ein gemeinsames Gateway angebunden werden. Wollte man ungeachtet dessen SMGWs nutzen, bräuhete man an einigen Orten dann eine Vielzahl an SMGWs (eins pro Zähler), obwohl alle Zähler physisch nahe beieinander liegen
- Zukünftige Entwicklung: voraussichtlich wird SWKN zukünftig auch mehrere Zähler pro Gateway unterstützen. Das Problem könnte damit zukünftig entfallen.

Keine Datenlieferung in flexiblem Format an externe Plattform möglich

- Ursache: Zum Zeitpunkt der Planung der Instrumentierung konnte der lokale Messstellenbetreiber SWKN die Daten über SMGWs lediglich in sein eigenes Backend liefern. Selbst andere Anbieter, die TAF 14 abdecken, hatten nur eine Anbindung an ihr eigenes Backend. Ein Dienstleister, der die Daten über SMGW abholt und beispielsweise in einen frei definierbaren Format in JSON auf MQTT übermittelt, war zum Zeitpunkt der Beauftragung nicht bekannt. Da die Kommunikation der Daten für die Plattform über einen zentralen MQTT Broker erfolgt, müssten die Daten auf den MQTT Broker geliefert werden können.
- Auswirkung: Über SMGW konnte keine geeignete Schnittstelle zur Anbindung an die Quartiersplattform definiert werden
- Zukünftige Entwicklung: ob Anbieter zukünftig Schnittstellen wie REST oder MQTT für die Anbindung von SMGWs anbieten werden, ist nicht bekannt

SMGWs sind für Messlokationen und Kundenzähler vorgesehen

- Ursache: Kunden mit intelligentem Messsystem können dieses an ein SMGW anbinden. Die von uns benötigten Zähler am Übergabepunkt sind allerdings keinem Kunden zugeordnet
- Auswirkung: es muss im Backen des Messellenbetreibers möglich sein, SMGWs ohne Zuordnung zu spezifischen Kunden nur für die Quartiersplattform anzulegen
- Zukünftige Entwicklung: aufgrund der anderen Hindernisse, die zum Ausschluss der SMGWs führten, wurde nicht detaillierter untersucht, ob Hindernisse im Backend der IT des Messstellenbetreibers existieren und falls ja, wie diese zukünftig ausgeräumt werden könnten

Abhängigkeit von SMGW Administrator und Backend Betreiber

- Ursache: Aufgrund der Sicherheitsanforderungen ist der Aufwand, selbst SMGW Administrator oder aktiver externer Marktteilnehmer zu werden, erheblich. Eigene VPN-Gateways ließen sich dagegen mit den vorhandenen Fähigkeiten der IT der Projektpartner abbilden
- Auswirkung: bei dieser alternativen Lösung zur Datenlieferung durch einen Partner, der das SMGW betreibt und die Daten beispielsweise auf einen MQTT Broker schickt, müsste ein Partner den Aufwand auf sich nehmen, sich als Administrator oder aktiver externer Marktteilnehmer zu zertifizieren
- Zukünftige Entwicklung: es wird im Rahmen von Forschungsprojekten eher nicht der Fall sein, dass Partner tief in die SMGW Thematik einsteigen, die es nicht als Hauptgeschäft machen. Daher wäre in zukünftigen Projekten eine Firma, die Administrator oder aktiver externer Marktteilnehmer ist, als Projektpartner sinnvoll.

Herausforderungen bei der Instrumentierung

Die größte Herausforderung liegt in der Vielzahl der an der Instrumentierung beteiligten Stakeholder (vergleiche Abbildung 18) und deren Arbeitswille, Kapazitäten und Verfügbarkeit.

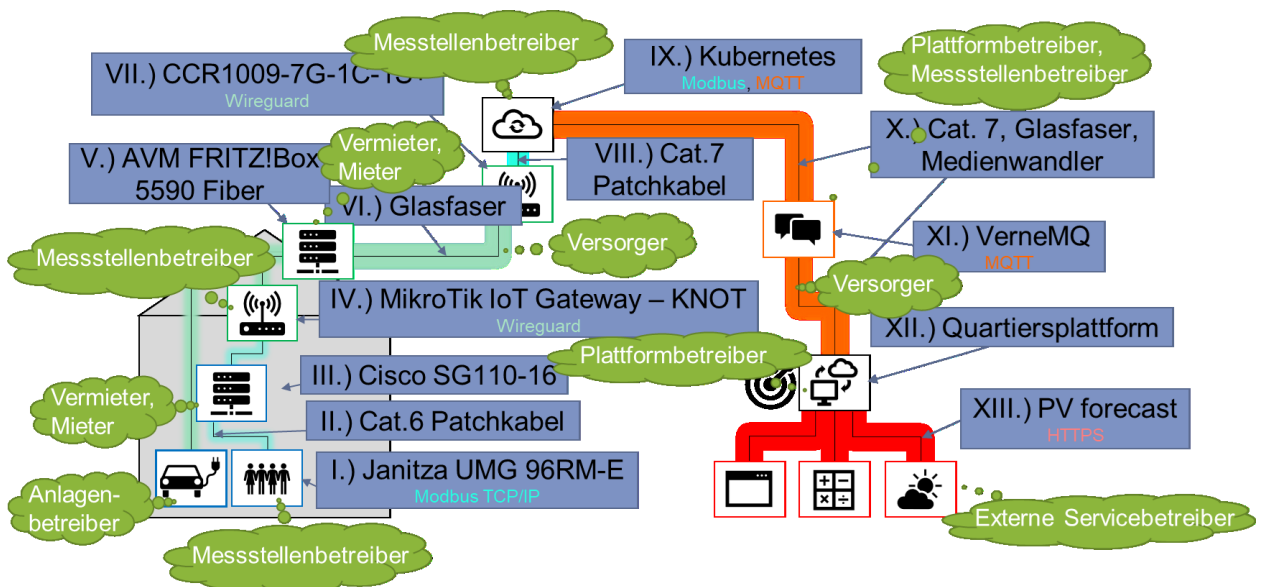


Abbildung 18: Vielzahl beteiligter Stakeholder (grüne Wolken) sowie Geräte (eckige Boxen) und Leitungen (Verbindungslinien)

Insbesondere die Bindung an die mit den lokalen Gebäuden vertrauten Firmen (sowohl auf der Handwerkerseite als auch auf der Seite des Messstellenbetreibers und des Vermieters) sorgt dafür, dass das Projekt direkt von deren Verfügbarkeit abhängt. Es war dabei festzustellen, dass Mitarbeitende dieser Firmen erheblichem Druck ausgesetzt sind und Forschungsprojekte in ihrer Priorität daher zwangsläufig leiden müssen. Eine Empfehlung für zukünftige Projekte wäre, Messstellenbetreiber von Beginn an auch personell in solche Reallaborprojekte einzubinden und nicht nur als Unterauftrag gegen Bezahlung. Weiter empfiehlt es sich, falls möglich, die Arbeiten durch Rahmenvertragspartner der eigenen Firmen ausführen zu lassen, zu denen ein direkter Kontakt und bei denen ausreichend personelle Kapazität besteht.

Weiter hat sich gezeigt, dass neben dem reinen Zähler die Bereitstellung von Internet die größte Herausforderung ist. Der Idealfall wäre, dass zukünftig Immobilienbesitzer ein eigenes, gemanagtes Netz für Gebäudeautomatisierung und Digitalisierung der Energieanlagen bereitstellen. Wir mussten in Smart East noch in jedem Gebäude eine Sonderlösung finden. Beispielsweise über das Internet der Schließanlage, einer Klimaanlagesteuerung oder eines WLAN Anbieters. Hier könnte man bei zukünftigen Projekten direkt vor Start die Vermieter bzw. Immobilienbesitzer für die Notwendigkeit der Bereitstellung von Internet sensibilisieren und hat idealerweise einen Dienstleister zur Hand, der sich mit dem Aufbau und Managen von lokalen Netzen auskennt.

Relevanz der korrekten Erfassung der Struktur der energietechnischen Anlagen und deren Bezeichnungen. Bei einer ersten Begehung sollten alle vorhandenen Zähler und Anlagen sowie insbesondere die auf den Zählern markierten Zählernummern erfasst werden. Zusätzlich sollten Netzpläne und Interviews der Mieter und Anlagenbetreiber herangezogen werden, um Lage und Verschaltung aller relevanten Anlagen zu erfassen. Eine Begehung und Angebotserstellung sollte so früh wie irgend möglich erfolgen.

Grafische Abbildungen der beteiligten Stakeholder und Geräte (wie z.B. in Abbildung 18) können helfen, im Fehlerfall die Ursache schneller zu finden sowie rechtzeitig bei Projektstart alle relevanten Stakeholder zu involvieren.

AP3: Entwicklung der Smart East Quartiersplattform

Die Smart East Quartiersplattform, so wie sie im Projekt entwickelt wurde, umfasst aus Anwendersicht fünf Module, die in Abbildung 18 gezeigt sind: eine zentrale Datenbank für alle Nutzer- und Anlagendaten, ein Modul für Mieterstrom, ein Modul für Smart Charging, ein Modul mit den Prognosen und der Optimierung des Energiemanagements und ein Web-Portal.

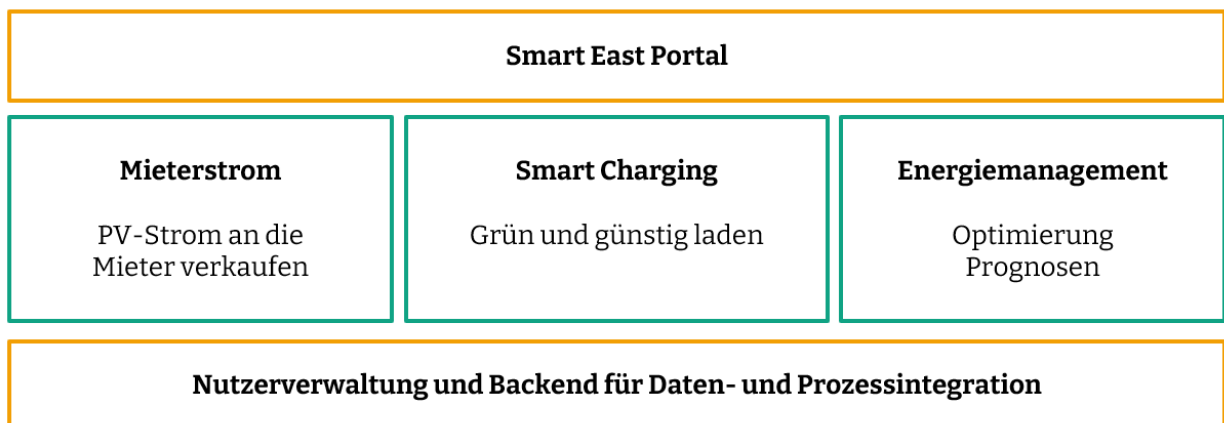


Abbildung 19: Module der Smart East Quartiersplattform

Die Smart East Quartiersplattform ist eine Gemeinschaftsleistung und besteht aus einzelnen Lösungen der Projektpartner. Diese Lösungen wurden von Seven2one zu einem modular aufgebauten, funktionierenden Gesamtsystem integriert, wie in Abbildung 19 zeigt. Diese modulare Architektur macht es möglich, die Gesamtlösung später im Sinne einer Blaupause ganz oder teilweise auf andere Quartiere zu übertragen und dort an die vorhandenen Gegebenheiten anzupassen. Da die Module auch unabhängig voneinander funktionieren, können sie dort auch einzeln genutzt oder durch bereits vorhandene Lösungen ersetzt werden.

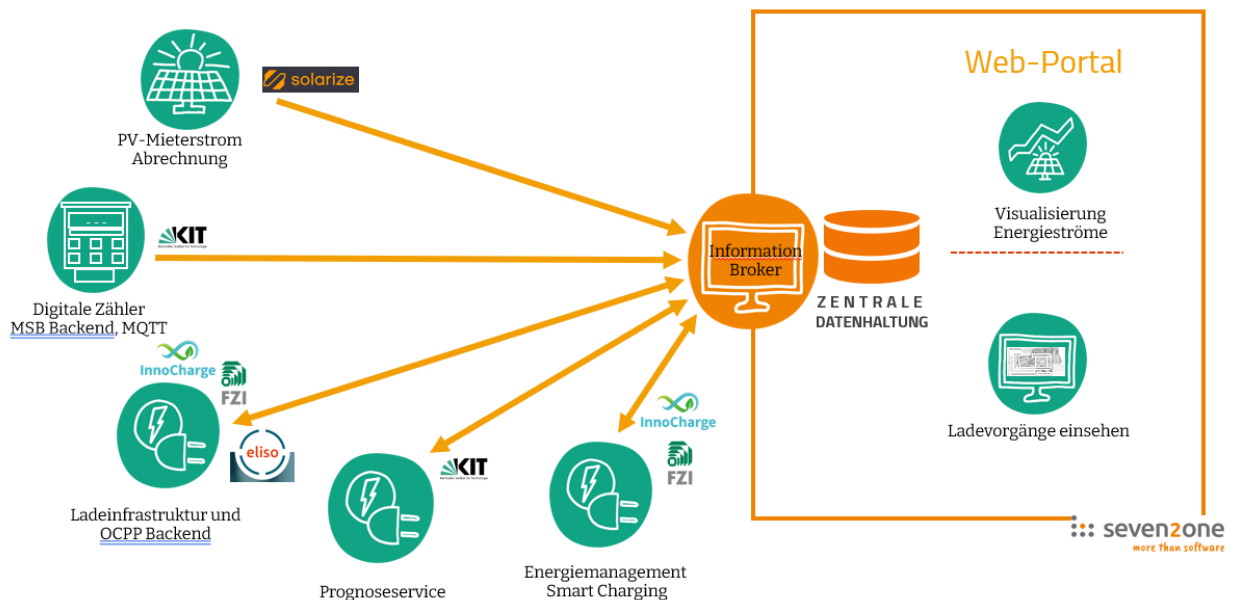


Abbildung 20: Implementierungspartner der Smart East Quartiersplattform

Der gesamte Block Mieterstrom und Abrechnung wurde vom Startup Solarize aus Stuttgart abgedeckt. Das KIT hat alle Zähler installiert und die nötige IT-Infrastruktur zur Übertragung der Messdaten erstellt. Das KIT hat damit im Projekt die Rolle des Messstellenbetreibers eingenommen. Die Ladeinfrastruktur wurde vom Startup Eliso aus Stuttgart geliefert. Das OCPP Backend wurde von InnoCharge und FZI bereitgestellt. Der Prognoseservice für Last und PV-Erzeugung wurde vom KIT entwickelt. Das Energiemanagement für das Smart Charging ist am FZI entstanden und in das Startup InnoCharge übergegangen, wo es zum Produkt weiterentwickelt wurde. Seven2one war für die zentrale Datenbank, den Information Broker und das Smart East Web-Portal zuständig.

Abbildung 21 zeigt die funktionalen Komponenten der Quartiersplattform und die wesentlichen Datenflüsse. Auf der linken Seite finden sich die gemessenen Verbraucher, die ihre Messwerte über den MQTT-Service an die Plattform übertragen. Oberhalb der TechStack-Plattform befindet sich der EV+Opt-Service, der alle Prozesse rund um die Quartiersoptimierung steuert. Dieser bindet den Optimierungsalgorithmus ein und tauscht Ladevorgänge und Fahrpläne direkt mit dem EV-Backend aus. Hier sind auch die Prognose-Services (Lastprognose und PV-Erzeugungsprognose) angebunden. Darüber befindet sich das Web-Portal der Quartiersplattform, welches den Zugang zu den Daten für die verschiedenen Anwendergruppen darstellt.

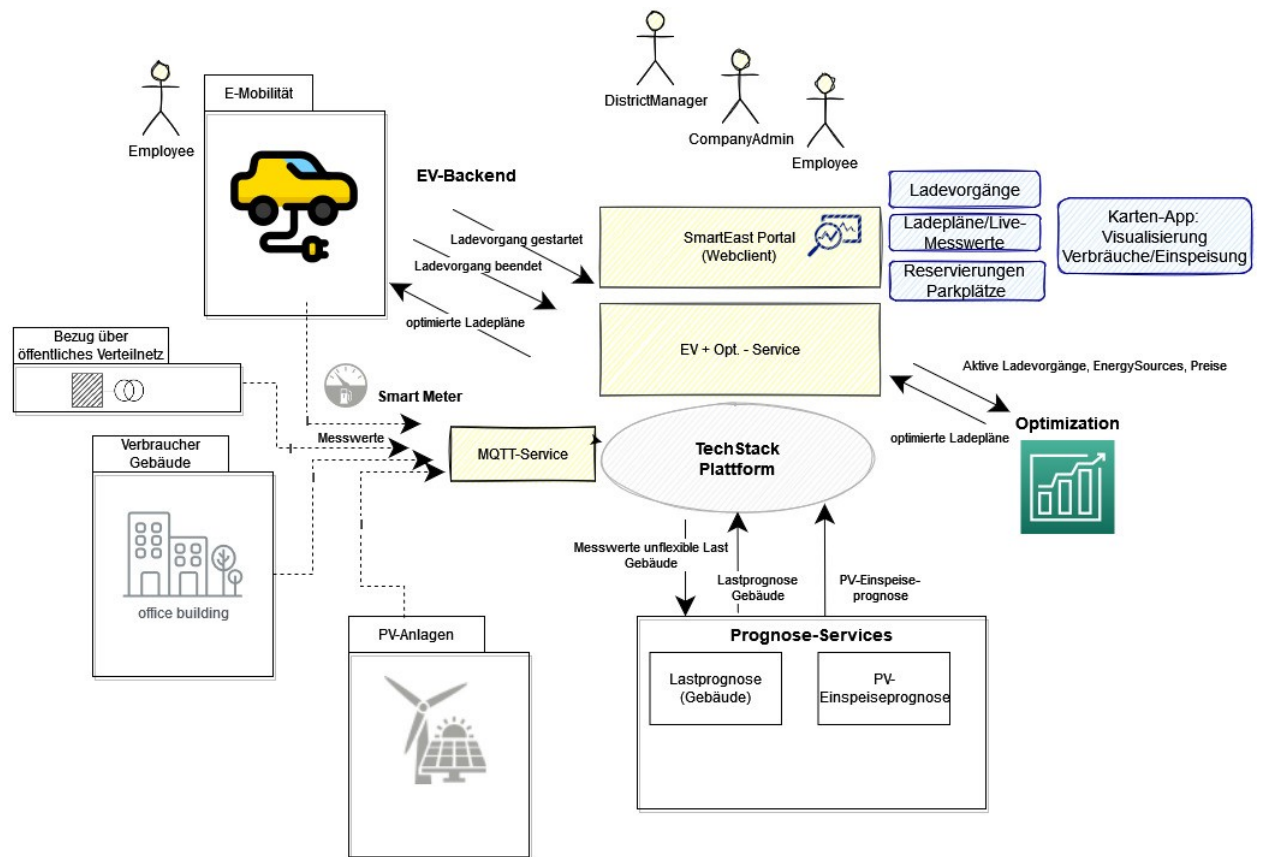


Abbildung 21: Komponenten und funktionales Datenflussbild der Quartiersplattform

Abbildung 22 zeigt die Systemarchitektur zur Optimierung der Ladevorgänge. Hier sieht man anhand der Legende die Partner, welche die jeweiligen Komponenten zur Ladeoptimierung entwickelt haben.

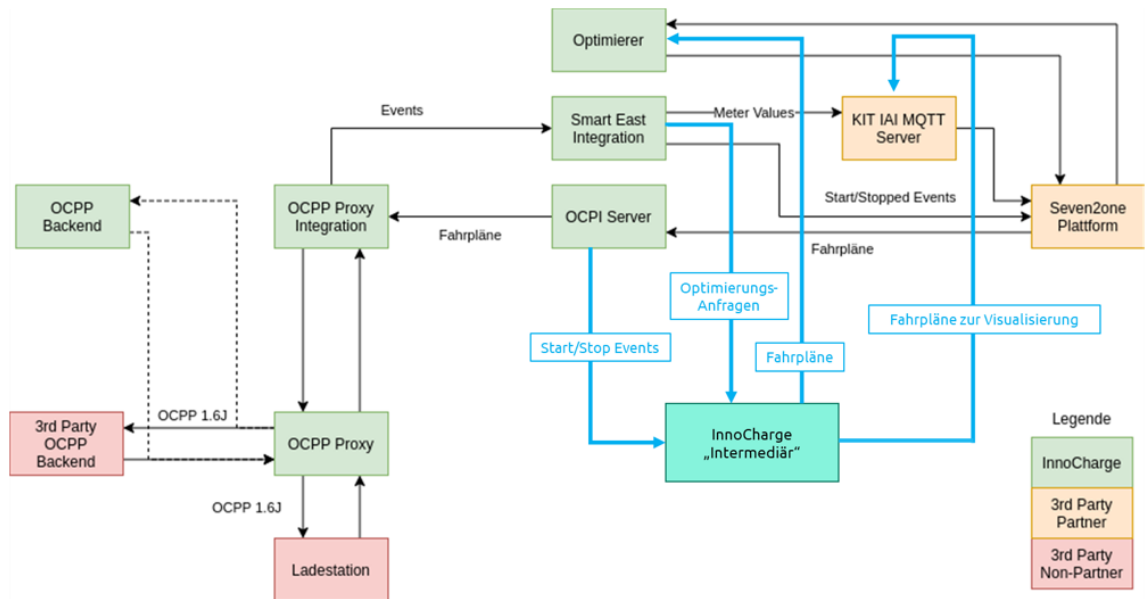


Abbildung 22: Integration der Ladeoptimierung Smart Charging in die Quartiersplattform

Abbildung 22 gibt einen Einblick in die Gesamtarchitektur der Software, jedoch ohne das Mieterstrom-Modul, welches von Solarize abgedeckt wird und nur wenig Schnittstellen zum restlichen System hat. Die Architektur der Quartiersplattform besteht aus drei Blöcken:

- KIT Metering-Anbindung
- Anbindung der Ladesäulen
- Datenhaltung und der Berechnung der Ladepläne.

