

# Peer2Peer im Quartier (P2PQ)

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**26/2022**

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe  
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Interimistischer Leiter: DI Theodor Zillner

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:  
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

# Peer2Peer im Quartier (P2PQ)

Wien Energie

Austrian Institute Of Technology

Riddle&Code

Wien, Februar 2021

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Theodor Zillner

Interimistischer Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>10</b>
	3.1. Stand der Technik / Stand des Wissens .....	10
	3.1.1. Photovoltaik-Eigenverbrauch .....	10
	3.1.2. Blockchain-Nutzung .....	12
	3.1.3. Stand im Unternehmen RIDDLE&CODE als Blockchain-Anbieter .....	13
	3.2. Ergebnisse aus anderen Projekten.....	13
	3.3. Projektziele .....	14
<b>4</b>	<b>Projekthalt</b> .....	<b>16</b>
	4.1. Implementierung .....	16
	4.1.1. Entwicklung von umfassenden, innovativen Technologie-Service-Angeboten.....	16
	4.1.2. Testumgebungen & Umfeldanalyse .....	17
	4.2. User Interface Entwicklung.....	18
	4.3. Business Logic .....	20
	4.3.1. Prognose .....	20
	4.3.2. Optimierung.....	22
	4.4. Blockchain .....	24
	4.5. Umsetzung im Viertel Zwei – Tarifentwicklung .....	25
	4.5.1. Tarifworkshop am 23.05.2018.....	25
	4.5.2. Der Pioneers Stromtarif.....	26
	4.5.3. Blockchain aus der NutzerInnenperspektive.....	27
	4.6. Evaluation .....	29
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>31</b>
	5.1. Einsatz der Blockchain .....	31
	5.2. Ergebnis der Energieflussoptimierung.....	32
	5.3. Produkt- und Tarifentwicklung .....	33
	5.4. User Interface .....	34
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>35</b>
	6.1. Technologieeinsatz und Perspektive der NutzerInnen .....	35
	6.2. Optimierung der Energieflüsse und Energiekosten .....	35
	6.3. Weiterführende Nutzung der Ergebnisse .....	36
<b>7</b>	<b>Ausblick und Empfehlungen</b> .....	<b>37</b>
	7.1. Technische Weiterentwicklung.....	37
	7.2. Beitrag zur gemeinschaftlichen Energienutzung .....	38
<b>8</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>40</b>



# 1 Kurzfassung

Das Projekt Peer2Peer im Quartier befasst sich mit der konkreten Umsetzung von Anwendungen zu Photovoltaik-Eigenverbrauchsoptimierung sowie Peer-to-Peer-Beziehungen auf Basis der Blockchain-Technologie in Quartieren und deren Validierung im Echtbetrieb. Die Vorteile dieser Entwicklungen reichen von Datensicherheit bis hin zu einer vertraulichen Abrechnungsplattform für ProsumerInnen. Zusätzlich zu den dafür benötigten technischen Forschungen und Entwicklungen werden dazu passende Geschäftsmodelle für InfrastrukturbetreiberInnen und EnergieversorgerInnen definiert, diese im Testbetrieb validiert und basierend darauf Empfehlungen für künftige Konzepte ausgearbeitet.

Durch den Einsatz der Blockchain-Technologie eröffnen sich im Bereich der Anwendungen auf Quartiersebene völlig neue Möglichkeiten für schnelle und einfache Vertragsabschlüsse zwischen zwei oder mehreren Parteien, auf deren Basis ein Energiehandel und -austausch durchgeführt werden kann. Für die Realisierung dieser Peer-to-Peer-Beziehungen werden Rahmenbedingungen für digitale Verträge im Zuge des Projekts definiert sowie die Möglichkeit einer unkomplizierten Teilnahme beziehungsweise des Ausstiegs („easy-in/easy-out“) untersucht. Für eine optimale Usability wird in Peer2Peer im Quartier ein User Interface definiert und implementiert sowie im Anschluss den AnwenderInnen, die als lokale EnergielieferantInnen beziehungsweise -konsumentInnen dienen, zur Verfügung gestellt. Potentielle VertragspartnerInnen werden mittels Discovery-Mechanismen ermittelt. Zur Optimierung und bestmöglichen Nutzung der erzeugten Energie wird zusätzlich die Möglichkeit geschaffen, neben 1:1-Beziehungen auch n:m-Beziehungen durchzuführen (mehrere LieferantInnen/ ErzeugerInnen, mehrere KonsumentInnen/ VerbraucherInnen).