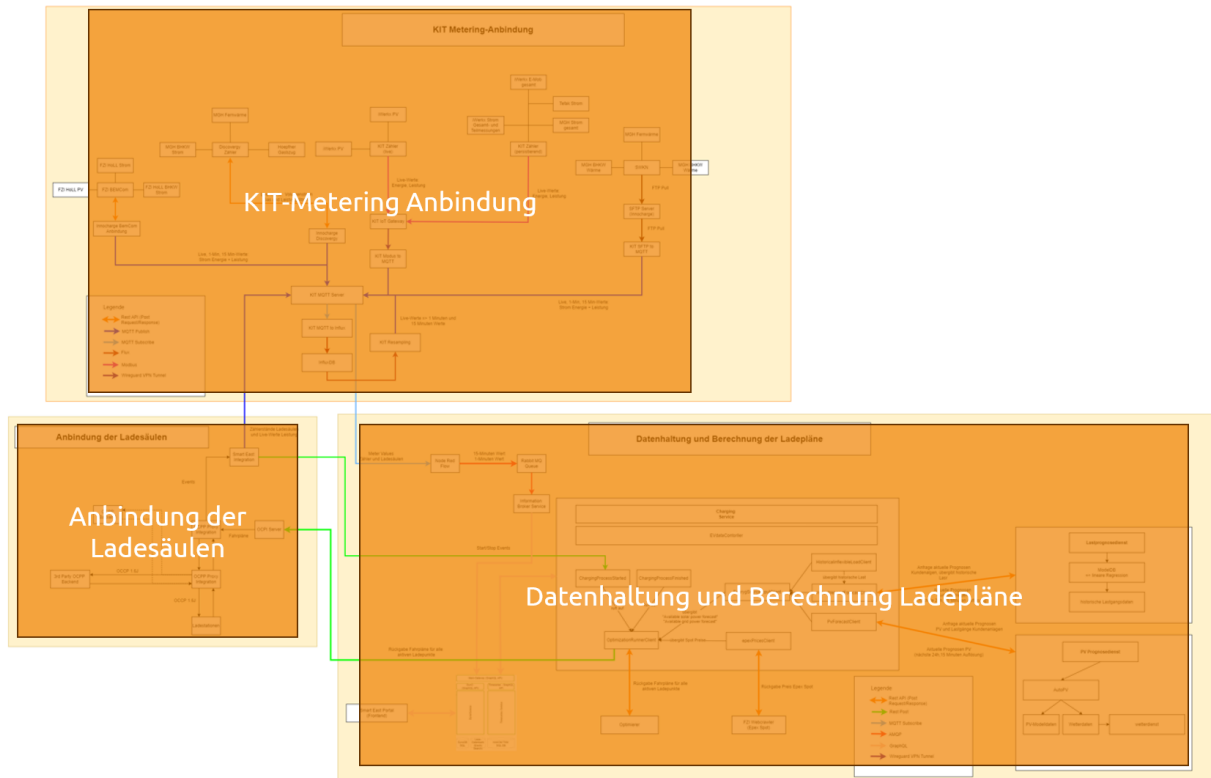


Abbildung 23: Dokumentation der Gesamtarchitektur der Quartiersplattform

Abbildung 24 zeigt im Detail die Systemkomponenten und Datenflüsse zur Anbindung der Zähler aus den verschiedenen Gebäuden (Block „KIT Metering-Anbindung“). Links befinden sich die Zähler aus dem FZI HoLL, daneben ist die Einbindung der bereits existierenden Zähler des Messstellenbetreibers Discovery (BHKW, Gas, Wärme am MGH), in der Mitte die Stromzähler des iWerkx und rechts die Anbindung der Wärmezähler der Stadtwerke Karlsruhe. Die Ladeinfrastruktur überträgt über den blauen Pfeil links unten die aktuellen Leistungen aller Ladepunkte an das KIT Metering (siehe auch Abbildung 24). Alle Daten werden dann aufbereitet, in der Message Queue des KIT MQTT Servers gepuffert und dort für die weitere Verarbeitung in der Plattform bereitgestellt.

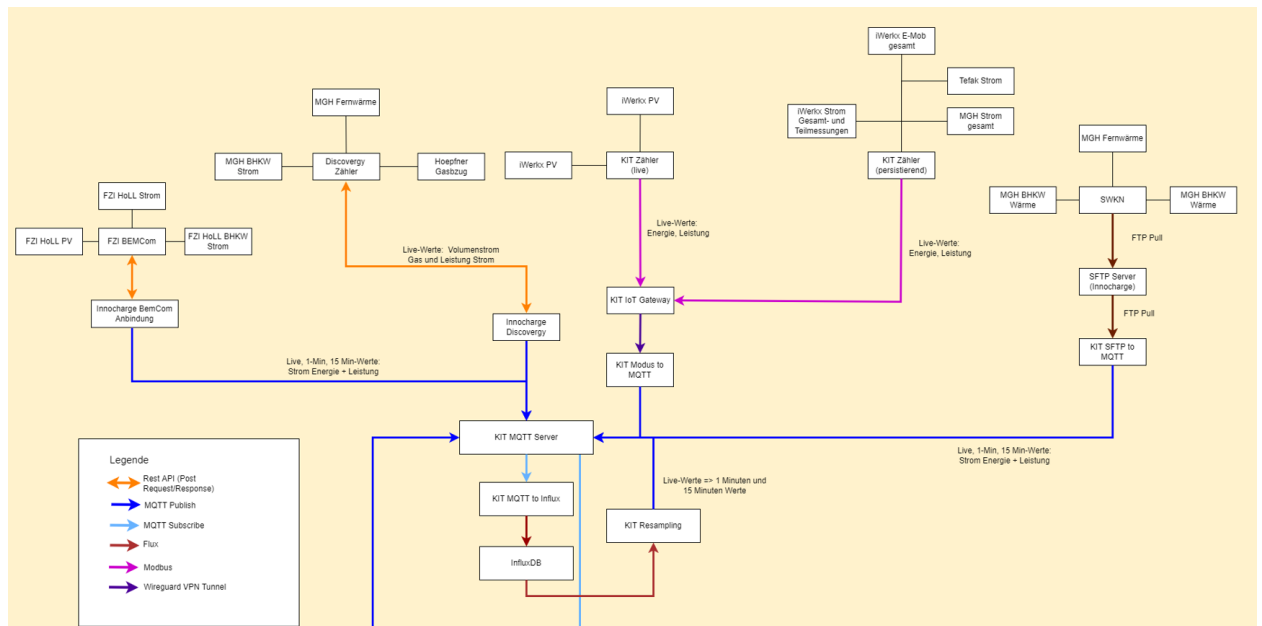


Abbildung 24: Dokumentation der Anbindung der Messstellen über die KIT Metering-Lösung

Abbildung 24 zeigt die Einbindung der Ladeinfrastruktur in die Plattform (Block „Anbindung der Ladesäulen“). Diese besteht im Wesentlichen aus dem OCPP Backend, welches mit allen Ladepunkten kommuniziert. Das System wurde so implementiert, dass unterschiedliche Backends über einen OCPP Proxy integriert werden können, um die spätere Übertragbarkeit auf bestehende Infrastrukturen zu ermöglichen. Der Service „Smart East Integration“ liefert die aktuellen Leistungsdaten an das KIT Metering (blauer Pfeil) und sendet Start und Stop Events von Ladevorgängen direkt an die Ladeoptimierung (oberer grüner Pfeil), wo die optimalen Ladepläne ermittelt werden. Über den OCPI-Server können die optimierten Fahrpläne dann direkt von der Optimierung übernommen werden (unterer grüner Pfeil).

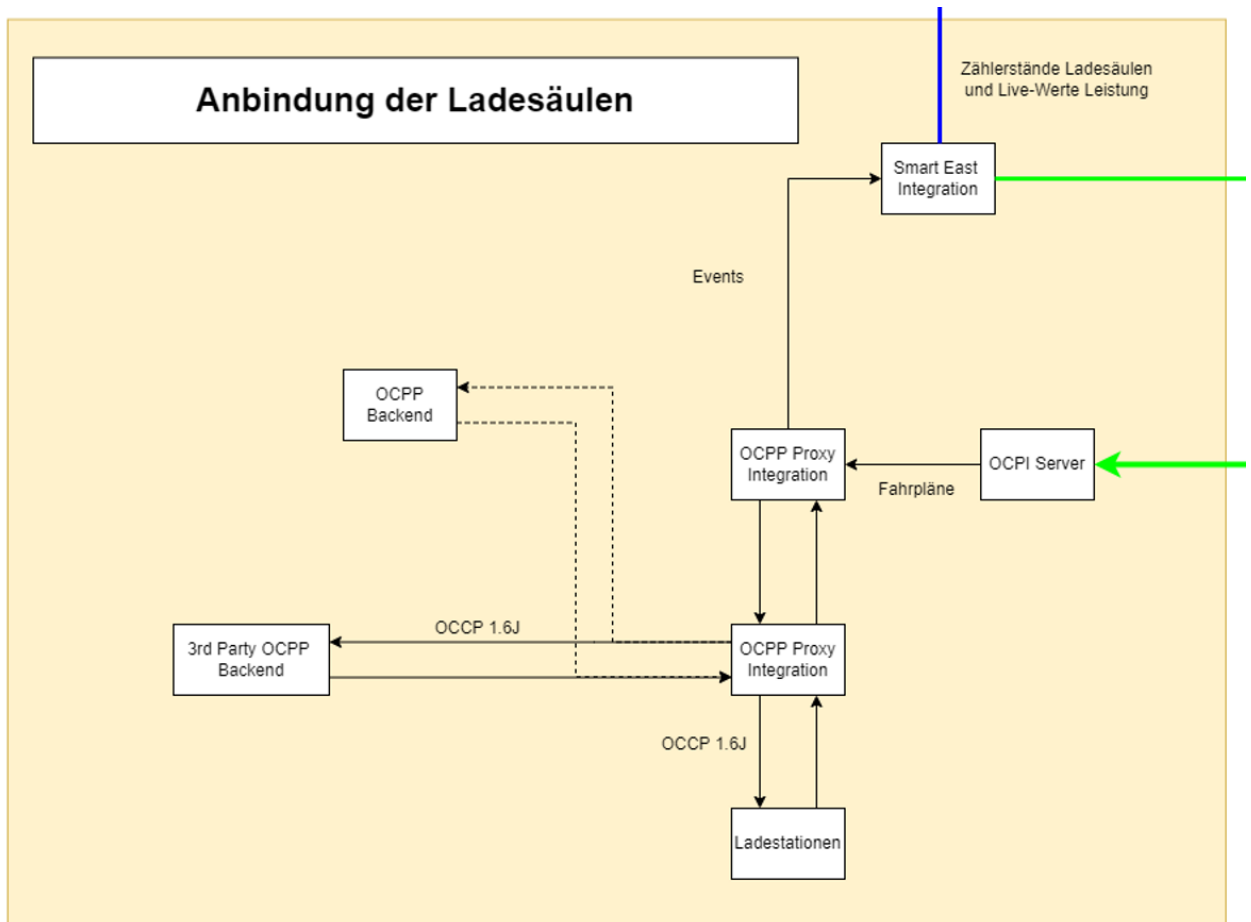


Abbildung 25: Dokumentation der Anbindung der Ladesäulen

Prognosedienste

Zur Optimierung der Kundenanlage wird der inflexible Reststromverbrauch im Quartier und die erwartete regenerative lokale Erzeugung (PV-Erzeugung) für die nächsten 24 Stunden benötigt. Diese sind in [AP2: Digitalisierung der Gebäude im Quartier \(IAI\)](#) beschrieben. Hier wurde auch erklärt, wie diese Lastkurven berechnet werden. Es ist in der Regel notwendig, die Zeitreihen, die den Prognosemodellen übergeben werden, aus gemessenen Zeitreihen mehrerer Zähler zu berechnen. Im Folgenden werden die PV- und die Lastprognose kurz erklärt.

Die von uns entwickelten Prognosedienste basieren beide auf FastAPI und py-WATTS. Die Datenübertragung beim Aufruf der API erfolgt mit einem standardisierten Datenformat nach dem Stand der Technik über Pydantic-Modelle. Die Dienste werden über GitLab CI, JFrog Artifactory und mithilfe von Argo CD und Vault von HashiCorp betrieben. Zentrale Funktionen der Dienste sind die Erstellung eines neuen Prognosedatenobjekts (PV-Anlage oder unflexibler Verbraucher), das Training mit historischen Daten, das Löschen oder Ändern eines Prognosedatenobjekts und das Abrufen einer Prognose für ein bestimmtes Objekt.

PV Prognosen – AutoPV

Die PV-Prognosen werden mit dem am KIT entwickelten AutoPV ermittelt. Für das Berechnen einer Prognose reichen dem Machine-Learning Model Wetterprognosen. Diese umfassen solare Globalstrahlung, die Lufttemperatur und die Windgeschwindigkeit. Wir verwenden aktuell die Wetterprognosen des DWD (MOSMIX), welche eine Auflösung von einer Stunde haben und stündlich um ca. 25 Minuten nach der vollen Stunde aktualisiert werden. Für Smart East nutzen wir Wetterdaten der DWD-Station "Rheinstetten" mit der MOSMIX ID "10731" und der Beobachtungs-ID "4177". Der gemessene Stromerzeugungslastgang der Anlage wird lediglich beim Trainieren des Modells benötigt. Eine eindeutige Identifikation der Anlagen über den gesamten Lebenszyklus eines Modells (Erstellung, Training, Ausführung, Löschung) erfolgt über eine UUID (Version 4).

Beim Anlegen einer neuen PV-Anlage muss deren kWp-Leistung angegeben werden. Weitere Metadaten wie Neigung und Azimut werden beim Training vom Machine-Learning-Model selbstständig berechnet. Diese wird für das spätere Berechnen der Prognosen benötigt und daher nach dem Training in einem strukturierten Datenformat abgelegt. Für eine exakte Schätzung der Anlagenkonfiguration wird der Standort der PV-Anlage und Wetterdaten für diesen Standort benötigt.

Lastprognosen

Für die Lastprognose werden äquidistante Zeitreihen mit einer Auflösung von 15 Minuten verwendet. Während des Trainings wird ein Zeitraum von mehreren Tagen oder Monaten benötigt. Idealerweise nutzt man zum Training ein ganzes Jahr. Während der Ausführung werden die gemessenen Werte der letzten 24 Stunden benötigt, also die letzten 96 Werte (bei 15 Minuten Auflösung). Der Dienst liefert den prognostizierten Verbrauch für die nächsten 96 Werte (24 Stunden) als Antwort. Grundsätzlich kann der Dienst mit einer beliebigen Auflösung genutzt werden, allerdings muss die Auflösung der Trainingsdaten und der bei der Ausführung verwendeten Messdaten identisch sein. Weiter muss im Model die Einheit und Skalierung definiert werden. Also, ob z.B. W oder kW (kW = Skalierungsfaktor 3, $10^3 = 1000 = \text{Kilo}$) vorgegeben werden. Die Lastprognose wird über pyWATTS (entwickelt am KIT) und scikit-learn mittels linearer Regression bestimmt.

Das Smart East Web-Portal

Das Smart East Web-Portal ist die zentrale Anwendung, um die Daten im Quartier zu visualisieren. Als zentrale Navigation wurde ein Satellitenbild des Quartiers gewählt, wo die verschiedenen Messstellen angezeigt sind und angewählt werden können. Im linken Bereich befindet sich eine Liste aller verfügbaren Messpunkte.

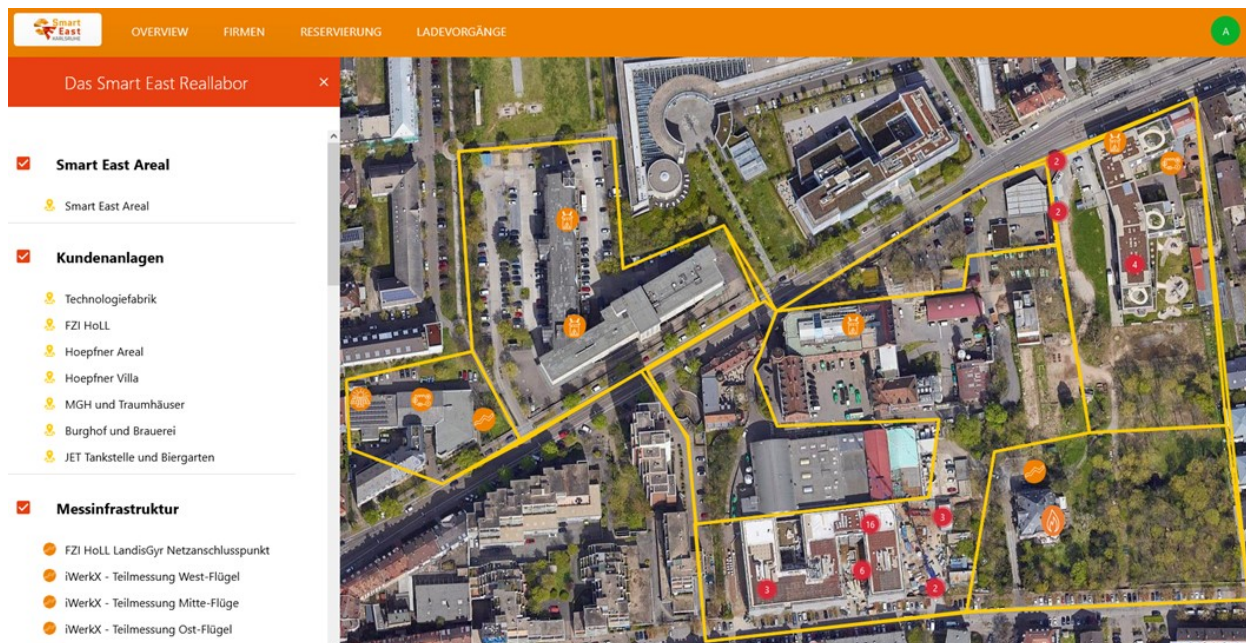


Abbildung 27: Zentrale Navigationsebene des Smart East Portals

Durch Anklicken eines Messpunkts werden links seine Stammdaten angezeigt und in einem eigenen Fenster die Zeitreihenwerte des aktuellen Tages. Im Folgenden werden exemplarisch die Daten für die Leistungsmessung Strom und Gas einer Liegenschaft im Quartier dargestellt

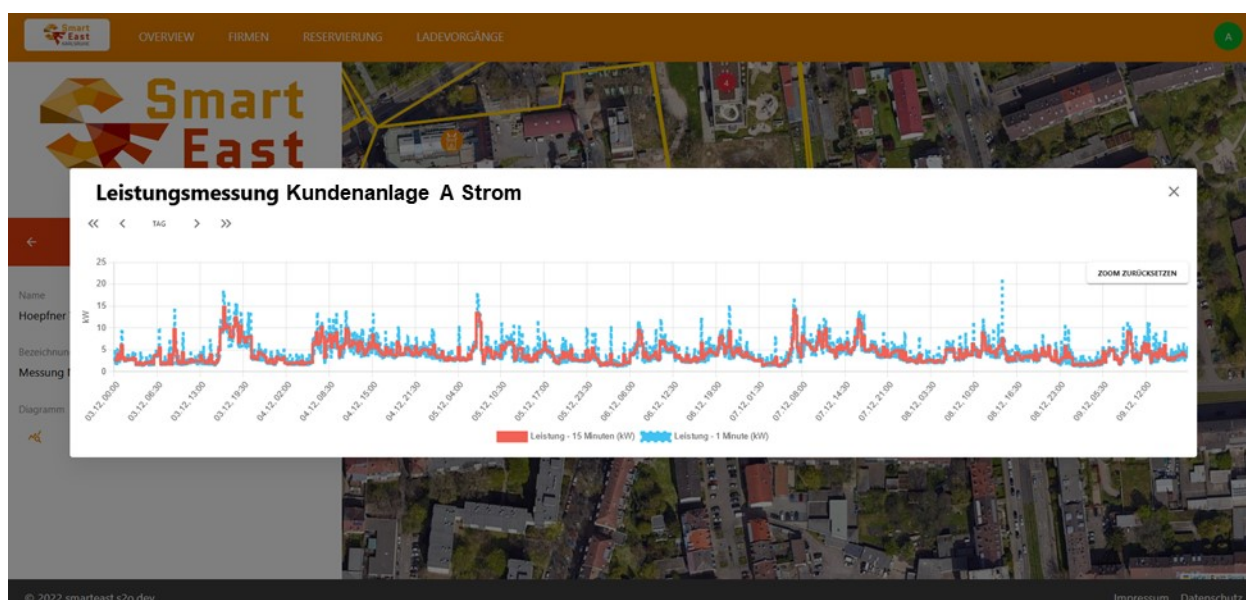


Abbildung 28: Leistungsmessung Strom [kW] an einer Liegenschaft - Wochenlastgang



Abbildung 29: Leistungsmessung Gas [m³/h] einer Liegenschaft - Wochenlastgang

Für die Darstellung der Werte kann der Zeitraum Tag oder Woche gewählt werden. Es ist möglich, tageweise oder wochenweise vorwärts und rückwärts zu blättern und in die Daten hineinzuzoomen.

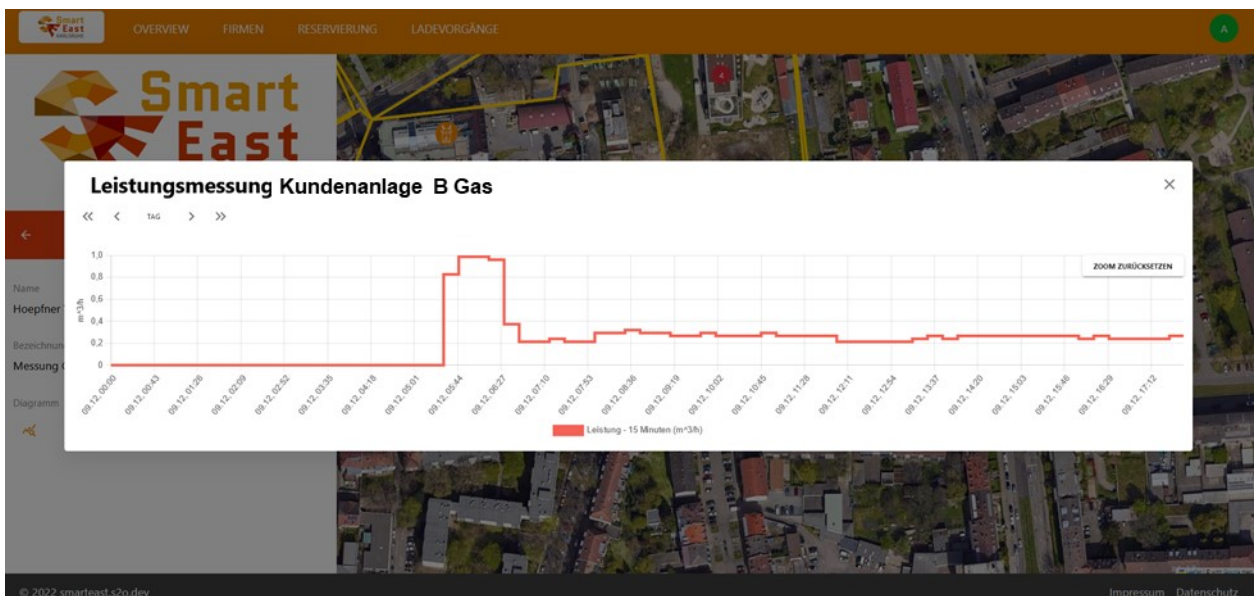


Abbildung 30: Leistungsmessung Gas [m³/h] einer Liegenschaft - Tageslastgang

Zusammenfassung

Die Smart East Quartiersplattform ist entwickelt und einsatzbereit. Im Quartier werden alle ausgetauschten Energiemengen bilanziell erfasst und visualisiert. Die zentrale Datenplattform ist aufgebaut, das Optimierungsmodell ist in den Regelprozess eingebunden, die Portallösung mit dem Betreiber-Cockpit ist fertiggestellt.

Der Information Broker der Plattform hat Schnittstellen zur Anbindung der Mess-Infrastruktur und zur Datenübermittlung von Zähler- und Sensordaten und zur Bereitstellung externer Daten wie z. B. Marktpreise und Wetterdaten. Diese sind in Betrieb und liefern Echtzeitdaten im Minuten- und Viertelstundentakt. Die Anbindung der Ladesäulen als steuerbare Anlagen mit Übermittlung der

Fahrpläne ist erfolgt. Eine zentrale Datendrehscheibe zur Bündelung der Anlagendaten, Kundendaten, Verbrauchsdaten und Marktdaten ist aufgebaut. Die Implementierung der Verwaltung von Zugriffsrechten für die verschiedenen Rollen wurde zurückgestellt. Lastprognosen, Preisprognosen und Erzeugungsprognosen sowie die Quartiersoptimierung sind an die Plattform angebunden. Der Planungsprozess ist vollständig automatisiert. Die Plattform stellt alle notwendigen Daten für eine Kostenabrechnung nach Ist-Verbräuchen zur Verfügung. Eine Online-Berechnung der CO₂-Bilanz in Echtzeit wurde zurückgestellt. Das Web-Portal erfüllt die Anforderungen des Betreibers als zentraler Leitstand für Visualisierung und Monitoring aller Anlagendaten, Systemzustände im Quartier. Die Entwicklung eines eigenständigen Portals für Vermieter und Mieter zur Visualisierung ihrer Energieverbräuche und Energiekosten sowie der Abrechnungen wurde zurückgestellt.

Die Daten bilden die Grundlage für die Bewertung der Energieoptimierung und der ausgewählten Geschäftsmodelle. Basierend auf diesen Daten können Abrechnungen erstellt werden.

AP4: Quantifizierung der Energieflüsse im Quartier & Bestimmung der Synergiepotenziale

In AP 4 wurde untersucht, welche Flexibilitätpotenziale die betrachteten energietechnischen Anlagen bzw. energetischen Infrastrukturen der einzelnen Organisationseinheiten im betrachteten Quartier bieten. Unter Nutzung der mithilfe der Instrumentierung aus AP 2 gewonnenen Daten wurden Simulationsmodelle der energietechnischen Anlagen und Anlagenverbände der jeweiligen Quartierssparten entwickelt, welche die Nutzung der ermittelten Flexibilität innerhalb eines quartierweiten Systemmodells erlauben und dabei das Verhalten der echten Anlagen und Anlagenverbände über die Simulationsmodelle über Benchmarking mit den gewonnenen Daten realitätsnah abbilden.

Im Rahmen des Projektes wurde auch untersucht, welche Energieflüsse und Anlagen im Status quo ante existieren und welche Potenziale im Quartier gehoben werden können.

Zunächst musste festgestellt werden, dass der überwiegende Teil der Wärmeversorgung im Quartier über Fernwärme erfolgt. Diese hat mit 78g CO₂ pro kWh einen sehr geringen CO₂ Ausstoß (Vergleich Strom 2022 durchschnittlich 434g CO₂ pro kWh). Es ergibt ökonomisch und ökologisch wenig Sinn, die Wärmeversorgung aktuell über einen anderen Weg zu realisieren. Daher sind die Sektoren Strom und Mobilität aktuell die vielversprechendsten.

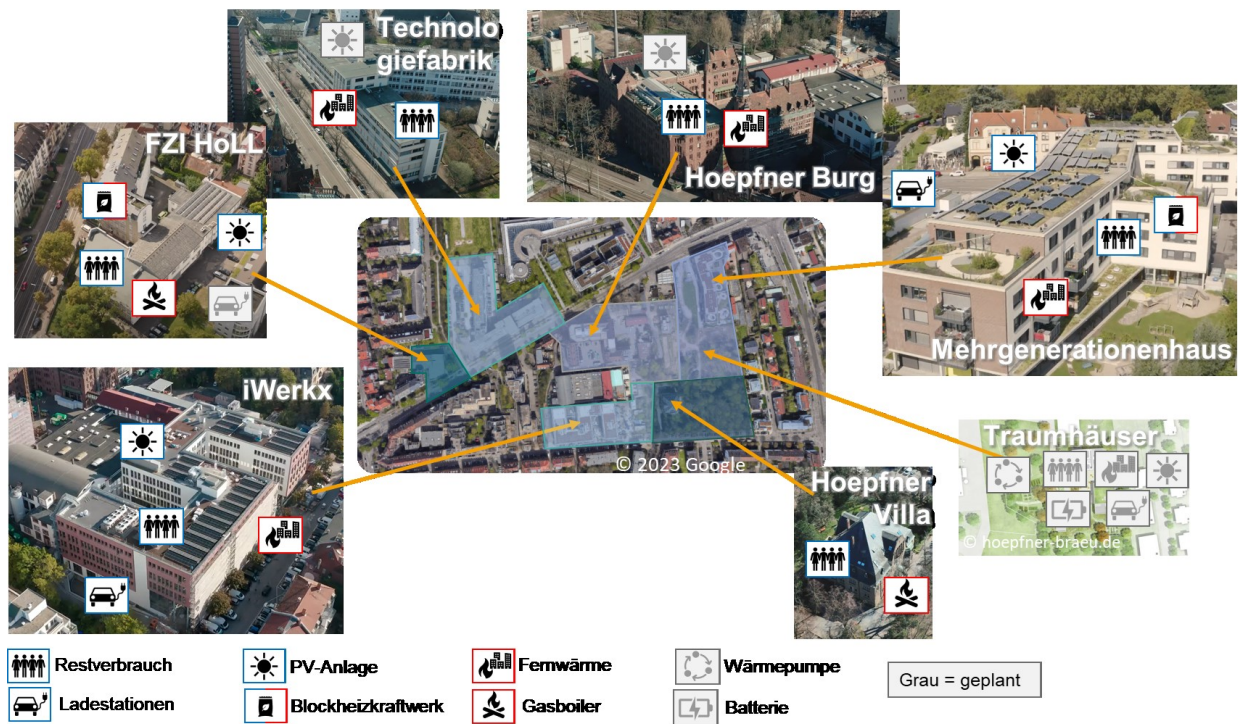


Abbildung 31: Überblick über Verbraucher und Erzeugung von Strom und Wärme (Stand 2023)

Eine essenzielle Voraussetzung beim Aufbau einer Quartiersplattform ist die Erfassung der im Quartier vorhandenen Flexibilität. Eine Vielzahl an wissenschaftlichen Publikationen beschäftigt sich mit der Erfassung und Ausnutzung von Flexibilität.

Mögliche Flexibilitätsquellen sind:

- Strategisch sinnvoll zugebaute Neuanlagen (basierend aus einer Datenanalyse und Identifikation geeigneter Kundenanlagen)
- Existierende Flexibilität von Stakeholdern, die indirekt genutzt wird (z.B. Anreize für Mieter)
- Existierende Flexibilität, die direkt genutzt wird (direkte Steuerung von Anlagen durch die Plattform)

Erfassung zur direkten Steuerung geeigneter, existierender Anlagen

Neben den indirekten Flexibilitäten von Mietern, die beispielsweise über dynamische Tarife gehoben werden können, wurden auch diverse steuerbare Anlagen im Quartier betrachtet, die direkt von der Plattform aus gesteuert werden könnten.

Hierbei handelt es sich um Blockheizkraftwerke, Ladestationen, Batteriespeicher, PV-Anlagen, Wärmepumpen und Klimaanlage.



Abbildung 32: Für die Steuerung im Sektor Strom potenziell interessante Anlagen sowie ihren möglichen Leistungsbereich

Welche dieser Anlagen am vielversprechendsten für die Flexibilitätsnutzung über eine Quartiersplattform sind, wird im Folgenden beschrieben.

Verbrauch des Quartiers

Die größten Stromverbraucher im Quartier sind die Technologiefabrik, die Hoepfner Burg und das iWerkx. Danach folgt das MGH und das FZI. Am wenigsten Strom verbraucht die Villa. Insgesamt verbraucht das gesamte Quartier mit ca. 2800 MWh pro Jahr etwa so viel Strom wie 800 Dreifamilienhaushalte (bei 3500 kWh pro Haushalt).

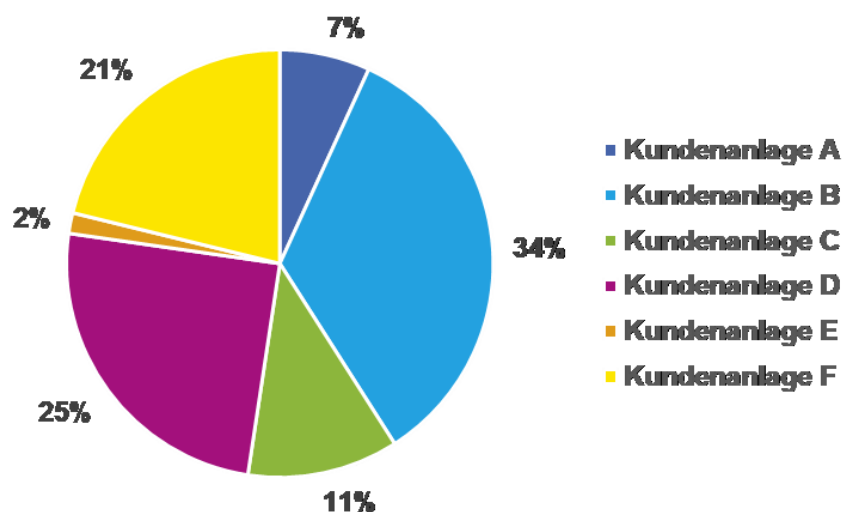


Abbildung 33: Größenordnung des Stromverbrauches der verschiedenen Kundenanlagen (anonymisiert)

Der größte Teil der Kundenanlagen wird mit Fernwärme versorgt. Lediglich die Blockheizkraftwerke in MGH und FZI sowie die Wärmeversorgung der Villa verwenden Gas. Der

Gas- und Fernwärmeverbrauch ist mit 3500 MWh pro Jahr 25% höher als der Stromverbrauch. Lediglich das Mehrgenerationenhaus verwendet sowohl Gas als auch Fernwärme. Es wird im Folgenden detaillierter untersucht.

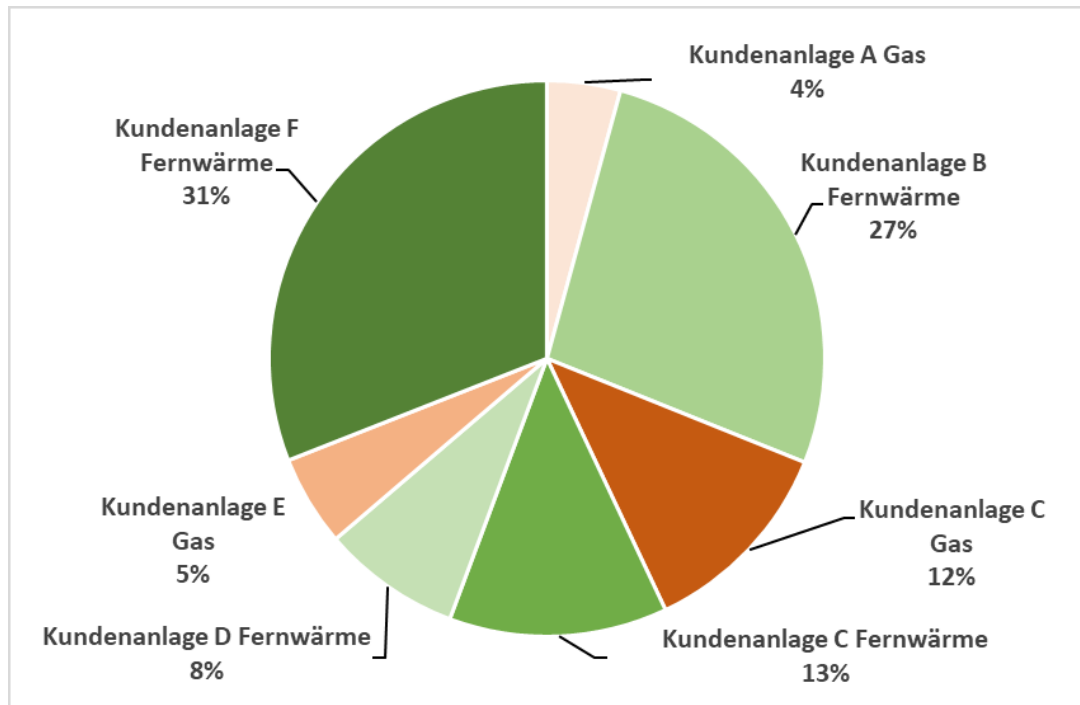


Abbildung 34: Fernwärme- und Gasverbrauch (anonymisiert)

Einspeisung

Da der Verbrauch in nahezu allen Kundenanlagen deutlich die Erzeugung übersteigt, wird aktuell kaum Energie eingespeist. Es gibt keine Kundenanlage, die in Summer einspeist. Lediglich an besonders sonnigen Tagen (PV) oder besonders kalten Nächten (BHKW) kann eine leichte Überproduktion in zwei Kundenanlagen vorkommen. Dies ist der Fall, da im Status quo noch keine E-Mobilität vorhanden war. Leistungsmäßig ist der Überschuss so gering, dass er von zwei bis drei Fahrzeugen aufgenommen werden könnte.

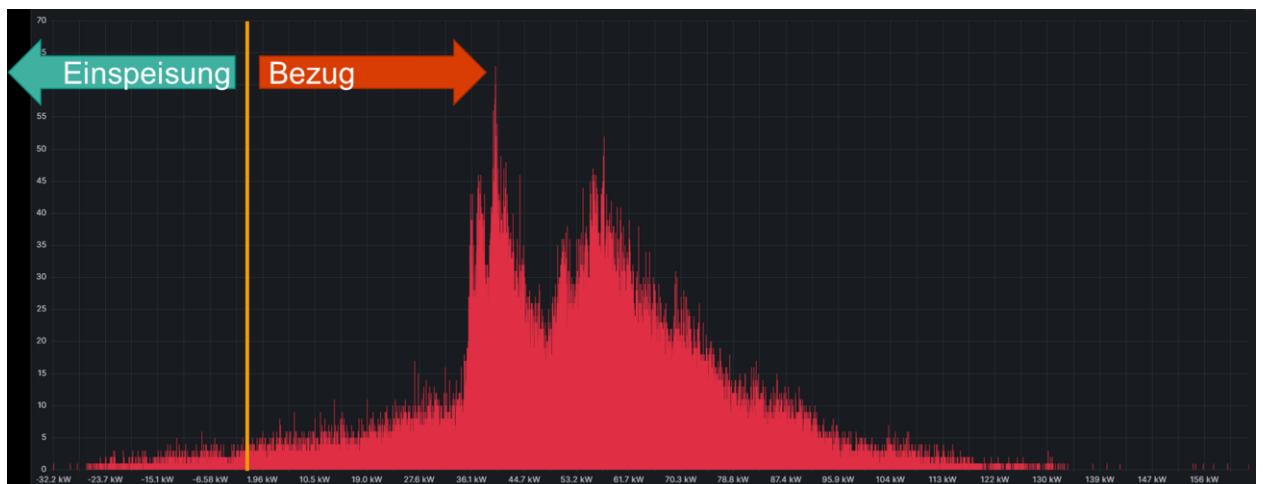


Abbildung 35: Kundenanlage F: Übergabepunkt September, Oktober, November 2023 – Einspeisung durch PV

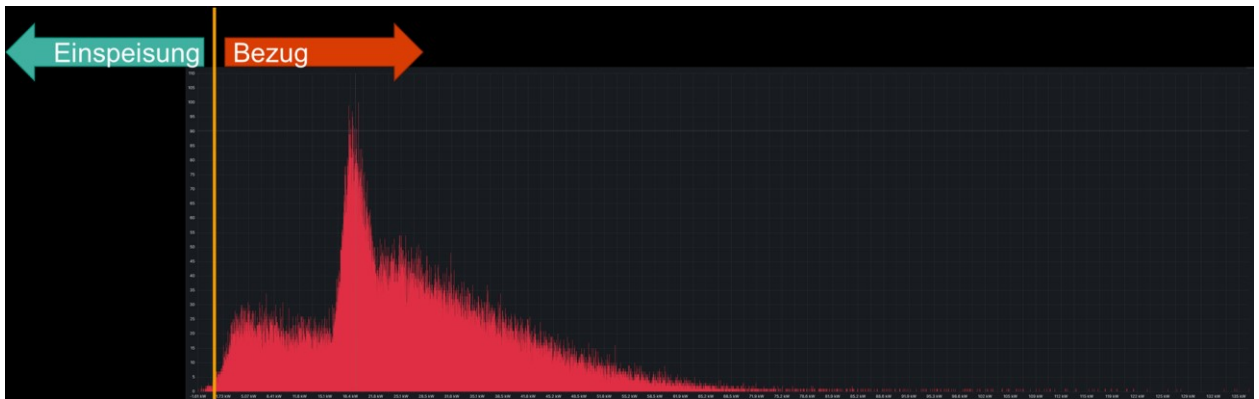


Abbildung 36: Kundenanlage C: September, Oktober, November 2023 – IST Szenario Einspeisung durch BHKW

Alle anderen Kundenanlagen neben diesen beiden speisen aktuell noch zu keinem Zeitpunkt ein, sondern sind lediglich Verbraucher.

Es wurden Simulationen durchgeführt, um das zukünftige Verbrauchs- und Erzeugungsverhalten zu ermitteln.

Mehrgenerationenhaus (MGH)

Im Status quo ante wird der Strombedarf von über zwei Dritteln durch das BHKW gedeckt. Durch Zubau der PV-Anlage sinkt der Netzbezug um ein Drittel. Von dem erzeugten PV-Strom können ca. 80% vom existierenden Bedarf direkt im MGH verbraucht werden. Dieser Teil erhöht sich noch leicht bei Zubau von Ladeinfrastruktur. Hier ist anzumerken, dass eine Annahme über das Ladeverhalten und die Korrelation zur Solareinstrahlung schwierig ist, da es sich bei den Ladestationen unter anderem um Carsharing-Stationen handelt und das Mehrgenerationenhaus eine sehr heterogene Mietergruppe aufweist. Der Verbrauch und die Erzeugung steigen noch einmal deutlich, sobald die geplanten Traumhäuser hinzukommen.

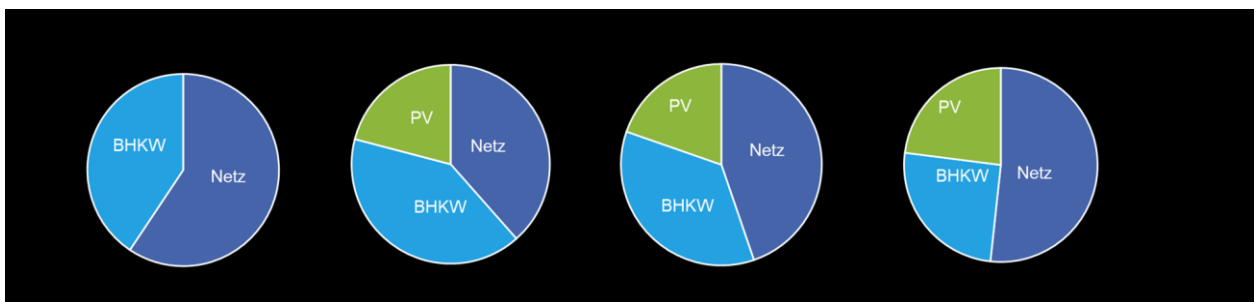


Abbildung 37: Herkunft des im MGH verbrauchten Stromes für den Status quo ante, den aktuellen Status mit PV-Ausbau, dem weiteren Zubau von Ladeinfrastruktur (nicht gemanagt!) und zusätzlich den geplanten Traumhäusern

Die Einspeisung im Status quo ante durch das BHKW ist gering. Eine Eigenverbrauchsoptimierung durch Abschalten des BHKWs wäre im Status quo ante nicht effektiv. Es wird deutlich, dass durch den PV-Zubau die Einspeisung erheblich steigt. Dadurch ergibt sich ein relevantes Potenzial, den Eigenverbrauch zu optimieren. Hierzu können die zukünftig gebauten Ladestationen, der Batteriespeicher sowie die Wärmepumpen genutzt werden. Außerdem wäre denkbar, das BHKW zeitweise abzuschalten.

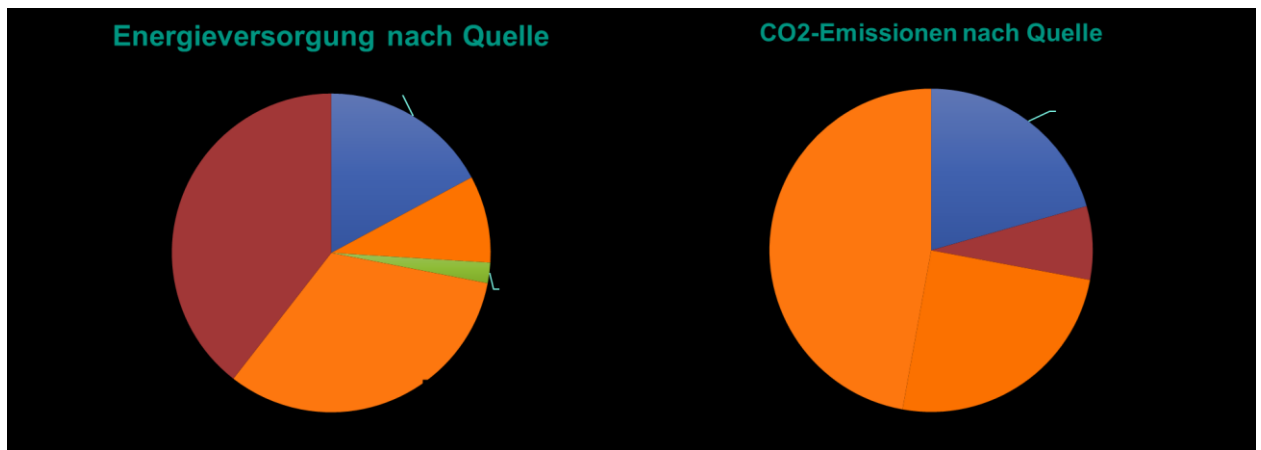


Abbildung 38: Obwohl das BHKW nur ca. 40% des Gesamtverbrauches an Wärme und Strom deckt, ist es für 72% aller CO2 Emissionen verantwortlich (Szenario Status quo ante + PV)

Zur Reduktion des CO2-Ausstoßes wäre es sinnvoll, die Nutzung des BHKWs zu reduzieren.

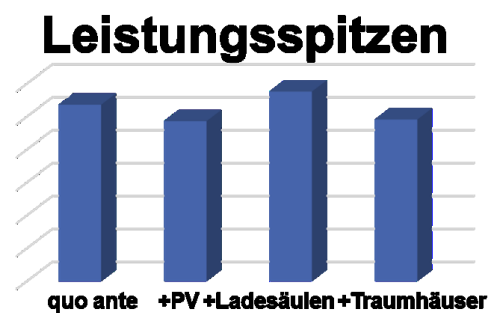


Abbildung 39: Lastspitze (höchster 15 min Mittelwert) kann durch PV leicht reduziert werden und wird durch ungesteuertes Laden vermutlich leicht erhöht

Die Ausbaugrade haben einen geringen Einfluss auf die Lastspitzen. Bei einem deutlichen Zubau von Elektromobilität sollte allerdings darauf geachtet werden, dass die Ladestationen aktiv gesteuert werden, da sie sonst deutlichere Lastspitzen erzeugen können. Eine aktive Reduktion der Lastspitzen durch eine Steuerung wäre nur zukünftig mittel bidirektionalen Ladestationen oder Batteriespeicher möglich.

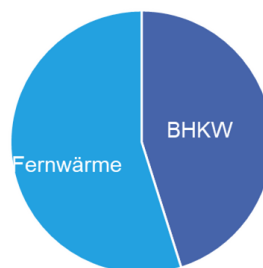


Abbildung 40: Der Wärmebedarf des MGH wird zu etwas mehr als der Hälfte von Fernwärme und der Rest durch das BHKW gedeckt

Vergleich der Eignung zum Zubau von flexiblen Ladestationen

Die grundsätzlichen Arten, einen Verbrauch anzupassen sind: Spitzenkappung, Talfüllung, Lastverschiebung, Lastreduktion und Laststeigerung sowie Lastgangsformung (Shewale et al., 2020).