Das grundlegende Ziel des Projekts besteht in der Eigenverbrauchsoptimierung auf Quartiersebene und der Analyse, inwieweit sich die jeweiligen Peer-to-Peer-Anwendungen und das Gesamtoptimum im Quartier beziehungsweise an der Netzübergabestelle gegenüberstehen oder beeinflussen. In die Optimierung auf Quartiersebene fließen Nutzer- sowie Quartiers-Prognosen ein, die beispielsweise Verbrauchswerte für Werkstage, Wochenenden und Feiertage sowie Urlaubszeiten etc. berücksichtigen.

Parallel zu den technischen Entwicklungen werden Geschäftsmodelle für Wien Energie definiert und Schlüsselfaktoren für die Wirtschaftlichkeit der innovativen Lösungen ausgearbeitet. Der Proof of Concept erfolgt im „Viertel Zwei“, einem Neubaugebiet im zweiten Wiener Gemeindebezirk. Neben Installationen der benötigten Infrastruktur (Photovoltaik-Anlage, Quartier-Elektrospeicher etc.) werden die Blockchain-Anwendungen im Feld ausgerollt und die Ergebnisse in der abschließenden Projektphase evaluiert, die Geschäftsmodelle überprüft und Empfehlungen für zukünftige Konzepte erarbeitet.

## 2 Abstract

The research project Peer2Peer im Quartier deals with applications optimizing the selfconsumption of PV-generated energy within urban quarters by enabling peer-to-peer relations among energy prosumers based on Blockchains. Aim is to develop and validate these applications in real operation. The benefits of using Blockchain technology are reaching from data security to confidential billing platforms for prosumers. Beside the research and implementation activities, new business models for operators of energy infrastructure in quarters from the viewpoint of an energy provider are conceptualized, validated in a test phase, and – based on the results – recommendations for future concepts are elaborated.

By relying on blockchain technology and its associated advantages, the project aims to establish fast and easy methods for completing contracts between two or more parties in order to trade and transfer energy within a city quarter. Within this project, a framework regarding digital contracts for peer-to-peer energy provision relations is defined and options for straightforward participation and withdrawal (“easy-in/easy-out”) are investigated. For an optimal usability, a user interface will be implemented and made available to the test users – being both energy providers and consumers. For finding adequate partners in the peer-to-peer network, an innovative discovery mechanism will be implemented. To guarantee a high usability and an optimal distribution of the generated energy, 1:1 relations as well as n:m relations will be available to the participants (several providers, several consumers). The main goal of the project is the optimization of the self-consumption of PV-generated electricity within the quarter. Additionally, the results of this optimization are analyzed regarding the influence of peer-to-peer applications towards the general equilibrium within the urban quarter. Forecast data (e.g., consumption data for working days, weekends and holidays; etc.) for users and the quarter are used as input data for the optimization.

Besides the technical implementations, business models for Wien Energie and key determinants for economic viability of the innovative concepts will be evaluated. The proof of concept will be implemented in “Viertel Zwei”, an urban development area in Vienna’s Second District. On site the necessary infrastructure (PV-systems, battery storage) will be installed and the blockchain applications will be deployed. In the final project stages the results will be evaluated, the business cases will be validated, and recommendations for future concepts will be generated.

# 3 Ausgangslage

Die Anwendung von Blockchain-Technologie bietet im Bereich der Energiewirtschaft ein großes Potential, das insbesondere im Zusammenhang mit der zunehmenden Dezentralisierung des Energiesystems wesentlich ist. Anschaulich zeigt sich das Thema im Kontext erneuerbarer elektrischer Einspeisung durch Photovoltaik-Anlagen und die Nutzung potentieller Flexibilitäten. Dieser Ansatz hat das Potential, die Abrechnung von Energieflüssen sowie den Handel zwischen ErzeugerInnen und VerbraucherInnen grundlegend zu verändern. Trotz reger Diskussionen und erster erfolgreicher Projekte steht die Anwendung der Blockchain-Technologie im Energiebereich noch am Anfang. Obwohl sich ständig neue und vielfältige Blockchain-Ausprägungen entwickeln, gibt es weltweit gesehen nur sehr punktuelle Piloten (siehe Abschnitt „Stand der Technik“).