In dem Maße, in dem die Regierungen den Übergang zu einem nachhaltigen Verkehrssystem beschleunigen, werden Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur immer wichtiger für die Bereitstellung von Flexibilität. Laut dem Klimaschutzprogramm 2030 der deutschen Bundesregierung sollen beispielsweise bis zum Jahr 2030 eine Million Ladepunkte installiert werden, von denen im September 2022 erst weniger als 7 % erreicht wurden. Daher ist es relevant, für das Quartier die Eignung zum Zubau von Ladestationen zu untersuchen.

Dabei ist für jede Kundenanlage zunächst der verfügbare Parkplatz sowie eine ausreichende freie Anschlussleistung relevant. Ist für mehrere Kundenanlagen beides gegeben und muss ein Vergleich geführt werden, kann das verfügbare Potenzial für die oben aufgeführten Arten der Verbrauchsanpassung herangezogen werden. Im einfachsten Falle wird der zusätzliche Verbrauch der neu installierten Ladestationen in den Tälern des bereits vorhandenen Lastprofils erfüllt.

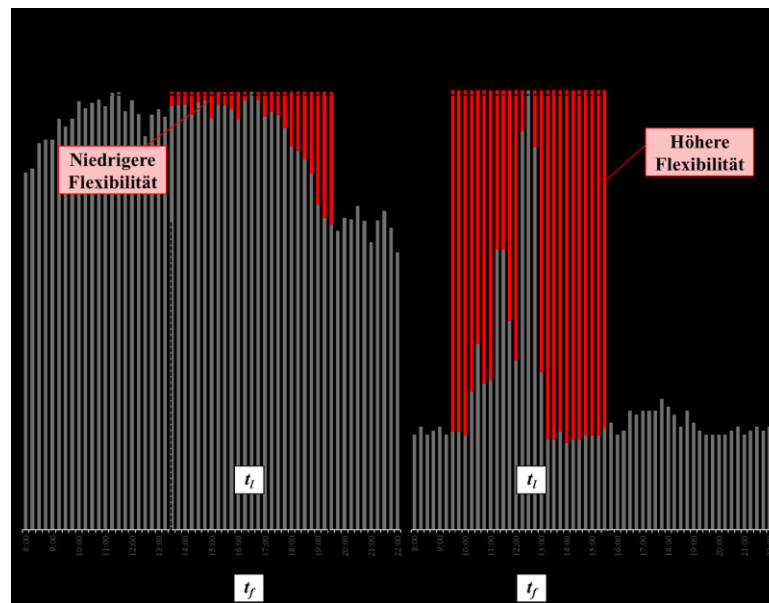


Abbildung 41: Datenanalyse eines Grundlastprofils zweier verschiedener Kundenanlagen. Eine Möglichkeit, das Zugbaupotenzial zu erfassen, ist die Energie zu betrachten, die ohne Erhöhung der Spitzenlast um eine Lastspitze herum entnommen werden kann (Galenzowski, Waczowicz, and Hagenmeyer 2023)

Beschreibung verwendeter Tools

Für die Simulationen wurden TOP-Energy, Python und Excel verwendet. In Python wurden Pakete wie PyPSA, pvlib oder wetterdienst verwendet.

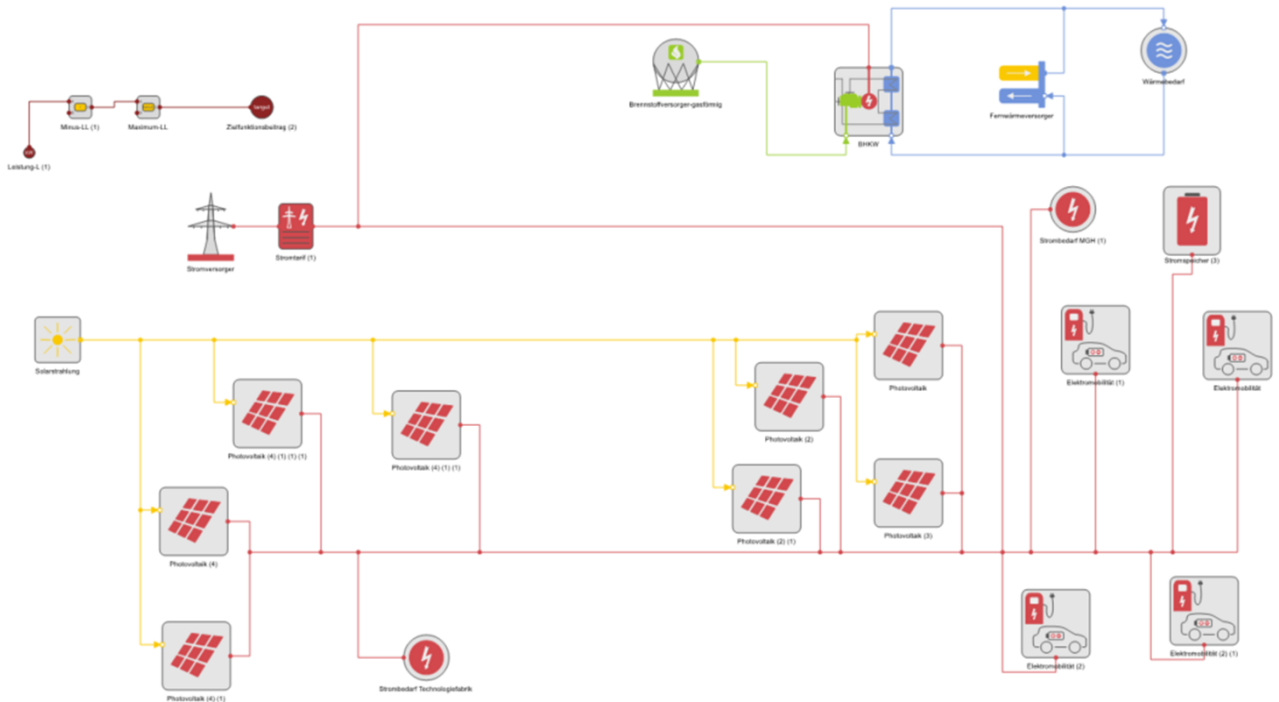


Abbildung 42: Beispiel eines Modells in TOP-Energy

Potenzialanalyse Klimaanlage im Quartier

Eine relevante Frage war, ob die Klimaanlage einen signifikanten Anteil an den auftretenden Leistungsspitzen hat. Es wurde identifiziert, dass sie sehr wohl an der höchsten Spitze einen Anteil von 65% hat, allerdings existiert eine Vielzahl ähnlich hoher Lastspitzen, an denen die Klimaanlage keinen Anteil hat. So hat sie bereits ab der vierthöchsten Lastspitze nur noch einen Anteil von kleiner einem Prozent. Die mögliche Spitzenlastreduktion durch die Klimaanlage liegt damit bei vier Prozent.

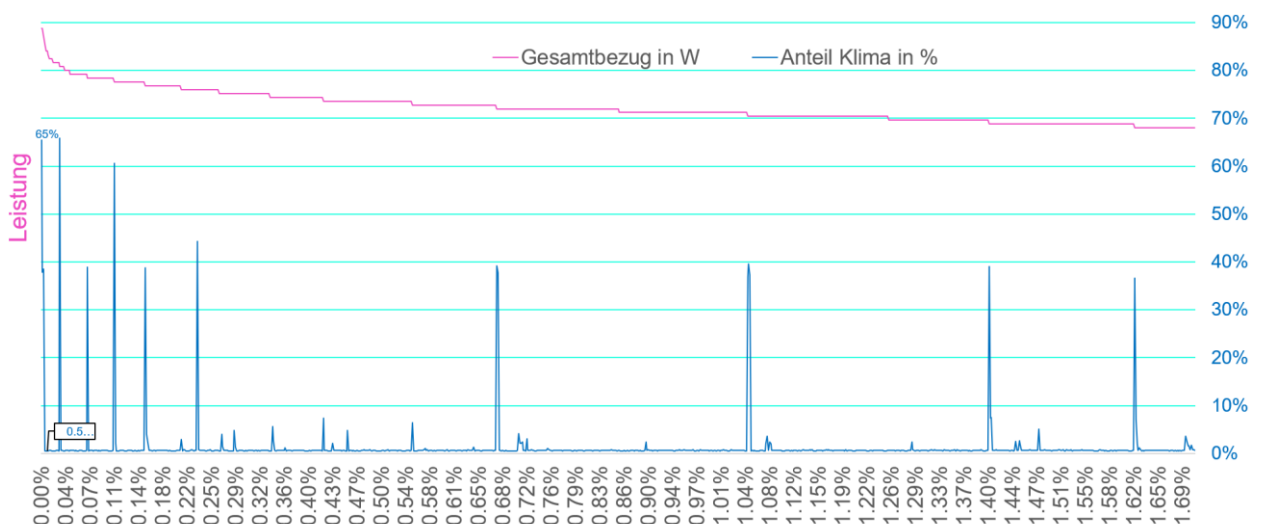


Abbildung 43: Die Klimaanlage hat einen stark variierenden Anteil an den auftretenden Lastspitzen

Das heißt, für die gesamte Kundenanlage aus technischer Sicht hat die Klimaanlage keinen großen Hebel für Leistungsspitzenreduktion. Allerdings zeigt sich auch hier, dass das Geschäftsmodell bei der Potenzialanalyse von entscheidender Bedeutung ist. Beispielsweise wurden zum Zeitpunkt der Analyse nur ein kleiner Teil der Kunden über Community Strom mit

einer RLM Messung (Abrechnung auf Basis eines 15 Minuten scharfem Lastprofils mit Leistungs- und Arbeitspreis) versorgt (18%). Die restlichen 82% des Verbrauches werden über Standardlastprofile abgerechnet. Daher ist es wirtschaftlich zur Reduktion des Leistungspreises der Klimaanlage durchaus relevant, die Spitzen zu reduzieren. Selbst, wenn die anderen Verbraucher, die keinen Leistungspreis berechnet bekommen, ebenfalls hohe Spitzen erzeugen.

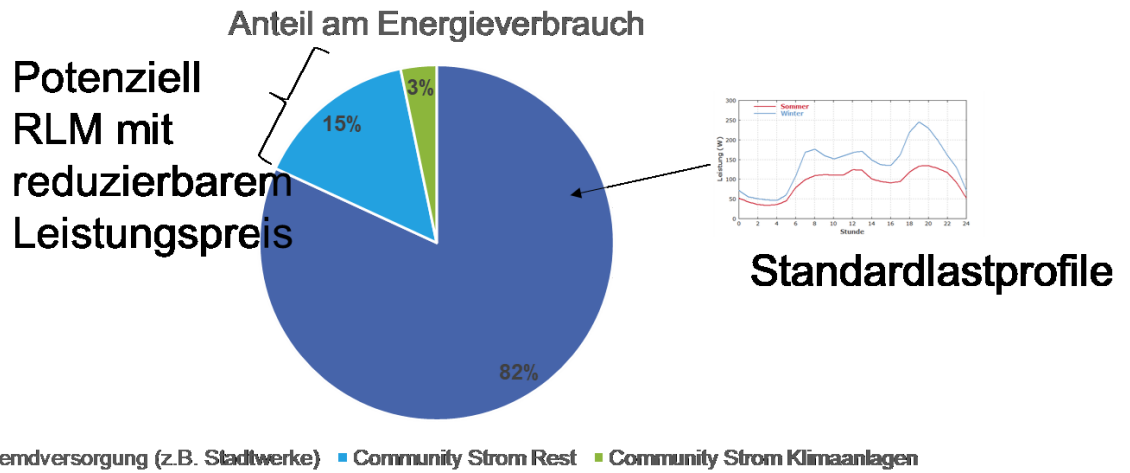


Abbildung 44: Anteil des Verbrauchs, der überhaupt eine RLM Messung und einen Leistungspreis hat ist gering und damit hat die Spitzenlast der Klimaanlage ein deutlich höheres Gewicht

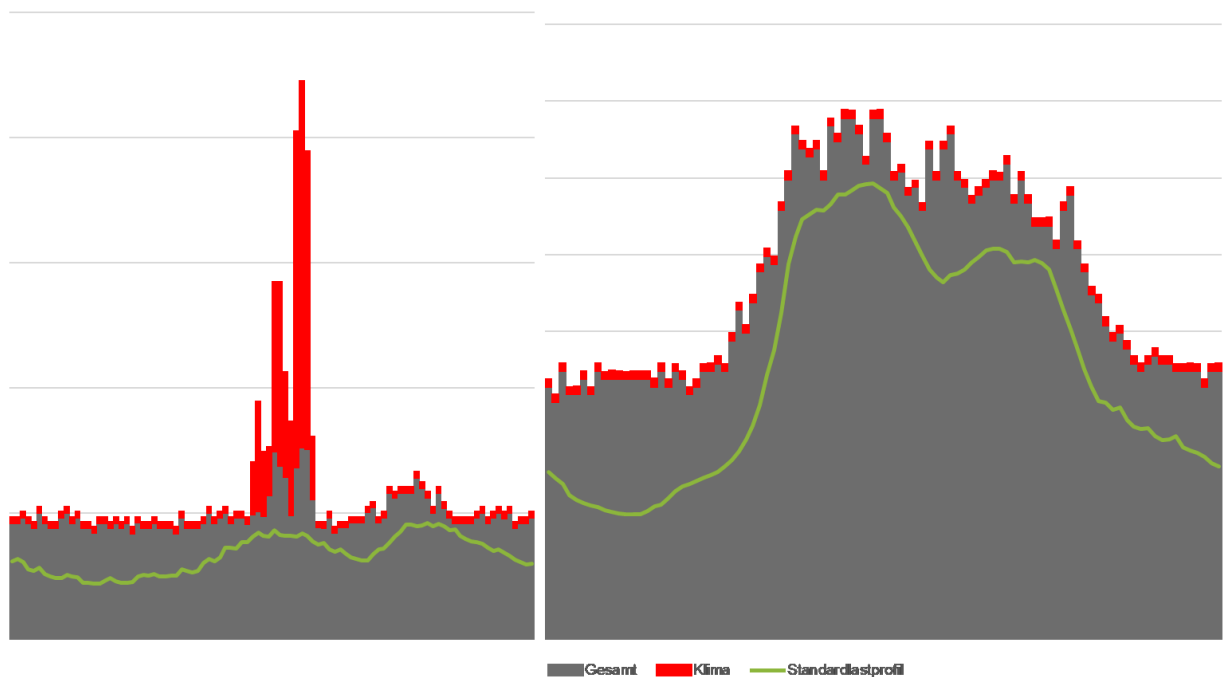


Abbildung 45: Links ein Tag, wo die Klimaanlage einen großen Einfluss auf die Leistungsspitze hat, rechts ein Tag, wo die Leistungsspitze nahezu dem Standardlastprofil entspricht

Da der Community Strom für die Klimaanlage in der Projektlaufzeit nicht weitergeführt wurde, da das Geschäftsmodell für die fragliche Kundenanlage zukünftig neu aufgestellt werden soll und die technische Auswirkung (auf die Lastspitzen) insgesamt gering ist, wurde entschieden, die Klimaanlage zunächst nicht an die Plattform anzubinden.

Potenzialanalyse PV

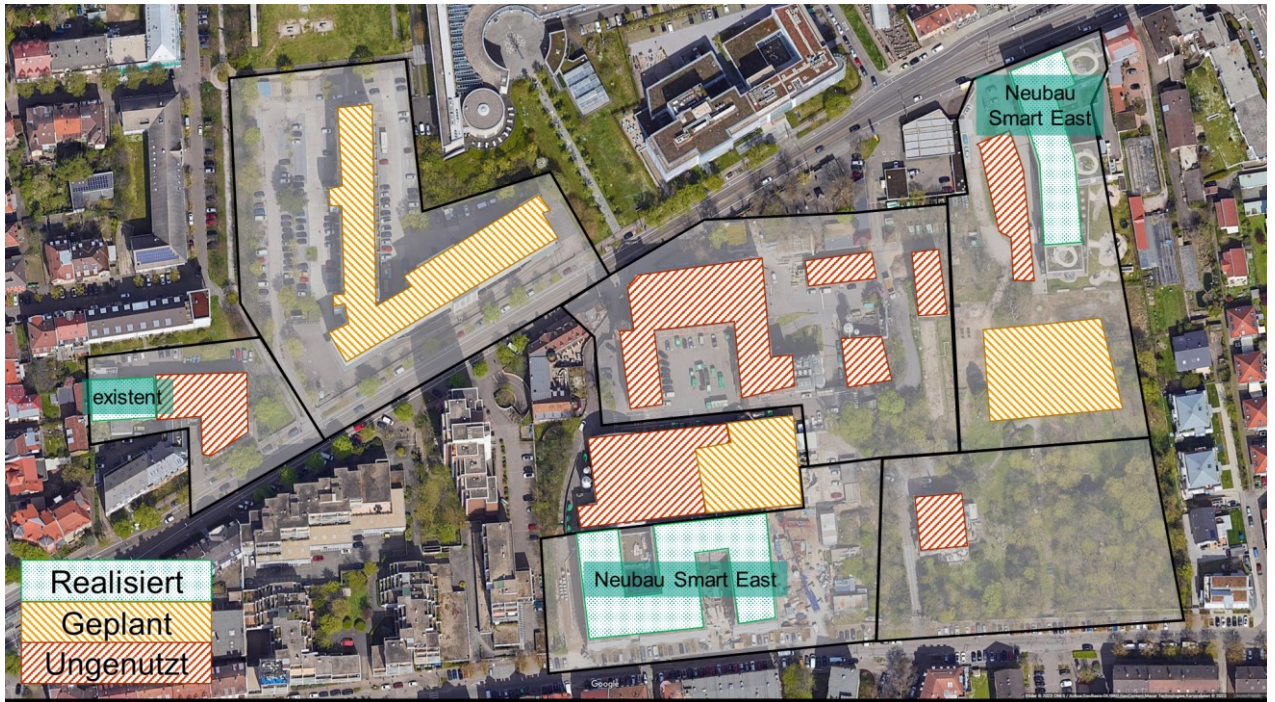


Abbildung 46: Vor Projektstart existierte nahezu keine PV. Wir haben zwei große Anlagen zugebaut, weitere sind in Planung. Ein größerer Teil der Dachflächen kann aufgrund struktureller Beschaffenheit oder Denkmalschutz nicht genutzt werden

	Ertrag und Modulfläche (Quelle: Solarkataster, kristallin)		installiert	geplant
	Ertrag (MWh)	Modulfläche (m ²)		
Technologiefabrik	281 MWh	2382 m ²		167 kWp
FZI HoLL	107 MWh	960 m ²	15 kWp	
Brauerei + iWerkx	576 MWh	4947 m ²	99 kWp	130 kWp
Burg	155 MWh	1375 m ²		
MGH + Traumhäuser			99 kWp	67 kWp
Villa	21 MWh	174 m ²		

Tabelle 3: Übersicht der initialen PV-Potenzialanalyse für das Smart East Quartier



Abbildung 47: Existierende PV-Anlage auf dem FZI HoLL (15 kWp), es existierten weitere nicht genutzte Dachfläche



Abbildung 48: Die im Kontext von Smart East neu gebaute PV-Anlage auf dem Mehrgenerationenhaus (99 kWp)



Abbildung 49: Die im Kontext von Smart East neu gebaute PV-Anlage auf dem iWerkx (99 kWp)



Abbildung 50: Das Brauereidach bietet noch größeres ungenutztes PV-Potenzial, Belegung für einen Teil des Daches ist bereits in Planung



Abbildung 51: Villa hat noch keine PV-Belegung, das Potenzial ist vergleichsweise gering



Abbildung 52: Hoepfner Burg hat noch keine PV-Belegung, es gibt Probleme wegen Denkmalschutz



Abbildung 53: Technologiefabrik hat noch das größte ungenutzte Potenzial, es soll nach einer Dachsanierung zukünftig gehoben werden

Energiebilanz und CO2-Emissionen in Smart East

Zunächst wurde die Energiebilanz des Quartiers erstellt (Abbildung 54). Strom macht 45 % des Energieverbrauchs aus. 42 % entfallen auf Fernwärme und 13 % auf Gas (im Jahr 2022). Die größte Veränderung über die Jahre ist bei der Fernwärme festzustellen. Der Fernwärmebezug stieg von 2020 zu 2021 um 13 % und fiel von 2021 auf 2022 um 20 %. Möglicherweise war der Wärmeverbrauch in 2020 wegen der COVID19-Maßnahmen geringer und der Anstieg in 2021 lässt sich auf die Lockerung der COVID-19-Maßnahmen zurückführen, da wieder mehr Menschen vor Ort gearbeitet haben. Der Rückgang in 2022 könnte auf die Sparmaßnahmen infolge des Ukraine-Russland-Krieges zurückzuführen sein.

Der Balken ganz rechts zeigt, dass der Strombezug aus dem Netz durch Eigenerzeugung im Quartier mit PV und BHKW um 27 % reduziert werden kann (773 MWh).

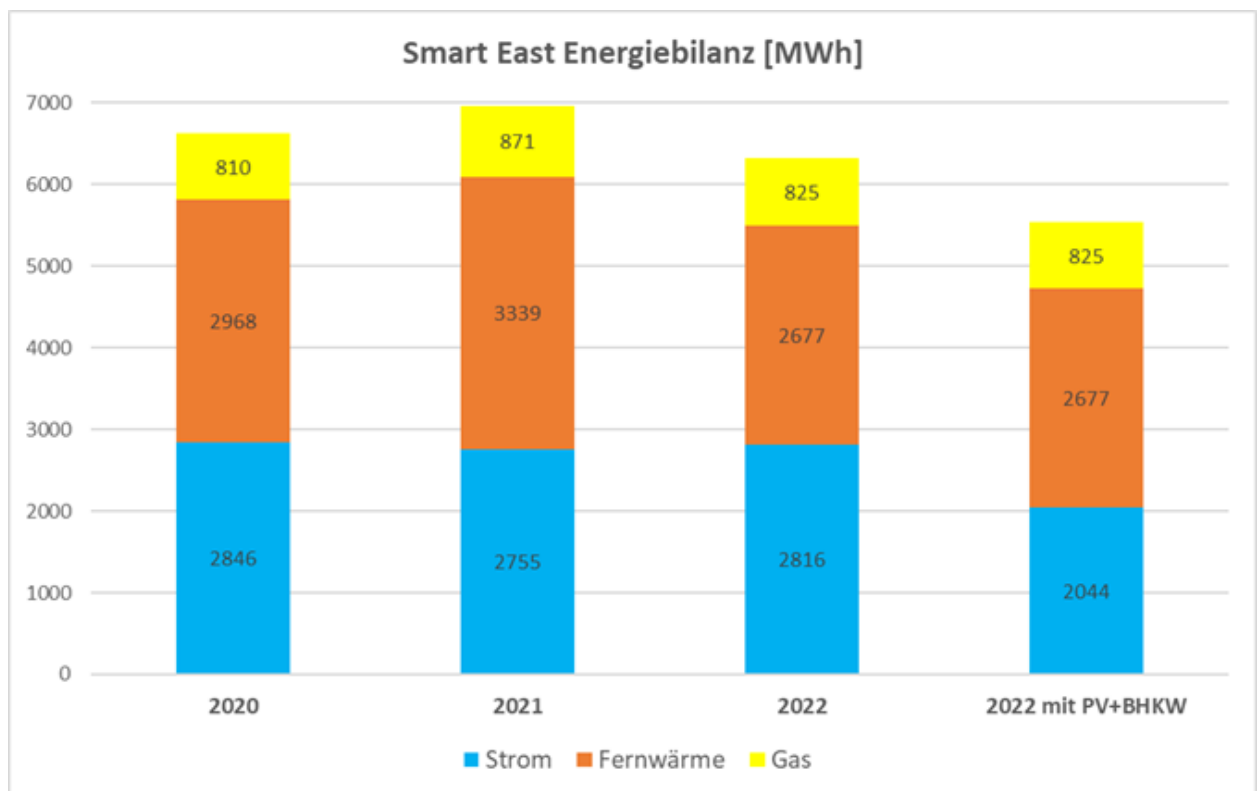


Abbildung 54: Energiebilanz Smart East nach Energieträgern, 2022, mit Berücksichtigung der Eigenerzeugung

Abbildung 54 und Tabelle 4 zeigen, wie sich der Energieverbrauch auf die verschiedenen Gebäude verteilt. Im Balken ganz rechts sieht man, welchen Anteil die Gebäude an der Reduzierung des Strom-Fremdbezugs durch Eigenerzeugung haben.

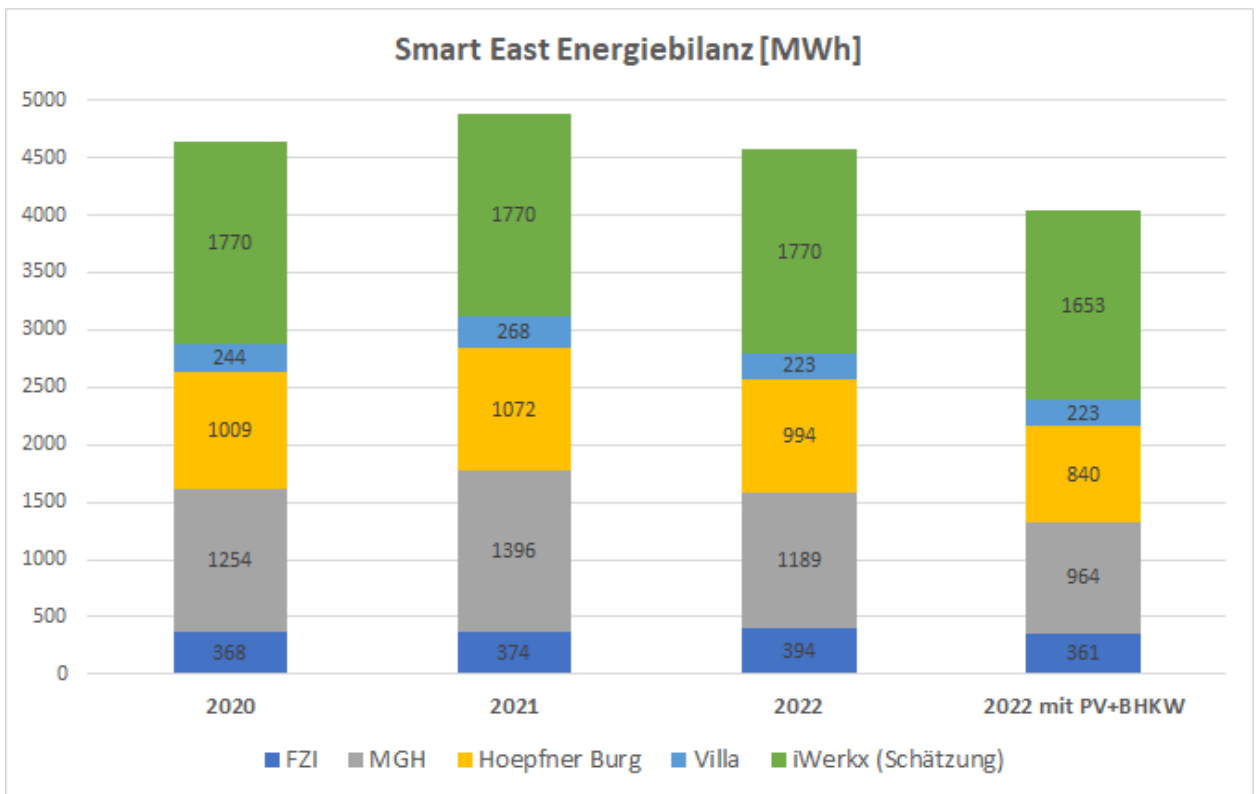


Abbildung 55: Energiebilanz Smart East nach Energieträgern, 2022, mit Berücksichtigung der Eigenerzeugung

Energiebilanz (ohne PV und BHKWs)		Verbrauch [MWh]	2020	2021	2022	2022 mit PV+BHKW
FZI	Strom		207	185	204	170
	Gas		161	190	190	190
MGH	Strom		324	330	314	89
	Gas		449	457	456	456
	Fernwärme		480	609	419	419
Hoepfner Burg	Strom		704	704	704	551
	Fernwärme		305	368	290	290
Villa	Strom		44	44	44	44
	Gas		200	224	179	179
iWerkx (Schätzung)	Strom		600	600	600	483
	Fernwärme		1170	1170	1170	1170
Summe	Strom		2846	2755	2816	2044
Summe	Fernwärme		2968	3339	2677	2677
Summe	Gas		810	871	825	825
Gesamtenergieverbrauch		[MWh]	6624	6965	6317	5545
Summe	FZI		368	374	394	361
Summe	MGH		1254	1396	1189	964
Summe	Hoepfner Burg		1009	1072	994	840
Summe	Villa		244	268	223	223
Summe	iWerkx (Schätzung)		1770	1770	1770	1653
Gesamtenergieverbrauch		[MWh]	6624	6965	6317	5545

Tabelle 4: Energiebilanz Smart East, 2022 mit Berücksichtigung der Eigenerzeugung

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Strom-Eigenerzeugung aus PV-Anlagen und BHKWs im Quartier. Die Tabelle weist deren Leistung, deren jährliche Stromerzeugung und die durch sie erzielten Minderungen an CO₂-Emissionen aus. Dabei muss angemerkt werden, dass bei den wärmegeführten BHKW die CO₂-Emissionen zu 100 % dem Gas zugeschlagen wurden.

PV-Anlage	Installierte Leistung kWp	PV Ertrag [MWh/a]	Investition [T€]	CO2-Minderung [t/a]
iWerkx	119	117	120	51
MGH	100	92	110	40
Anlage 3	250	243	288	106
Brauereidach	160	153	216	67
FZI	15	16		7
Summe PV	644	621	734	270
BHKW FZI HoLL	6	18		8
BHKW MGH	19	134		58
Summe BHKW	25	151		66
Summe Quartier	668	773	734	335

Tabelle 5: Strom-Eigenerzeugung aus PV und BHKW und erzielte CO2-Minderung

Abbildung 56 und Tabelle 6 stellen die CO2-Bilanz des Quartiers mit Berücksichtigung der Minderung durch Eigenerzeugung dar. Man sieht, dass Strom einen sehr hohen Anteil von 77 % an den CO2-Emissionen hat. Dabei wurde mit dem deutschen Energiemix gerechnet (siehe auch die Emissionsfaktoren in Tabelle 8: Verwendete Emissionsfaktoren). Gas verursacht 10% aller CO2-Emissionen und Fernwärme nur 13 %, obwohl die Fernwärme den größten Anteil an der Energiebilanz hat. Dies liegt an dem sehr geringeren Emissionsfaktor der Karlsruher Fernwärme, die zum großen Teil aus der Abwärme der Miro-Raffinerie erzeugt wird.

Der Balken ganz rechts und Tabelle 7 zeigen die erheblichen CO2-Einsparungen, die durch die Strom-Eigenerzeugung mit PV-Anlagen (17 %) und BHKW (4 %) erzielt wurden. Insgesamt werden pro Jahr 335 tCO2 von 1.600 tCO2 der Quartiers-CO2-Emissionen eingespart. Das entspricht einer Reduktion von 21% der CO2-Emissionen im Quartier.

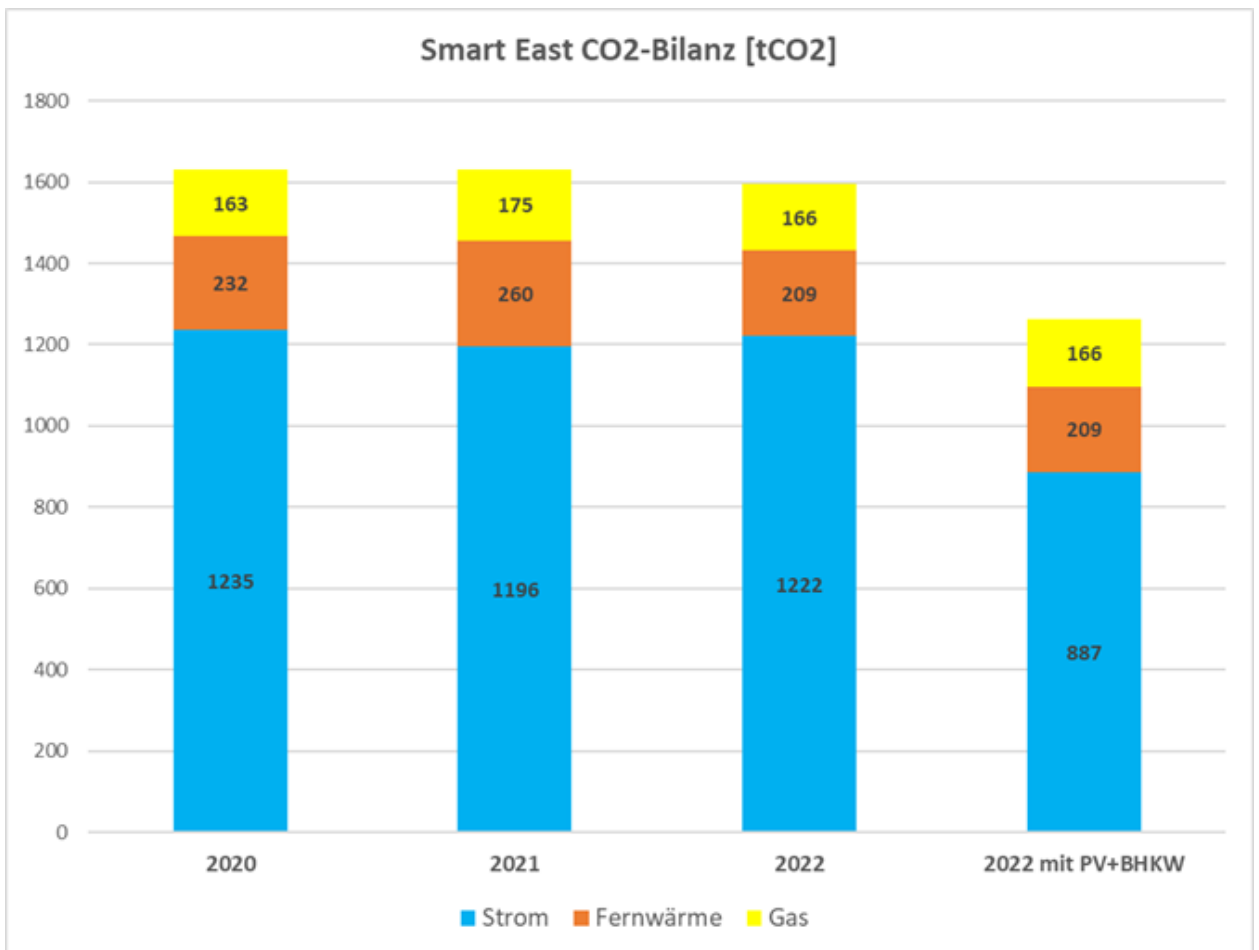


Abbildung 56: CO2-Bilanz des Quartiers, 2022 mit Berücksichtigung der Minderung durch Eigenerzeugung

CO2-Emissions (ohne PV + BHKW)	Emissions [tCO2]	2020	2021	2022	2022 mit PV+BHKW
FZI	Strom Fremdbezug	90	80	88	74
	Gas	32	38	38	38
MGH	Strom Fremdbezug	141	143	136	39
	Gas	90	92	92	92
	Fernwärme	37	48	33	33
Hoepfner Burg	Strom Fremdbezug	306	306	306	239
	Fernwärme	24	29	23	23
Villa	Strom Fremdbezug	19	19	19	19
	Gas	40	45	36	36
Schätzung IWerkx	Strom Fremdbezug	260	260	260	210
	Fernwärme	91	91	91	91
Summe	Strom	1235	1196	1222	887
Summe	Fernwärme	232	260	209	209
Summe	Gas	163	175	166	166
Gesamtemissions	[tCO2]	1629	1631	1597	1262
Summe	FZI	122	118	127	112
Summe	MGH	269	282	261	163
Summe	Hoepfner Burg	329	334	328	262
Summe	Villa	59	64	55	55
Summe	IWerkx (Schätzung)	352	352	352	301
Gesamtemissions	[tCO2]	1629	1631	1597	1262

Tabelle 6: CO2-Bilanz des Quartiers nach Gebäude und Quelle

CO ₂ -Emissionen (mit PV und BHKW)		Emissionen [tCO ₂]	2020	2021	2022
FZI	Strom Fremdbezug		75	66	74
	Gas		32	38	38
MGH	Strom Fremdbezug		44	45	39
	Gas		90	92	92
	Fernwärme		37	48	33
Hoepfner Burg	Strom Fremdbezug		239	239	239
	Fernwärme		24	29	23
Villa	Strom Fremdbezug		19	19	19
	Gas		40	45	36
Schätzung iWerkx	Strom Fremdbezug		210	210	210
	Fernwärme		91	91	91
Summe	Strom Fremdbezug		901	860	887
Summe	Fernwärme		232	260	209
Summe	Gas		163	175	166
Gesamtemissionen	[tCO₂]		1295	1296	1262
Einsparung durch BHKW-Stromerzeugung	[tCO ₂]		66	66	66
Einsparung durch PV-Stromerzeugung	[tCO ₂]		270	270	270
Einsparung durch Stromerzeugung aus PV und BHKW	[tCO ₂]		334	335	335
CO ₂ -Einsparung durch PV und BHKW bezogen auf Strom	%		27,1%	28,1%	27,4%
CO ₂ -Einsparung durch PV und BHKW	%		20,5%	20,6%	21,0%
CO ₂ -Einsparung durch PV auf Strombezug	%		21,8%	22,5%	22,1%
CO ₂ -Einsparung durch PV	%		16,5%	16,5%	16,9%

Tabelle 7: Strom-Eigenerzeugung aus PV und BHKW und erzielte CO₂-Minderung

In Tabelle 8 sind die für die CO₂-Bilanz verwendeten Emissionsfaktoren dargestellt.

Emissionsfaktoren	[t/MWh]
Gas	0,201
Strommix Deutschland	0,434
Fernwärme	0,078

Tabelle 8: Verwendete Emissionsfaktoren

Quellen für die Quantifizierung der CO₂-Emissionen:

- https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.html
- <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-stiegen-in>
- <https://www.stadtwerke-karlsruhe.de/wMedia/docs/fernwaerme/Bescheinigung-Verbundnetz-Karlsruhe-Plan-23ff.pdf>

AP5: Entwurf von Geschäftsmodellen für energieoptimierte Quartiere

Die im Rahmen des Projekts erschaffene Situation in Smart East spiegelt das wieder, was in den kommenden Jahren vielfach in weiteren Liegenschaften in Deutschland zu erwarten ist. In diesem Kontext wurden neue Geschäftsmodelle mit Blick auf den energetisch optimierten Betrieb in Liegenschaften untersucht.

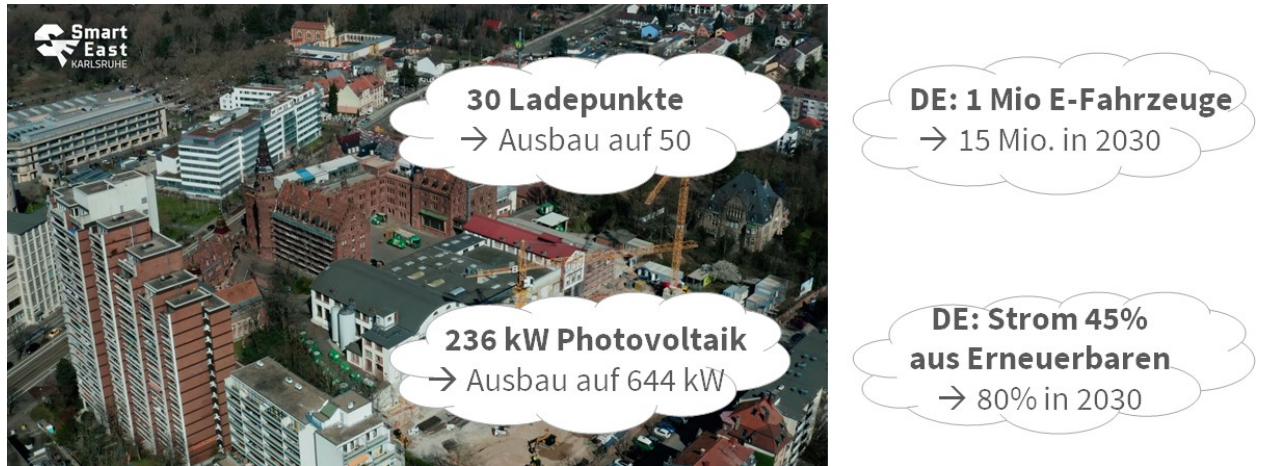


Abbildung 57: Das Smart East Quartier als Vorreiter für in Deutschland vielfach bevorstehende Entwicklungen mit Blick auf Ausbau von Photovoltaik und Ladeinfrastruktur

Zielsetzung und Fragestellungen

Die primären Ziele des Arbeitspakets waren die Identifikation, Bewertung und Auswahl möglicher Geschäftsmodelle mit Energiebezug rund um ein intelligentes Stadtquartier. Alle im Projekt untersuchten Fragen sind in einem gewissen Grad mit der Frage nach dem Geschäftsmodell verwoben. Hinter den im Projektverlauf bearbeiteten Themenstellungen der anderen Arbeitspakete lagen somit stets auch implizit die folgenden Fragen mit dahinter:

- Welche Potenziale lassen sich durch die Integration eines (sektorenübergreifenden) Energiemanagements im Quartier erschließen?
- Wie sind neue Geschäftsmodelle zur Erschließung dieser Potenziale auf Basis heute vorhandener Rahmenbedingungen auszugestalten?
- Wie können die Einzelinteressen im Quartiersverbund mit verschiedenen Stakeholdern wie Eigentümern, Mietern und Betreibern in Einklang gebracht werden?
- Wie können vorhandene technischen Möglichkeiten der Digitalisierung bestmöglich genutzt werden, um die Geschäftsmodelle in der Praxis wirtschaftlich umzusetzen? Was sind organisatorische Herausforderungen durch die Vielzahl an Stakeholdern in Quartieren und wie können diese bestmöglich gelöst werden?
- Welche Auswirkungen hat die Umsetzung auf Netzdienlichkeit, CO₂-Bilanz und die Gesamtenergiekosten des Quartiers?
- Welche Potenziale für Eigenerzeugung, insbesondere im Hinblick auf PV, gibt es noch im Quartier und wieso werden diese nicht erschlossen?

Abgeleitete Arbeitsschritte

Zur detaillierten Beantwortung waren verschiedene Analyse und Bewertungsschritte notwendig:

1. Identifikation und Auswahl von Bewertungskriterien

2. Identifikation und Auswahl vielversprechender Geschäftsmodelle
3. Erfassung der technischen Rahmenbedingungen (AP2)
4. Naive Bewertung (Schätzung auf wenigen Daten beruhend)
 - a. Potentielle Gewinne oder Kostenreduktion
 - b. Entstehende Kosten (z.B. für Infrastruktur oder durch Marktfraktion)
 - c. Netzdienlichkeit und CO2-Bilanz, Eigennutzungsgrad
5. Auswahl der vielversprechendsten Geschäftsmodelle zur Umsetzung und Schärfung, vor allem im Hinblick auf regulatorische Rahmenbedingungen (z. B. bzgl. §14a Energiewirtschaftsgesetz, CAPEX vs. OPEX, Redispatch 2.0, Strom- und Regelleistungsmarktdesign)
6. Modellbildung (im Zusammenspiel mit AP4)
7. Detaillierte Bewertung
 - a. Potentielle Gewinne oder Kostenreduktion
 - b. Entstehende Kosten (z.B. für Infrastruktur oder durch Marktfraktion)
 - c. Netzdienlichkeit und CO2-Bilanz, Eigennutzungsgrad

Bewertungskriterien

Ziel eines Geschäftsmodells muss dessen Nachhaltigkeit sein, insbesondere in monetärer Sicht, da es sonst keine Verbreitung finden wird. Für die Bewertung muss also – wie üblich – die Rendite als ein primäres Kriterium betrachtet werden. Weitere wichtige Kriterien messen die Auswirkungen des Geschäftsmodells, zum Beispiel auf die Energieversorgung oder Klima und Umwelt; denn Ziel der Geschäftsmodelle in Smart East ist eine Verbesserung der Netzstabilität sowie Klimaschutz und Umweltverträglichkeit. Insbesondere Klimaaspekte könnten für verschiedene (einzelne) Akteure so stark aufwiegen, dass sie auch sehr geringe, keine, oder gar negative Renditen in Kauf nehmen würden.

Vorauswahl

Auf Basis des Projektantrages, interner Überlegungen und der durchgeführten Interviews wurden folgende Kriterien gewählt:

1. Umsetzbarkeit
2. Übertragbarkeit
3. Wirtschaftlichkeit
 - 3.1. Kunden
 - 3.2. Anbieter
4. Netzdienlichkeit
5. Energieeffizienz
6. Treibhausgase
7. Eigennutzungsgrad
8. Energiemix

Hierbei gilt es anzumerken, dass viele dieser Kriterien miteinander verknüpft sind. Die Kriterien sind, beginnend mit dem wichtigsten Kriterium, nach deren Bedeutsamkeit sortiert. Die Erkenntnisse aus den Interviews flossen in bei der Priorisierung mit ein: Der Wunsch nach übertragbaren Lösungen wurde vermehrt geäußert. Auch Nachhaltigkeit im Allgemeinen wird von den Interviewpartnern eine hohe Priorität zugeordnet, auch weil insbesondere junge Menschen und Start-Ups hohen Wert darauflegen. Nachhaltigkeit wird mangels eines direkten Indikators nur

indirekt über die Netzdienlichkeit, Energieeffizienz und Treibhausgase in der obigen Liste geführt. Dem Energiemix wurde von den Interviewpartnern wenig Bedeutung zugerechnet, insbesondere im Vergleich zu den anderen Kriterien. Die Treibhausgase werden gerade im Hinblick auf die Klimaverträglichkeit als der wichtigere Indikator gesehen.

Geschäftsmodelle

Die im Projekt betrachteten Geschäftsmodelle wurden in einem mehrstufigen Prozess erarbeitet und immer weiter verfeinert. Im ersten Schritt wurden allgemeine Ansatzpunkte bzw. Bausteine zur Gestaltung von Geschäftsmodellen identifiziert. Auf Basis dieser wurden dann die vielversprechenden Geschäftsmodelle abgeleitet und beschrieben. Der Fokus liegt dabei auf Stadtwerken als potentielle Umsetzer der Geschäftsmodelle.