Ziel des Projektes ist es, die Vorteile der Blockchain-Technologie in konkreten Umsetzungsvorhaben zu implementieren, die Entwicklungen in einem Proof of Concept im sogenannten Viertel Zwei in Wien zu testen und, basierend auf den Erkenntnissen, Empfehlungen für zukünftige Konzepte zu erarbeiten. Ziele dieser Implementierungen stellen die Eigenverbrauchsoptimierung im Quartier sowie der gemeinschaftliche Energieverbrauch unter Einbeziehung einer lokalen PV-Anlage innerhalb dieses abgeschlossenen Systems dar.

## 3.1. Stand der Technik / Stand des Wissens

Die folgenden Abschnitte zeigen den Stand der Technik in den wesentlichen Anwendungsgebieten des gegenständlichen Projekts - zum einen Photovoltaik-Eigenverbrauch, zum anderen die Blockchain-Technologie selbst.

### 3.1.1. Photovoltaik-Eigenverbrauch

Der Eigenverbrauch von Photovoltaik (PV) ist durch die in den letzten Jahren tendenziell stark gesunkenen Systemkosten von Photovoltaik<sup>1</sup> und entsprechende Fördersysteme (wie z.B. die Eigenverbrauchsförderung in Deutschland<sup>2</sup> und die Investitionsförderung des Klimafonds in Österreich<sup>3</sup>) für viele EndkundInnen interessant geworden. Um den möglichen Eigenverbrauch zu steigern beziehungsweise zu optimieren, ist ein Trend hin zur Installation von PV-Speichersystemen und der Nutzung flexibler Verbraucher erkennbar. Zu den flexiblen Verbrauchern mit dem höchsten Potenzial zählen Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge und Heizstäbe zur Warmwasseraufbereitung.

Die Nutzung der Energie aus gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen ist ein zentrales Ziel der Europäischen Union, die die VerbraucherInnen als zentrale AkteurInnen in der Energiewende begreift<sup>4</sup>. Dies soll durch die Erweiterung der Handlungsmöglichkeiten der EndnutzerInnen erreicht werden, die künftig vereinfacht ihre Energie aus eigenen Anlagen beziehen, speichern, teilen und verkaufen können. Zur Erleichterung dieser Handlungen ist der Zusammenschluss zu Energiegemeinschaften

---

<sup>1</sup> EuPD Research, "Photovoltaik-Preismonitor Deutschland." Bundesverband Solarwirtschaft, 2013.

<sup>2</sup> Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2014). 2014.

<sup>3</sup> <https://www.klimafonds.gv.at/call/photovoltaik-anlagen-2022/> [01.02.2021]

<sup>4</sup> [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en) [01.02.2021]

vorgesehen, in welchen das gemeinschaftliche Vorgehen in Energiefragen im Vordergrund steht. Bei der Umsetzung dieser EU-Richtlinie in nationales Recht hat sich Österreich ambitionierte Ziele gesetzt, die u.a. auch die Steigerung der jährlichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen bis 2030 um 27 TWh beinhalten<sup>5</sup>.

Die Europäische Kommission präsentierte dazu am 30. November 2016 das Paket "Saubere Energie für alle Europäer", auch bekannt unter der Bezeichnung "Winterpaket". Dieses enthält Maßnahmen zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der Europäischen Union, basierend auf den stetigen Veränderungen sowie als Grundlage für den Übergang zur stärkeren Nutzung umweltfreundlicher Energieträger. Dabei wurden drei Hauptziele<sup>6</sup> genannt, die vom Peer2Peer im Quartier in folgender Weise adressiert werden:

**1. Vorrang für Energieeffizienz:** Unter diesem Ziel wird die optimale Nutzung der vorhandenen Energie beziehungsweise die Minimierung des Verbrauchs verstanden. Das Ziel der Eigenverbrauchsoptimierung im Projekt Peer2Peer im Quartier erfüllt exakt diese Anforderung. Geplant ist die optimale Nutzung der Erzeugung durch PV-Anlagen innerhalb des Quartiers durch Optimierung von VerbraucherInnen und bestmöglichen Einsatz des vorhandenen elektrischen Speichers. Durch die Optimierung von Erzeugung und Verbrauch können die Kosten für EndnutzerInnen gesenkt werden.