Der mehrstufige Auswahlprozess lässt sich wie folgt visualisieren:

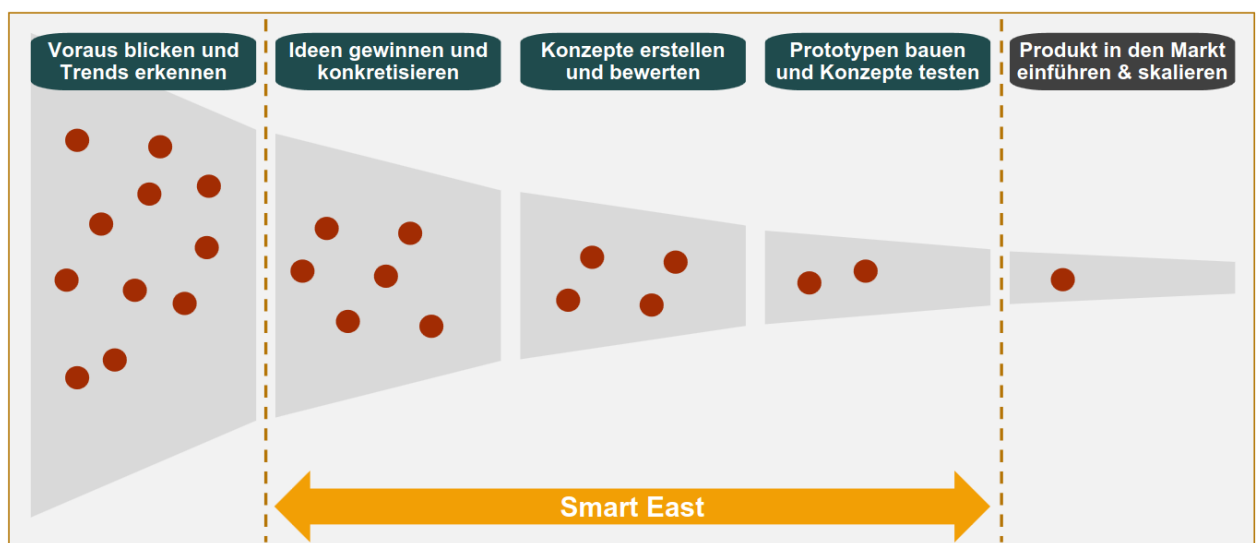


Abbildung 58: Mehrstufiger Auswahlprozess für Auswahl und Entwicklung der neuen Geschäftsmodelle

Bausteine für Geschäftsmodelle

Im Rahmen einer Reihe von Meetings, einer Auftaktveranstaltung mit den assoziierten Partnern, der öffentlichen Auftaktveranstaltung, sowie Interviews wurden Impulse zur Identifikation von Geschäftsmodellen gesammelt. Neben der direkten Befragung in den Interviews wurden auch Kreativsessions durchgeführt, in denen die Teilnehmer ihr Wünsche und Traumvorstellungen (nicht nur auf technische Aspekte beschränkt) zum Ausdruck bringen konnten. Alle Ergebnisse flossen in den Identifikationsprozess mit ein. Dabei kamen auch Ideen auf, die keinen unmittelbaren Bezug zur Energie haben und daher nicht weiterverfolgt wurden.

Die Arbeiten mündeten in folgenden wesentlichen Ansatzpunkten als Bausteine für neue Geschäftsmodelle:

Baustein „Automatisiertes Energiemanagement“

- Kostenreduktion durch
 - bessere Ressourcenauslastung
 - gemeinsame Bewirtschaftung und Nutzung von vorhandenen Pufferspeichern (Wärme, Kälte, Strom)

- Nutzung der Flexibilität in der Nachfrage nach Strom, Wärme, Kälte, Gas für Lastverschiebungen, v.a. relevant für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Elektromobilität
- Entfall der Stromsteuer bei lokalem Verbrauch im Radius von 4,5 km (§ 9 StromStG, § 12b StromStV)
- Integration des Lastmanagements von Ladesäulen in das Quartiersenergiemanagement, um Spitzenbelastungen der Netze zu vermeiden und E-Fahrzeuge mit Strom aus Eigenerzeugung und/oder eigenen Speichern zu laden

Baustein „Dienstleistungen zum Aufbau und/oder Betrieb von Energieanlagen in Quartieren“

- Steigendes Interesse an Energieverbänden und somit Nachfrage nach Beratungsleistungen und vorhandenen Lösungen sind zu erwarten.
- Stadtwerke als (Contracting-) Dienstleister rund um Energieverbände:
 - Bewertung und Marktanalyse (Quartierspeicher, th. Speicher, Ladeinfrastruktur, usw.)
 - Aufbau
 - Betrieb
 - Wartung
 - Vermarktung
- Zu beachten ist dabei, dass sich absehbare bzw. wünschenswerte Weiterentwicklungen der Abgaben- und Entgeltsystematik auf die Wirtschaftlichkeit von Mieterstrom- oder Contracting-Modellen auswirken können

Baustein „Vermarktung von Flexibilität“

- Vermarktung von Flexibilität am (EPEX) Day-ahead- und Intraday-Markt
- Stadtwerke als lokal agierender Aggregator zur Vermarktung von Flexibilität am Regenergiemarkt
- Dynamische Stromtarife (auch im Hinblick auf Mieterstrom)

Baustein „Netzdienlicher Einsatz von Flexibilität“

- Bei netzorientierter Steuerung kann der Letztverbraucher von verringerte Netzentgelten (laut BNetzA 55 % in 2019) auf Basis von § 14a EnWG profitieren, im Rahmen des Projektverlaufs wurden von der Bundesnetzagentur entsprechende Überarbeitungen mit einer verpflichtenden Teilnahme am Verfahren für Anlagen > 4,2 kW auf unterster Netzebene 7 angekündigt
- Möglichkeit der Teilnahme am Redispatch-Verfahren (Redispatch 2.0) nur begrenzt sinnvoll, da heute und absehbar noch keine marktbasierenden Anreize bestehen.

Spezifikation von Geschäftsmodellen

Auf Basis dieser Bausteine und hausinternen Vorüberlegungen der SWK wurden im Rahmen eines Workshops mit allen Projektpartnern Geschäftsmodelle erörtert. Dabei wurde bereits eine Vorauswahl vielversprechender Kombinationsmöglichkeiten und Ausgestaltungen im Hinblick auf die zuvor formulierten Bewertungskriterien durchgeführt. Diese mündete im ersten Schritt in vier näher betrachteten Geschäftsmodellen:

Geschäftsmodell 1: Dynamische Stromtarife mit Ladeoptimierung

Die Kosten für den Bezug von Strom variieren bei in einem dynamischen Stromtarif im zeitlichen Verlauf. Im Gegensatz zu einem einfachen zeitvariablen Tarif, bei dem zur gleichen Uhrzeit an jedem Tag der gleiche Preis gilt, hat ein dynamischer Tarif keinen festen, täglichen Preisverlauf. Die Stadtwerke treten hier als EVU auf und können durch die Optimierung der Ladevorgänge die Flexibilität wertschöpfend erschließen.

Wertversprechen:

- Kunden: Reduktion der Stromkosten durch Lastverschiebung
- Kunden: Visualisierung und ggf. Analyse des Energieverbrauchs
- Stadtwerke: Steuerung der Nachfrage und dadurch günstigere Beschaffung am Markt
- Netzdienlichkeit: Potenzial, auf Engpässe zu reagieren
- Möglichkeit eines kombinierten Tarifs der Eigenproduktion im Quartier berücksichtigt

Aktivitäten:

- Prognosen für Preise und Verbrauch müssen durchgeführt werden
- Einkauf von Strom
- Kalkulation der Tarife
- Mitteilung der Preise an den Kunden / Einspielen der Preise bzw. Optimierungsergebnisse an Endgeräte

Partner:

- Es wird ein EMT benötigt, um die Messwerte der SMGW beziehen zu können

Ressourcen:

- Zähler und Kommunikationslösung beim Endkunden zur Realisierung dynamischer Tarife
- Softwareplattform zur Instrumentierung der Tarife
- Zugang zu Bilanzkreisbewirtschaftung und Strommarkt
- Logik für den Handel am Markt

Kosten:

- Stadtwerke: Aktive Bilanzkreisbewirtschaftung und Marktzugang
- Stadtwerke: Plattform zur Visualisierung und Schnittstellen zur Abrechnung
- Kunden: RLM-Zähler oder SMGW
- Kunden: Flexibilisierung der Last (z.B. Steuergeräte oder die flexiblen Geräte selbst)

Einnahmen:

- Stadtwerke: potenziell mehr Kunden durch Interesse an dynamischem Tarif
- Stadtwerke: Gewinne durch günstigere Beschaffung
- Plattformbetreiber: Potentielle Servicegebühr
- Kunde: Einsparung durch Lastverschiebung

User Story

Kunde / Mieter

- Ich möchte dafür belohnt werden, dass ich mich systemdienlich verhalte
- Ich entscheide auf Basis der prognostizierten dynamischen Stromtarife, oder lasse entscheiden, wann ich am meisten Energie verbrauche.
- Ich möchte mich nicht ständig mit den Preisen auseinandersetzen müssen
- Ich möchte Präferenzen für unterschiedliche Arten der Nutzung vorgeben können
- Meine Anlagen reagieren automatisch entsprechend dem Tarif und ich habe vollen Komfort und merke es gar nicht

Unternehmer:

- Der Tarif hilft mir, Ladekosten zu sparen
- Der Tarif hilft mir, meine Mitarbeiter zu sensibilisieren, ihren Energieverbrauch und CO2-Footprint im Auge zu halten

Stadtwerke:

- Nutzung der Flexibilität der Nachfrage, um den Bilanzkreis zu "optimieren"
- Als Anbieter der dynamischen Tarife möchte ich sehen, zu welchem Verbrauch die Tarife geführt haben und wie sich verschiedene Preise auswirken (Analyse mit historischen Daten)

Geschäftsmodell 2: Optimierter Betrieb eines elektrischen Batteriespeichers

Mithilfe eines Quartiersspeichers kann der Bedarf zum Netzausbau potenziell vermieden oder reduziert werden, lokal erzeugter Strom lokal genutzt werden und Speicherkapazität lokalen Kunden angeboten werden.

Wertversprechen:

- Kunde: Erhöhung des Eigennutzungsgrades und dadurch Kostenreduktion
- Kunde: Günstigerer Speicher durch Skaleneffekte
 - Nur ein Speicher anstelle einzelner Speicher
 - Geteilte Installationskosten
 - Bessere Auslastung des Speichers
- Kunde: (je nach Umsetzung) Speichergröße flexibel anpassbar
- Netzbetreiber: Potenzielle Vermeidung oder Reduktion von Netzausbau

Aktivitäten:

- Erfassung von Erzeugung und Verbrauch
- Standortanalyse, z.B. hinsichtlich der technischen Anbindung
- Bei dynamischen Tarifen:
 - Betrieb eines EMS
 - Prognosen zur Optimierung
- Einrichtung und Konfiguration der Hardware (Speicher, EMS/Controller)

Partner:

- Speicherbetreiber (falls nicht selbst)
- Bürger (als Beteiligung)
- Bei Kommunikation über intelligente Messsysteme wird ein Dienstleister benötigt

Ressourcen:

- Energiemanagementsystem/Controller
- Infrastruktur zum Messen
- Prognoseservice
- Optimierungsservice

Kosten:

- Batteriespeicher
- iMSys
- Software

Einnahmen:

- Einsparung durch verringerte Leistungsentgelte bei den Netzentgelten
- Einsparungen aus der Differenz von externem und internem Strompreis
- Netzbetreiber: geringe Netzausbaukosten

User Story***Kunde/Mieter***

- Lokal erzeugte Energie lokal nutzen
- Ich möchte wissen, wie viel Energie gespeichert ist und wie viel ich historisch vom Speicher bezogen habe
- Mir ist der Speicher egal, Hauptsache er hilft die Quartiersziele zu erreichen, d.h., kostengünstigen, umweltfreundlichen, lokal erzeugten Strom für das Quartier bereitstellen

Betreiber

- Reporting bei Fehlverhalten
- Visualisierung der Auslastung/Nutzung

Geschäftsmodell 3: Quartiersplattform für integriertes Energiemanagement

Durch automatisiertes Energiemanagement werden Energieanlagen optimal entsprechend den Nutzerpräferenzen gesteuert.

Wertversprechen:

- Energieeffiziente Nutzung der Energieanlagen
- Höherer Eigennutzungsgrad und größere Autarkie
- Synergien nutzen

- Steigerung der Flexibilität und damit Kosteneinsparung durch Integration verschiedener Sektoren (Strom, Gas, Wärme, Mobilität)
- Einsparung von Energiekosten
- Betrieb, Wartung, Abrechnung, App-Integration
- Zusätzliche Services, z.B. Visualisierung

Aktivitäten:

- Monitoring der Anlagen
- Prognose von Bedarfen, Erzeugung und Preisen
- Einsatzplanung durch EMS
- Installation, Einrichtung, Betrieb
- Wissen über Standards aneignen und aktuell halten

Partner:

- Energieversorger
- Installateure
- Anbieter von Lösungen zur Mieterstrom-Abrechnung
- Messstellendienstleister
- Es wird ein EMT benötigt, um die Messwerte der SMGW beziehen zu können
- App-Betreiber
- Hersteller von Energieanlagen (z.B. Ladesäulen)

Ressourcen:

- Plattform zur Vernetzung und Optimierung
- Optimierungsservice
- Prognoseservice
- Standardisierte Schnittstellen zur Steuerung
- Abrechnungsservice für Mieterstrom und Nebenkosten
- Kommunikationstechnologie
- Datenhaltung
- Ggf. Energieanlagen

Kosten:

- Plattform, Entwicklung und/oder Einkauf und Betrieb
- Kommunikationstechnologie
- Dienstleister
- Ggf. Energieanlagen
- Betrieb und Wartung der Energieanlagen
- Ggf. Roamingkosten bei öffentlich verfügbarer Ladeinfrastruktur

Einnahmen:

- Im Falle von EVUs als Betreiber: Teilhabe an Kosteneinsparung
- Plattformbetreiber: Kosten für Nutzung der Plattform und der Services (z.B. Visualisierung)
- Durch Bereitstellung von Flexibilität nach extern

- Verkauf von Energie
- Vermietung von Ladeinfrastruktur
- Kostenreduktion durch effiziente Nutzung

User Story:

Kunde/Mieter

- Ladevorgang
 - passt sich automatisch an die Erzeugung an
 - Plattform schlägt günstigsten Zeitpunkt für Ladung vor
- Ich möchte, dass sich Anlagen ergänzen, um die Flexibilität zu erhöhen und die Energiekosten zu minimieren
- Transparenz über Erzeugung und Verbrauch, inkl. Kennzahlen
- Ich möchte selbst entscheiden wer meinen Energieverbrauch sehen kann

Nutzer der Ladeinfrastruktur

- Nutzer der Ladesäulen sind die Stakeholder aus dem Quartier. Aber auch Quartiersfremde können die Ladesäulen verwenden.
- Mitarbeiter und Anwohner laden mit lokal erzeugtem Strom
- Buchung von Ladeleistung muss intuitiv sein

Unternehmen

- Mein Unternehmen reduziert seinen CO2-Footprint, spart Energiekosten und bietet den Mitarbeitern Lademöglichkeiten

Anlagenbetreiber

- Reporting von Fehlern
- Transparenz über Erzeugung und Verbrauch, inkl. Kennzahlen

Weitere Konkretisierung

Auf Basis der praktischen Gegebenheiten im Quartier mit einem starken Hochlauf an E-Mobilität, wie er in den kommenden Jahren deutschlandweit zu erwarten ist, wurde optimierter Ladestrom als interessantestes Geschäftsmodell ausgewählt und im weiteren Verlauf des Projekts verfeinert sowie technisch und mit Blick auf Ausgestaltung der Vertragsbeziehungen Ende-zu-Ende mit den realen Stakeholdern umgesetzt. Im Rahmen dessen stellte sich für die Abrechnung des lokal zur Verfügung gestellten PV-Stroms die automatisierte Mieterstromabrechnung als zu bewältigende Herausforderung heraus. Eine vertiefende, detaillierte Betrachtung mit Blick auf die Umsetzung sowie die Bewertung erfolgte im nächsten Arbeitspaket.

AP6: Umsetzung und Bewertung der Geschäftsmodelle im Quartier

Gemäß der Analyse in AP5 wurden die Geschäftsmodelle „Optimierter Ladestrom“ und „Mieterstrom“ weiter geschärft, prototypisch umgesetzt und auf Basis der Erfahrungen im Feld bewertet. Die zwei Geschäftsmodelle werden durch die BES umgesetzt, womit sich folgendes Bild ergibt:

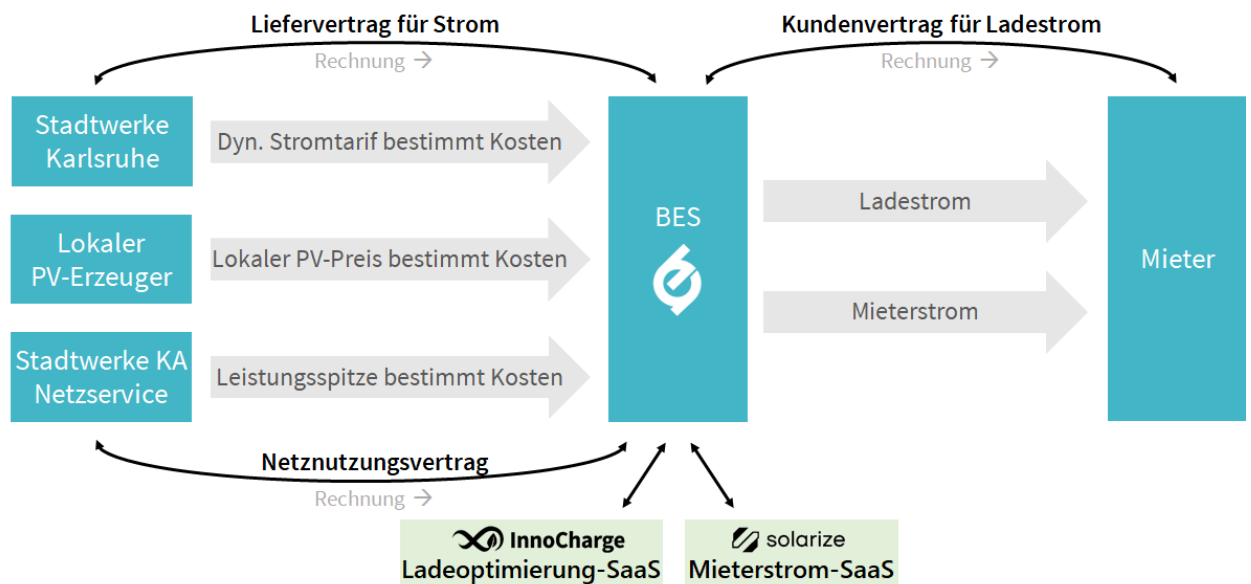


Abbildung 59: Die von den Projektpartnern unter realen Bedingungen umgesetzten Geschäftsmodelle Ladestrom und Mieterstrom

Umsetzung Geschäftsmodell Ladestrom mit automatisierter Optimierung

Im Projektverlauf gründet sich aus dem FZI auf Basis der im Rahmen des Projektes und darüber hinausgehenden Analysen das Spin-off InnoCharge aus, das seither als assoziierter Partner (ohne finanzielle Förderung) beteiligt war und die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse aus den prototypischen Umsetzungen für die Überführung in ein SaaS-Produkt genutzt hat. Dies ermöglichte eine praktische Evaluation im weiteren Projektverlauf. Das Geschäftsmodell Ladestrom ist in folgender Abbildung zusammengefasst. Für die Abrechnung des lokal verbrauchten PV-Stroms benötigt es die untenstehend erläuterte Mieterstromlösung. Zur Umsetzung des Smart Charging, also der automatisierten Ladeoptimierung, müssen die Ladestationen über eine OCPP-Anbindung mit dem Feature Profile „Smart Charging“ verfügen. Gängige, marktübliche Ladestationen erfüllen diese Anforderungen. Dies erlaubt dem Ladeoptimierer, die kostenoptimierten Fahrpläne an die einzelnen Fahrzeuge auszurollen. Die Ersparnispotenziale durch die Optimierung ergeben sich durch die folgenden Wertschöpfungsoptionen für Ladeflexibilität, die durch den assoziierten Partner InnoCharge operativ erschlossen und demonstriert wurden:

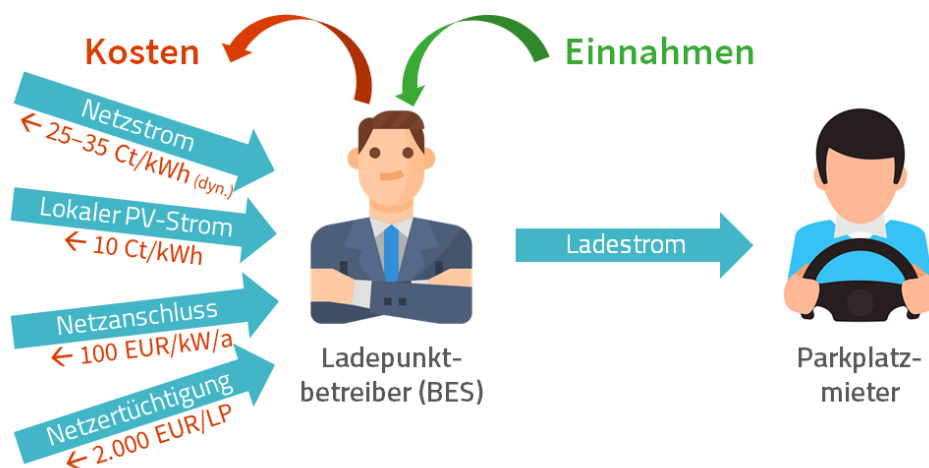


Abbildung 60: Das Geschäftsmodell „Smart Charging“ aus Sicht des Ladepunktbetreibers

Der Ladepunktbetreiber kann mit der umgesetzten Ladeoptimierung dynamische Strompreise nutzen, um möglichst günstig zu laden, bevorzugt günstigen, lokal erzeugten PV-Strom für die Ladungen verwenden und die teuren Lastspitzen durch eine intelligente Koordination vermeiden. Im Rahmen des Projektes konnten, durch die enge Zusammenarbeit der verschiedenen Partner, die verschiedenen Wertschöpfungsoptionen mit der Ladeoptimierung Ende-zu-Ende erprobt werden.

Die umgesetzte Ladeoptimierung ermöglicht eine Senkung der Kostenseite, wodurch der Gewinn des Ladepunktbetreibers erhöht wird. Der Ladepunktbetreiber wiederum kann einen Teil dieses erhöhten Gewinns in Form von günstigem Ladestrom an den Parkplatzmieter weitergeben. Die im Projekt eingenommen Rollen waren hierbei wie folgt verteilt:



Abbildung 61: Die hohe Gesamtkomplexität hinter dem Ladestromvertrag erforderte ein koordiniertes Zusammenspiel der Projektpartner und ist für den Kunden durch den Ladepunktbetreiber abstrahiert

Geschäftsmodell Mieterstrom

Die lokale Abrechnung von Mieterstrom erforderte die Umsetzung einer Mieterstrom-Lösung. Hierzu benötigt es je einen kommunikationsfähigen Zähler pro abzurechnendem Mieter, wobei die Ladeinfrastruktur als Ganzes als ein Mieterstromteilnehmer betrachtet wurde. Die Umsetzung des virtuellen Summenzählermodells ermöglicht hierbei die Abrechnung von Endkunden, die nicht am Mieterstrommodell teilnehmen. Folgende Abbildung verdeutlicht, wie einzelne am Mieterstrommodell teilnehmende Mieter abgerechnet werden können und die verbleibende Last trotzdem getrennt bilanziert werden kann. Durch die gegen Projektende erfolgte Gleichstellung des virtuellen Summenzählers mit dem physischen Summenzähler durch das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende, wird die skalierbare Umsetzung von solchen Mieterstrommodellen künftig stark vereinfacht. Die technische Umsetzung dieses in untenstehender Abbildung verdeutlichten Konzepts wurde vom Start-up Solarize als assoziierter Projektpartner im Rahmen des Projektes erarbeitet und umgesetzt.

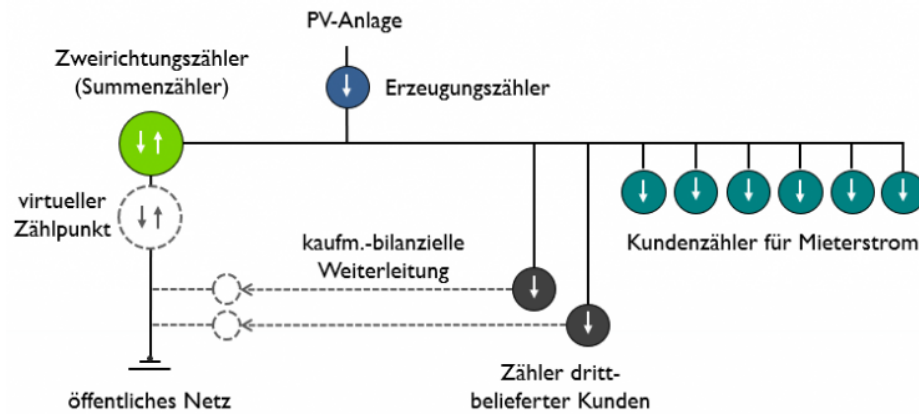


Abbildung 62: Schematische Darstellung des umgesetzten virtuellen Summenzählermodells, das die Umsetzung von Mieterstrom vereinfacht (Quelle Grafik: [Wiki der Siftung "100 Prozent erneuerbar"](#))

Wirtschaftliche Bewertung

Auf Basis von im operativen Ende-zu-Ende-Betrieb gewonnen Erkenntnissen (hinsichtlich beispielsweise Nutzung, Ladebedarfen, Leistungskurven) wurde die Simulation aus AP4 erweitert und verfeinert. Dies erfolgte, weil aufgrund der Installationsarbeiten, der darauffolgenden Vertragsschließung mit den Mietern und der individuellen Verfügbarkeit von tatsächlich genutzten E-Fahrzeugen, im Rahmen der Projektlaufzeit kein vollständiges Kalenderjahr im Ende-zu-Ende-Betrieb analysiert werden konnte. Aspekte und Grafiken in diesem Abschnitt wurden von einer im Rahmen des Projektes betreuten Masterarbeit (Raphael Stöckinger) untersucht und erstellt. Für die Ladepläne ergibt sich durch die Optimierung unter Berücksichtigung von PV-Überschüssen, Peak Shaving und den dynamischen Preisen für die Smart-East-Beispiellichschaft iWerkx folgendes Bild für die über das Jahr optimierten Ladepläne. Es lässt sich gut erkennen, wie die Ladeoptimierung in einer zeitlichen Verlagerung des Stromverbrauchs resultiert:

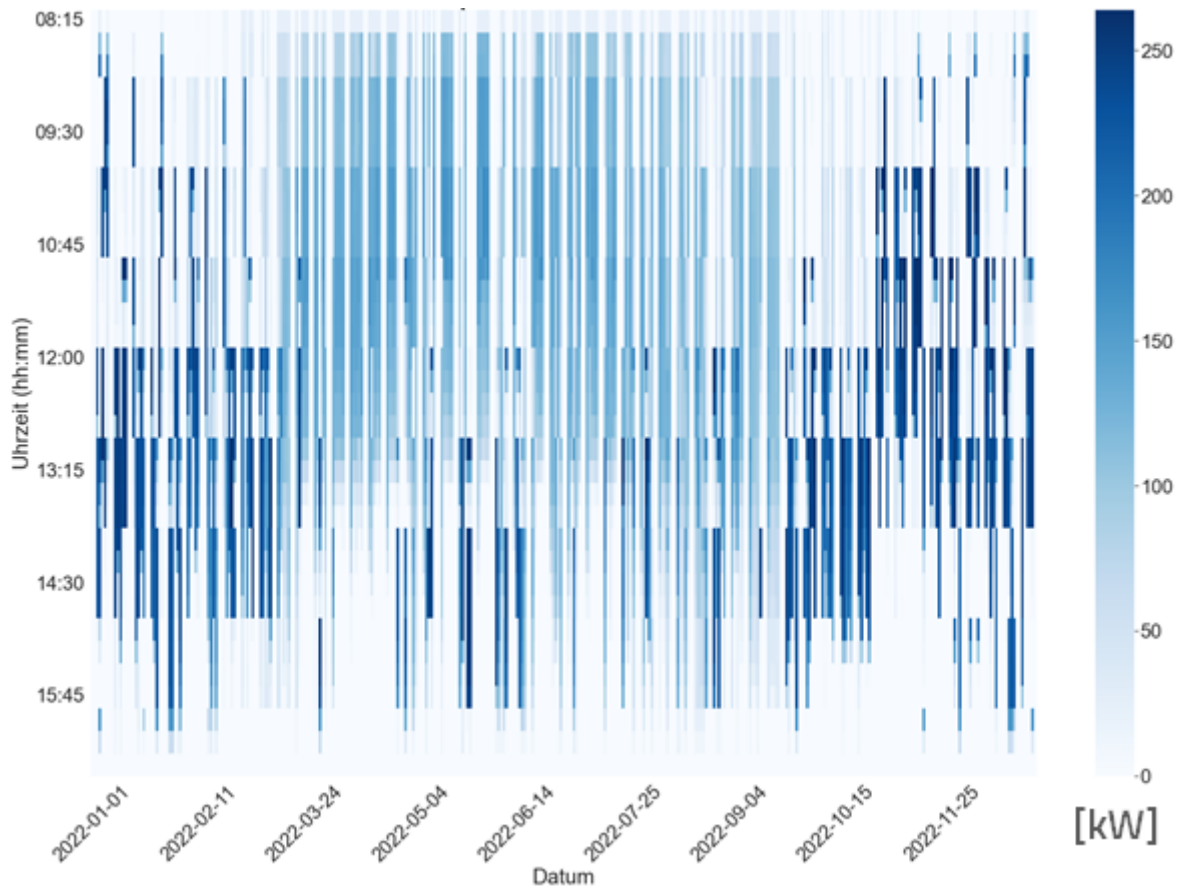
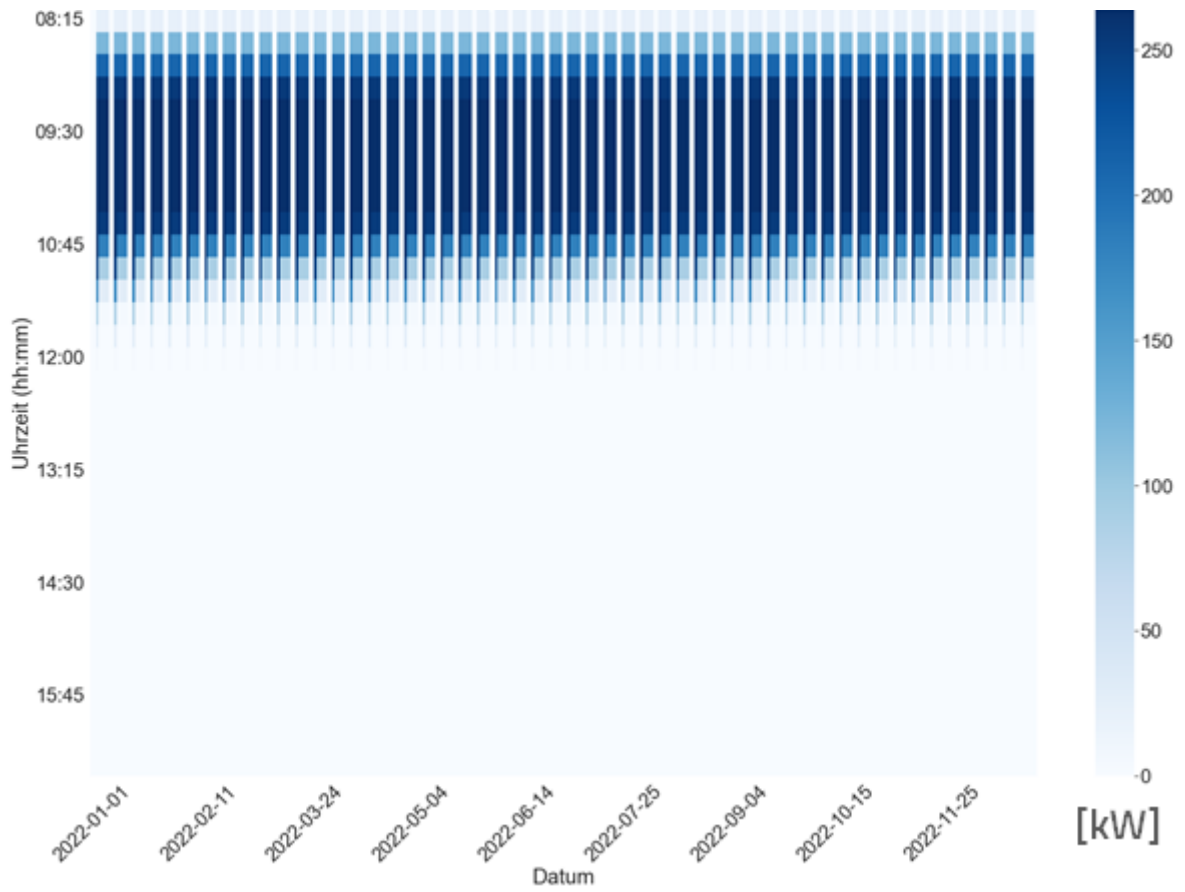


Abbildung 63: Zeitliche Verschiebung der Ladevorgänge durch die Ladeoptimierung (oben ohne Ladeoptimierung, unten mit Ladeoptimierung)

Mit Blick auf das Potenzial dynamischer Tarife ist die Entwicklung der Strompreise im Projektverlauf interessant. Folgende Abbildung verdeutlicht die zunehmende Schwankung am Spotmarkt, getrieben durch einen höheren Abstand in der Merit Order zwischen den günstigen erneuerbaren Energien und insbesondere den teurer gewordenen Gas-Preisen.

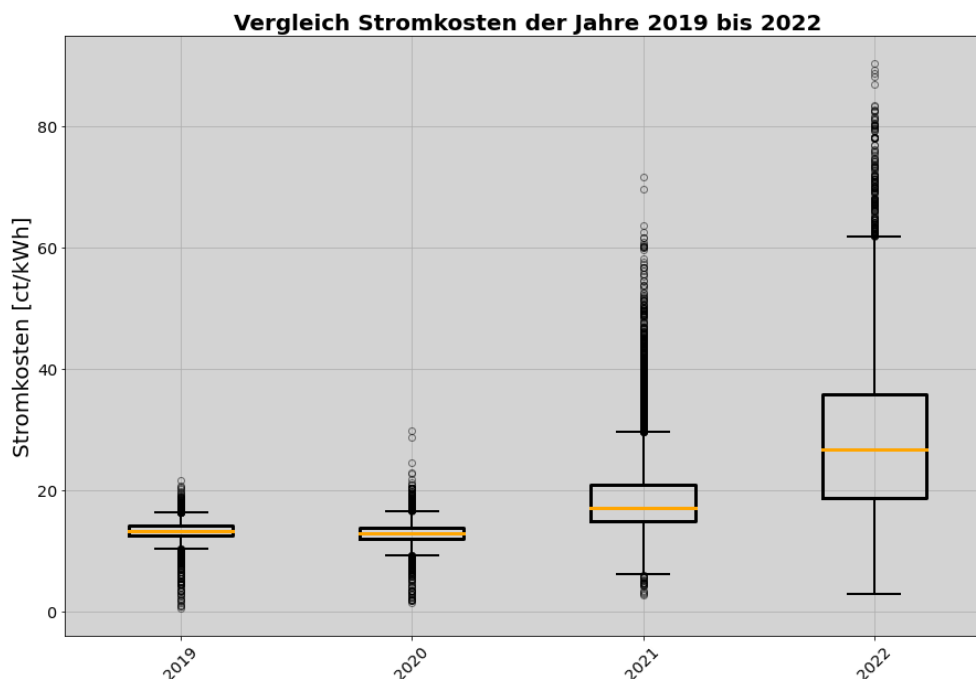


Abbildung 64: Entwicklung der Strompreise am Spotmarkt (day-ahead) während der Projektlaufzeit

Für die zwei detailliert untersuchten Liegenschaften ergeben sich durch die Ladeoptimierung die in folgender Tabelle zusammenfassend dargestellte Kostenersparnis. Für das iWerkx wurden die zu Projektende real verbauten Ladepunkte als Grundlage verwendet und auf eine reale Büronutzung ausgelegt. Für die Technologiefabrik wurden 24 Ladepunkte angenommen und ebenso eine reale Büronutzung zu Grunde gelegt:

Teil-Liegenschaft in Smart East	Einsparungen durch Ladeoptimierung 2022
iWerkx	26%
Technologiefabrik	35%

Tabelle 9: Heutige Ersparnis durch die Ladeoptimierung anhand zweier Liegenschaften im Smart East Quartier

Diese Gesamtersparnis setzt sich zusammen aus: Reduzierten Netznutzungsentgelten durch Peak Shaving, einen erhöhten PV-Eigenverbrauch und die Nutzung der dynamischen Strompreise auf Basis des EPEX-Spot-Markts (1h-Produkte, DA). Das Geschäftsmodell Mieterstrom ist Grundlage für den Eigenverbrauch von PV-Strom, da die Eigentumsverhältnisse eine entsprechende Abrechnung erfordern. Die Wirtschaftlichkeit der Mieterstromlösung ergibt sich durch die Bereitstellungskosten der SaaS-Lösung und die Mehrkosten für kommunikationsfähige Zähler und skaliert damit mit der Anzahl an verwalteten PV-Anlagen. Kommunikationsfähige Zähler werden perspektivisch durch intelligente Messsysteme mit Smart Meter Gateways zur Grundausstattung gehören und sind dann nicht mehr als gesonderter Kostenblock zu sehen.

Die Zusammensetzung der Reduktion der Kostenbestandteile im Referenzjahr 2022 lässt sich für die Beispielliegenschaft iWerkx folgender Abbildung entnehmen:

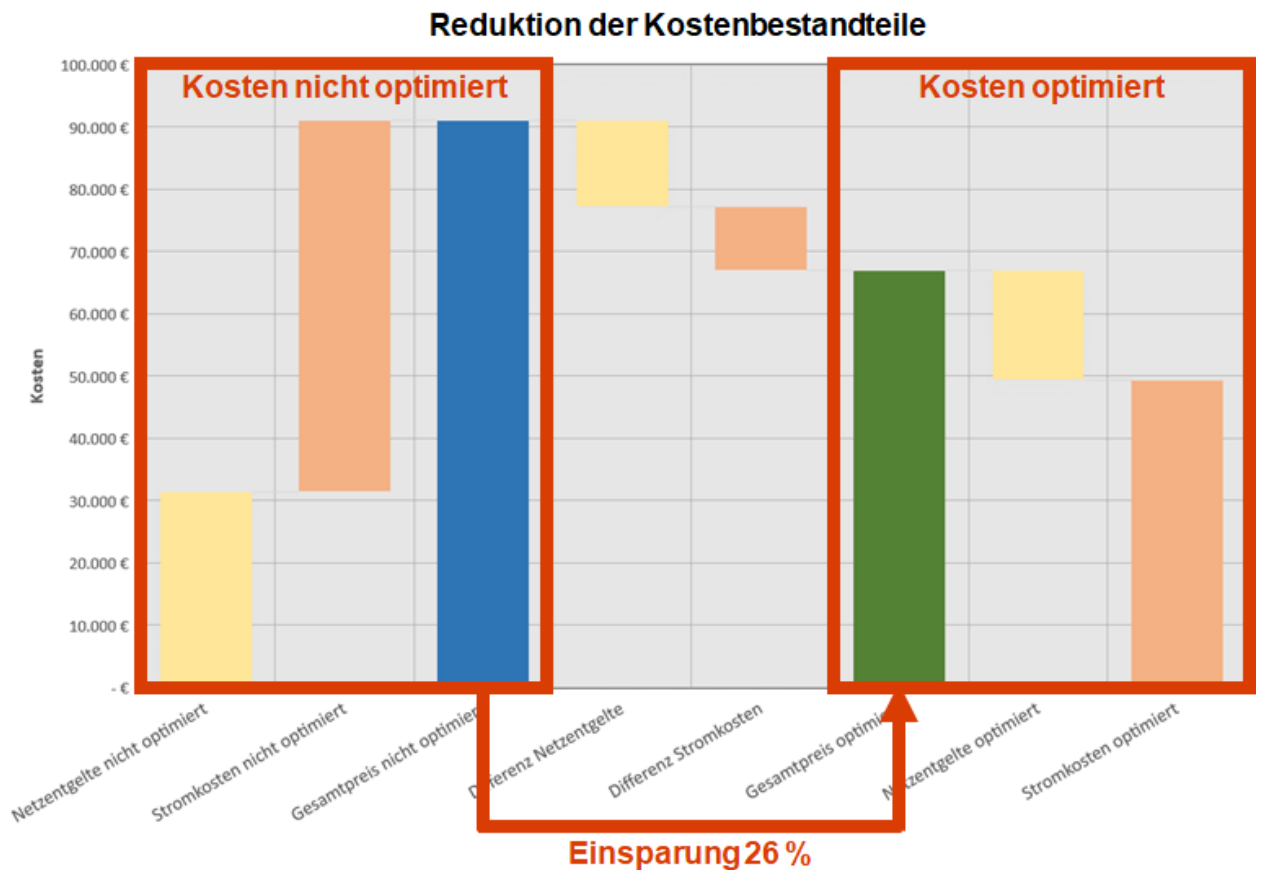


Abbildung 65: Auswirkung der umgesetzten Ladeoptimierung auf einzelne Kostenbestandteile

Netzdienlichkeit

Im Rahmen der Projektlaufzeit fanden durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) [zwei Konsultationen](#) zur netzdienlichen Steuerung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen statt (Weiterentwicklung § 14a Energiewirtschaftsgesetz). Erst wenige Wochen vor Abschluss des Projektes wurden dazu von der Bundesnetzagentur zwei Beschlüsse verabschiedet. Damit kann der Verteilnetzbetreiber künftig die Installation von Ladepunkten nicht ablehnen und Letztverbraucher auf Netzebene 6 (Umspannung zwischen Mittel- und Niederspannung) sowie Netzebene 7 (Niederspannungsnetz) müssen sich bei Engpässen des Verteilnetzbetreibers durch diesen dynamisch drosseln lassen, haben im Gegenzug aber zugleich auch Anspruch auf reduzierte Netzentgelte. Details wurde am 27.11.2023 von der BNetzA in den folgenden zwei Beschlüssen festgelegt:

- **BK6-22-300:** Festlegung zur Integration von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen und steuerbaren Netzanschlüssen nach § 14a Energiewirtschaftsgesetz
- **BK8-22/010-A:** Festlegung von Netzentgelten für steuerbare Anschlüsse und Verbrauchseinrichtungen (NSAVER) nach § 14a EnWG

Diese neuen Entwicklungen wurden im Rahmen der Projektlaufzeit noch nicht näher untersucht, können jedoch als (kleine) Erweiterung der bestehenden Ladeoptimierung gesehen werden. Ein künftig dynamisch vom Verteilnetzbetreiber über Smart Meter Gateways mit entsprechender CLS-Einheit („Controllable Local System“) kommuniziertes Signal ist in der Ladeoptimierung lediglich als zusätzliche, dynamische Leistungsrestriktion für die Ladepunkte zu interpretieren. Als Ergebnis kann der Verteilnetzbetreiber damit Engpässe im Verteilnetz vermeiden. Dem Letztverbraucher steht dafür eine Ersparnis in Form reduzierter Netzentgelte zu, ebenso profitiert

er von einem volkswirtschaftlich kostengünstigen Ausbau von Anlagen im Verteilnetz. Die BNetzA unterscheidet mit Blick auf die netzdienliche Steuerung Modul 1 „pauschaler Rabatt auf das Netzentgelt“ und Modul 2 „prozentuale Reduzierung des Arbeitspreises“. Ferner wurde nun neu ein Anspruch auf zeitvariable Netzentgelte ab 2025 festgelegt (Verteilnetzbetreiber muss anbieten, Kunde kann nachfragen). Solche dynamische Netzentgelte können durch einfache Überlagerung der in der Ladeoptimierung bereits berücksichtigten dynamischen Strompreise ebenso als Erweiterung dieser gesehen werden.

Quartiersplattform als zentrale Datenplattform

Nachfolgende Screenshots geben einen Einblick in das im Projekt umgesetzte Smart-East-Portal, das eine Visualisierung der umgesetzten Plattform zur Datensammlung und Prozesssteuerung bildet.

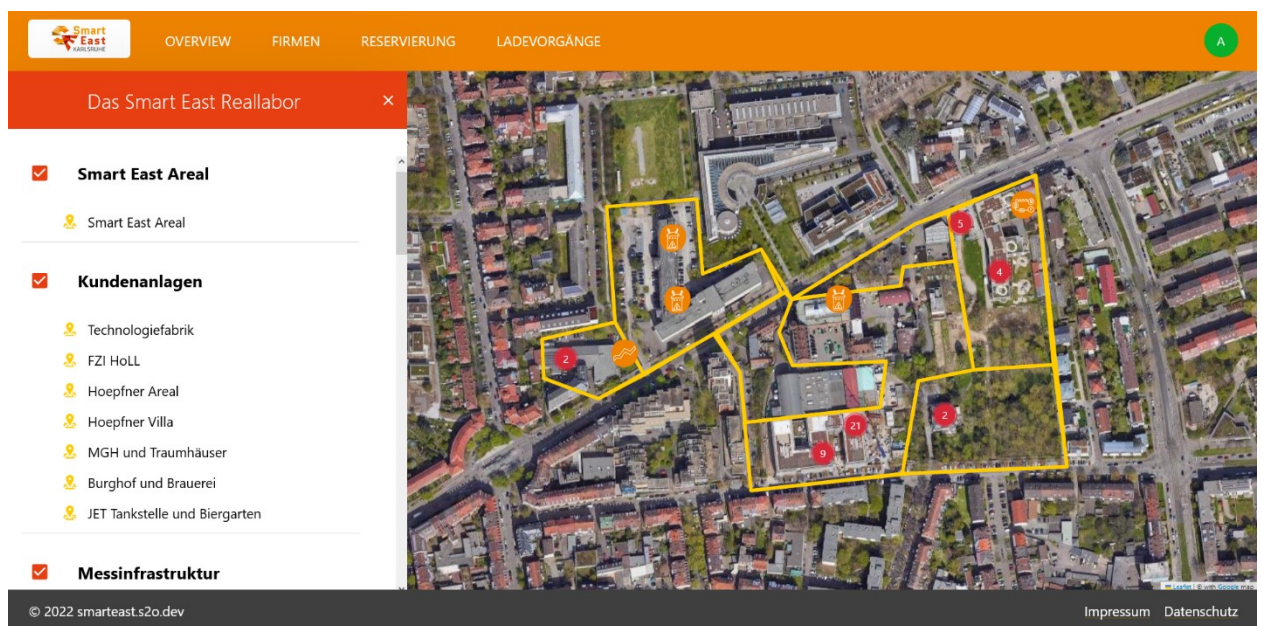


Abbildung 66: Screenshot mit Verortung der Energieanlagen und Messinfrastruktur auf Satellitenbild

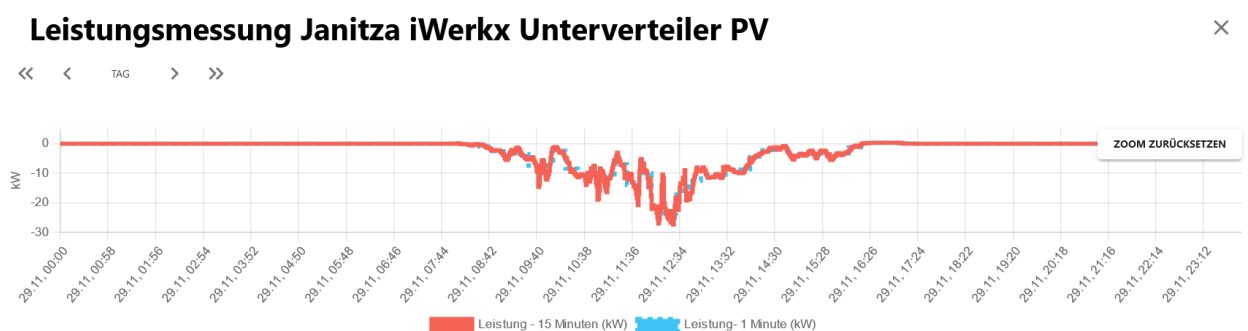


Abbildung 67: Screenshot mit Beispiel Live-Lastverlauf PV-Anlage, täglich

Leistungsmessung Janitza iWerkx Unterverteiler PV

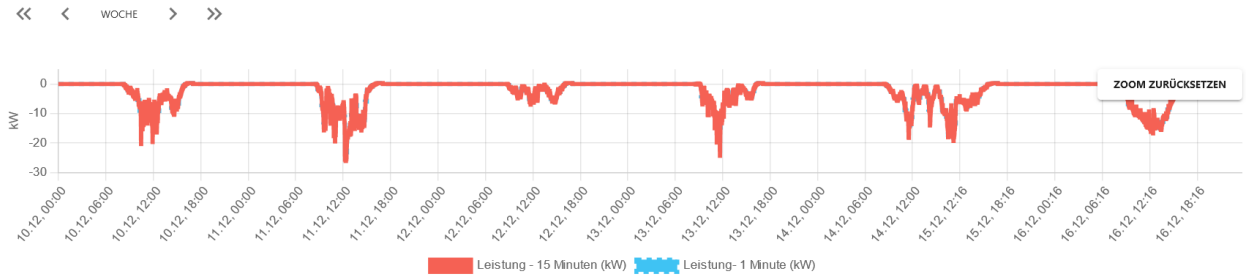


Abbildung 68: Screenshot mit Beispiel Live-Lastverlauf PV-Anlage, wöchentlich

Ladevor...	Status	Ladepunkt	Standort	Firma	Token	Start	Ende	Dauer	Energie (kWh)	Art	Ladediagramm
✓	Charging finished	MGH LIS Alfien Eve Double Pro-Line 2 LP B	Parkplatz Mehrgenerati... Haid-und-Neu-Straße 32	Stadtmobil CarSharing GmbH & Co. KG	Hyundai Kona E	08.12.2023 21:39	09.12.2023 07:28	9h 48m	3.86	B	
✓	Charging finished	MGH LIS Alfien Eve Double Pro-Line 2 LP A	Parkplatz Mehrgenerati... Haid-und-Neu-Straße 32	Stadtmobil CarSharing GmbH & Co. KG	Audi Q4 e-tron	08.12.2023 19:11	09.12.2023 11:53	16h 42m	35.48	B	
✓	Charging finished	MGH LIS Alfien Eve Double Pro-Line 2 LP B	Parkplatz Mehrgenerati... Haid-und-Neu-Straße 32	Stadtmobil CarSharing GmbH & Co. KG	Hyundai Kona E	08.12.2023 16:45	08.12.2023 18:25	1h 39m	5.2	B	
✓	Charging finished	MGH LIS Alfien Eve Double Pro-Line 2 LP B	Parkplatz Mehrgenerati... Haid-und-Neu-Straße 32	Stadtmobil CarSharing GmbH & Co. KG	Hyundai Kona E	08.12.2023 12:14	08.12.2023 15:31	3h 17m	8.74	B	
✓	Charging finished	MGH LIS Alfien Eve Double Pro-Line 2 LP B	Parkplatz Mehrgenerati... Haid-und-Neu-Straße 32	Stadtmobil CarSharing GmbH & Co. KG	Hyundai Kona E	07.12.2023 18:07	08.12.2023 10:12	16h 5m	38.95	B	
✓	Charging finished	MGH LIS Alfien Eve Double Pro-Line 2 LP A	Parkplatz Mehrgenerati... Haid-und-Neu-Straße 32	Stadtmobil CarSharing GmbH & Co. KG	Audi Q4 e-tron	07.12.2023 17:56	08.12.2023 07:42	13h 46m	15.49	B	

Abbildung 69: Screenshot mit Beispiel Übersicht der Ladevorgänge

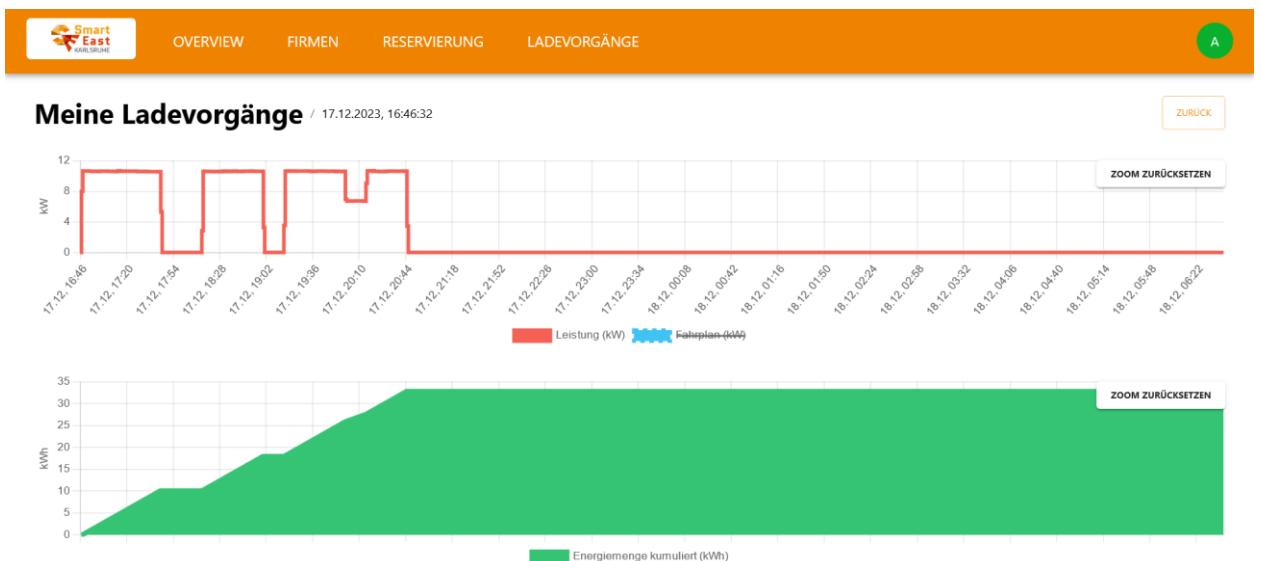


Abbildung 70: Screenshot mit Beispiel Ladevorgang mit optimierter Ladeleistung

Bewertung hinsichtlich CO₂-Bilanz: Durch den Fakt, dass lokaler PV-Strom günstiger zur Verfügung steht als aus dem öffentlichen Stromnetz bezogener Strom, wird durch die Ladeoptimierung die tatsächliche CO₂-Bilanz des Quartiers verbessert, da mehr PV-Strom verbraucht wird. Für die quantitative Darstellung wird auf AP4 verwiesen. Mit Blick auf CO₂-Potenziale führt die Ladeoptimierung also dazu, dass der dezentrale Ausbau von PV-Strom für Betreiber lukrativer wird. Dass die in Smart East erzielten Umsetzungskosten repräsentativ sind, verdeutlicht folgende Abbildung der Stromgestehungskosten verschiedener Energietechnologien. Auch die in Smart East ausgelösten Investitionen in PV-Anlagen durch die assoziierten Partner befinden sich in dieser Bandbreite. Die detaillierte Betrachtung ist in AP 4 dargestellt.

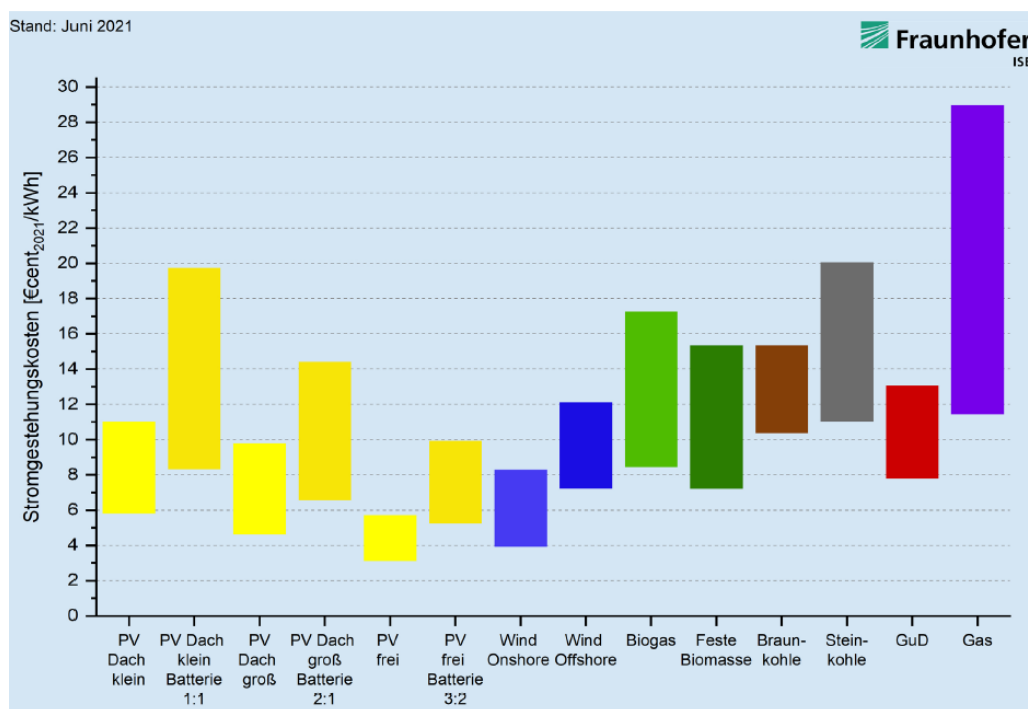


Abbildung 71: Stromgestehungskosten für verschiedene Energieerzeugungsanlagen
(Quelle Grafik: Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“, Freiburg, 2021)

AP7: Öffentlichkeitsarbeit und Anwenderkreis

Wesentliches Ziel der Öffentlichkeitsarbeit war es, über die komplette Laufzeit des Projekts einen Austausch mit interessierte Stakeholder und potenzielle Anwendern des in Smart East entwickelten Quartierskonzepts zu ermöglichen. Als erste Maßnahme wurde dazu, bereits kurz nach Projektstart im März 2021, die [Projektwebseite](#) veröffentlicht. Letztere wurde während der Laufzeit des Projekts kontinuierlich aktualisiert und mit Inhalt befüllt.

Darüber hinaus wurden 5 öffentliche Veranstaltungen, die Anwenderkreise, organisiert und durchgeführt. Diese waren:

- Anwenderkreis im Rahmen der Energiewendetag 2021, am 18.09.2021 im Schlander (Haid-und-Neu-Straße 18, 76131 Karlsruhe).
- Erster Smart East Demo Day, am 01.07.2022 im FZI House of Living Labs (Haid-und-Neu-Straße 5A, 76131 Karlsruhe).

- Anwenderkreis im Rahmen der Energiewendetage 2022, am 24.09.2022 vor dem Mehrgenerationenhaus (Haid-und-Neu-Straße 32, 76131 Karlsruhe)
- Zweiter Smart East Demo Day, am 23.06.2023 im iWerkx - SmartProductionPark (Rintheimer Str. 21-23, 76131 Karlsruhe).
- Anwenderkreis im Rahmen der Energiewendetage 2023, am 23.09.2023 im iWerkx - SmartProductionPark (Rintheimer Str. 21-23, 76131 Karlsruhe).

Neben den vom Konsortium organisierten Anwenderkreisen wurde das Projekt auf einer Vielzahl von Veranstaltungen von Dritten vertreten sowie in der Presse aufgegriffen. Im Detail sind dies:

Datum	Rahmen	Format	Titel / Link
09.03.2021	Smart City Mainz	Vortrag	Virtuelles Kick-Off Event Smart City Fokusgruppe
24.03.2021	Interview Innovation für den Mittelstand	Webseite	Interview mit den Smart East-Initiatoren
25.03.2021	Smart Grids Gespräch März 2021	Vortrag	Smart East - Innovative Geschäftsmodelle zur smarten Energieversorgung im gemischten Quartier Karlsruhe-Oststadt
26.03.2021	Video mit Baden TV	Webseite	Drohnenflug und kurze Statements der Partner.
31.03.2021	SGBW Newsletter	Artikel	Kick-off-Veranstaltung des Reallabors „Smart East“
04.04.2021	Heise Online	Artikel	Smart East im Südwesten
07.04.2021	Webseite Umweltministerium	Webseite	Projekt: Smart East
13.04.2021	EUWID	Artikel	Smart East digitalisiert die Energienutzung im Bestand
19.04.2021	TRK Energiebeirat	Vortrag	Präsentation Smart East auf der 8. Energiebeiratssitzung
06.05.2021	Kongress Energiegeladen, fokus.energie	Vortrag	Smart East bringt die Energiewende in die Stadt
10.05.2021	Marketingrat der Stadt Karlsruhe	Vortrag	Einladung Eberhard Fischer - Strategisches Marketing
26.05.2021	Wirtschaftsspiegel - Artikel	Artikel	Energiewende Anpacken Smart East - Das Intelligente Quartier im Karlsruhe Osten
07.06.2021	Transforming Cities - Umbau zur Stadt der Zukunft	Artikel	Smart East - die Energiewende in die Stadt bringen
17.06.2021	Technology4U - WiFö	Vortrag	Informatikpower für die Energiewende?!
17.06.2021	Technology4U - WiFö	Vortrag	Energiemanagement ist die Zukunft der Energiewende!
07.07.2021	Mainzer Stadtwerke	Präsentation	Smart City Mainz. Präsentation für den Vorstand Dr. Tobias Brosze
09.07.2021	Universität Haute Alsace	Präsentation	Webinar Universität Haute-Alsace Feasability project: Smart East Projekt vorgestellt
21.07.2021	TRK Energiebeirat	Vortrag	Smart East auf der Beiratssitzung präsentiert
04.08.2021	AXEL Accelerator für Energie Startups	Vortrag	Smart East als Testfeld für AXEL Teams präsentiert und diskutiert

20.09.2021	GEM Ingenieure, Karlsruhe	Präsentation	Smart East Lösung als Vorbild für das Fiducia Quartier in Durlach
20.09.2021	BNN zu Energiewendetagen und Ort der Möglichkeiten	Artikel	Rund um die Karlsruher Hoepfner-Burg entsteht ein klimaschonendes Quartier
20.09.2021	FZI Presseerklärung zu Energiewendetagen und Ort der Möglichkeiten	Artikel	Technologien und Ideen für Klimaschutz und Energiewende hautnah erleben
23.09.2021	Kurier zu Energiewendetagen und Ort der Möglichkeiten	Artikel	Smarter Ort der Möglichkeiten
24.09.2021	Euwid zu Energiewendetagen und Ort der Möglichkeiten	Artikel	Digitalisierung im Quartier: Fortschritt im „Smart East“
23.09.2021	Kongress Smarte Quartiere	Präsentation	SMART EAST - Energiemanagement für smarte Bestandsquartiere
08.10.2021	InnovationFestival @karlsruhe.digital	Vortrag	Onepager & Kurzvideo zur digitalen Innovation
22.10.2021	CG Elementum, Leipzig	Präsentation	Smart East Lösung als Vorbild für das Quartier Plagwitz
07.12.2021	Stiftung Energie & Klimaschutz	Artikel	Smartes Energiemanagement für die Infrastruktur der Zukunft – das Reallabor Smart East zeigt wie es geht
26.01.2022	Autensys GmbH	Präsentation	Smart East und Solarize vorgestellt
17.02.2022	Plattform Erneuerbare Energien BW e. V.	Webinar	Smarte Energielösungen für Quartiere am Beispiel des Projekts Smart East Karlsruhe
09.07.2021	PTV-Veranstaltung	Präsentation	Keynote bei Veranstaltung "Smart City Karlsruhe" bei PTV
27.12.2021	Heise Telepolis	Artikel	Hilfe, ich bekomme ein Smart Meter
14.02.2022	Netzpolitik.org Online Magazin	Artikel	Der Weg zur Energiewende führt über den eigenen Keller
17.02.2022	Plattform Erneuerbare Energien BW e. V.	Webinar	Smarte Energielösungen für Quartiere am Beispiel des Projekts Smart East Karlsruhe
15.03.2022	Präsentation bei PTV	Präsentation	Ziel: Gewinnung CEO Christian Haas, bei Smart East mitzumachen
02.06.2022	ITAS/KAT-Tagung „Nachhaltig wirken: Reallabore in der Transformation“	Präsentation	Smart East – Ein Reallabor für die Energiewende in der Stadt.
15.07.2022	Econo	Artikel	Schlauer Strom für die Energiewende
01.12.2022	Smart Grids Kongress 2022 in Fellbach	Präsentation	Smartes Laden von E-Fahrzeugen
01.12.2022	Econo	Artikel	Neue Energie
18.01.2023	50,2 online	Artikel	Mieterstrom: Neue Abrechnungs-Lösung für Stadtwerke Karlsruhe-Tochter

27.06.2023	IHK „Energie gestalten. Gegenwart und Zukunft.“	Präsentation	Präsentation des Smart East Reallabors bei den Wirtschaftsunioren in der IHK
20.07.2023	ACM e-Energy Konferenz 2023	Paper/Vortrag	A new Data-Driven Approach for Comparative Assessment of Baseline Load Profiles Supporting the Planning of Future Charging Infrastructure
19.08.2023	Präsentation für Rotary Club Fächerstadt am FZI	Präsentation	Präsentation des Smart East Reallabors und Führung durchs FZI für die Mitglieder des RC Fächerstadt
14.09.2023	Smart Grids Gespräche „E-Mobilität im Kontext aktueller Entwicklungen“	Präsentation	Smart Charging und Flexibilität als Geschäftsmodell
27.09.2023	Live Podcast: Smart East Reallabor Karlsruhe mit Christoph Schlenzig	Podcast	Live Podcast: Smart East Reallabor Karlsruhe mit Christoph Schlenzig
15.10.2023	EW Spezial Stadtwerke I-2023	Artikel	Smart East: Neue Geschäftsmodelle für Energieversorgung und Elektromobilität
17.11.2023	Jahrestagung der Kimaallianz Karlsruhe	Präsentation	Smart East bringt die Energiewende in die Stadt
22.11.2023	VKSI Sneak Preview meets Cyberforum IT RoundTable: "Energie"	Präsentation	Das Reallabor Smart East bringt die Energiewende in die Stadt

Tabelle 10: Zusammenfassung der im Rahmen von Smart East erfolgten Öffentlichkeitsarbeit

Durch alle Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit zusammen konnte eine erhebliche Zahl von Personen angesprochen werden. Besonders relevant sind hier die 321 Personen, welche für den Smart East E-Mail Verteiler gewonnen werden konnten, d.h. welche in regelmäßigen Abständen über Neuigkeiten aus dem Projekt informiert wurden.

8. Erzielte Ergebnisse

Zusammenfassend konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Investitionen in Höhe von 750 T€ in PV-Anlagen (600 kWp) wurden ausgelöst
- Der PV-Anteil am Stromverbrauch wurde auf 24% gesteigert
- Die CO₂-Emissionen im Quartier wurden um 270 t jährlich reduziert (20%)
- Eine Ladeinfrastruktur mit fast 50 Ladepunkten wurde aufgebaut
- Alle Energieströme und Ladevorgänge werden digital live erfasst
- Eine Quartiersplattform wurde aufgebaut, in der alle Messdaten zusammenfließen
- Zwei neue Geschäftsmodelle wurden nicht nur entwickelt und erprobt, sondern auf den Markt gebracht
- Passende Vertragsangebote für Mieterstrom + Ladestrom sind von BES entwickelt, erste Mieter wurden als Kunden gewonnen
- Zwei IT-Startups wurden gegründet: InnoCharge für Smart Charging – optimierter Ladestrom und Solarize für Mieterstrom
- Fünf Anwender-Workshops wurden durchgeführt, um unsere Erfahrungen mit der Fachwelt zu teilen
- Mit der RaumFabrik Durlach wurde bereits ein erster Gewerbepark gewonnen, der das Smart East Konzept übernimmt

- Eine EU-Förderung wurde gewonnen, um das Leuchtturmprojekt drei weitere Jahre fortzuführen

9. Veröffentlichungen

Durch den anwendungsorientierten Charakter von Smart East war der Fokus des Projekts auf praktische Umsetzbarkeit gerichtet. Entsprechend standen wissenschaftliche Forschung und die Erzeugung entsprechender Publikationen nicht im Vordergrund. Trotzdem konnten folgende Publikationen im Rahmen des Projekts realisiert werden:

Galenzowski, Waczowicz, and Hagenmeyer 2023: Galenzowski, J., Waczowicz, S., & Hagenmeyer, V. (2023). A new Data-Driven Approach for Comparative Assessment of Baseline Load Profiles Supporting the Planning of Future Charging Infrastructure. Companion Proceedings of the 14th ACM International Conference on Future Energy Systems (e-Energy '23), 8. <https://doi.org/10.1145/3599733.3600245>

Galenzowski et al., 2023: Galenzowski, J., Waczowicz, S., Meisenbacher, S., Mikut, R., & Hagenmeyer, V. (2023). A Real-World District Community Platform as a Cyber-Physical-Social Infrastructure Systems in the Energy Domain. Proceedings of the 10th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation, 434–441. <https://doi.org/10.1145/3600100.3626347>