**2. Erreichen einer globalen Führungsrolle bei den erneuerbaren Energien:** Um das Ziel von mindestens 27% erneuerbarer Energien der Europäischen Kommission erfolgreich umsetzen zu können, sind Maßnahmen wie ein optimaler Einsatz von Flexibilitäten im Gesamtsystem erforderlich. In Peer2Peer im Quartier wird die Integration erneuerbarer Energien auf Quartiersebene durch innovative Managementkonzepte unterstützt.

**3. Ein faires Angebot für die VerbraucherInnen:** Den aktiven KundInnen wird ein Recht auf Eigenerzeugung, Speicherung, Verbrauch und Verkauf von Energie eingeräumt. Die Aktivität kann in der (direkten oder über Aggregatoren indirekten) Teilnahme an Laststeuerung und Energieeffizienz-Programmen liegen. Des Weiteren sollen Wahlmöglichkeiten im Bereich des Energiebezugs eingeräumt werden, unkomplizierte Bedingungen für Anbieterwechsel geschaffen sowie verständliche Rechnungen und ein besserer Informationsfluss (beispielsweise über Verbrauchsdaten) gewährleistet werden.

Besonders in diesen zunehmend dezentralisierten Handlungsfeldern hat der Einsatz von Blockchain-Technologie ein großes Potential. Die bisherigen Geschäftsmodelle für die Nutzung von PV-Anlagen auf Mehrfamilienhäuser wurden in dem STROMBIZ Projektbericht präsentiert<sup>7</sup>. Es werden mehrere Geschäftsmodelle anhand von Smart Meter Konfigurationen illustriert, keines aber ermöglicht dem Betreiber einer PV-Anlage den Strom in der Community zu verkaufen oder dem Nutzer/der Nutzerin einen PV-Stromanbieter auszuwählen. Durch das für das Jahr 2021 geplante Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzpaket werden die Handlungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen erweitert und soll damit einer breiteren NutzerInnengruppe zugänglich gemacht werden. Durch die Installation von Smart Metern können die notwendigen Daten vom Netzbetreiber

---

<sup>5</sup> [https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXVII/ME/ME\\_00058/index.shtml](https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXVII/ME/ME_00058/index.shtml) [01.02.2021]

<sup>6</sup> [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en) [10.02.2021]

<sup>7</sup> Amann et al., STROMBIZ Geschäftsmodelle dezentrale Stromerzeugung und Distribution

ausgewertet und eine virtuelle Verrechnung der Gemeinschaftsanlage an mehrere KundInnen mit fixen Anteilen durchgeführt werden.

### 3.1.2. Blockchain-Nutzung

Obwohl in den letzten Jahren das Interesse an den Einsatzmöglichkeiten und Entwicklungen von Blockchain-Technologien angestiegen ist, gibt es noch wenig Forschung im Bereich der Schnittstelle zwischen Blockchain-Technologien und Human Computer Interaction (HCI). Das Interesse und die zunehmende Anzahl von relevanten Veranstaltungen zeigen, dass dieses Thema aber immer mehr an Bedeutung in diesem Bereich gewinnt<sup>8</sup>. In diesem Zusammenhang stellen sich unter anderem Fragen der individuellen und gesamtgesellschaftlichen Akzeptanz von Blockchain-Technologien<sup>9</sup>.

Dies unterstreicht im Allgemeinen, dass das Vertrauen in Technologien eine wichtige Voraussetzung für eine positive Nutzerakzeptanz ist und dass Kommunikationsstrategien benötigt werden, die das Vertrauen in diese Blockchain-Technologie weiter stärken. Des Weiteren zeigten Folkinshteyn und Lennon,<sup>10</sup> dass die Darstellung abstrakter Konzepte an die jeweilige Zielgruppe angepasst werden sollte. Fragen, wie solche Kommunikationsstrategien konkret aussehen könnten, oder mit welcher Schnittstelle NutzerInnen mit der Blockchain interagieren, bleiben bislang jedoch weitestgehend unbeantwortet. Zwar gibt es erste Ansätze und Hinweise<sup>11 12 13 14</sup>, die aufzeigen, welche Design-Prinzipien zur Anwendung kommen könnten, jedoch sind diese sehr allgemein gehalten und bislang nicht auf den Energiebereich zugeschnitten.

Dass Blockchain-Technologien auch außerhalb der Grundlagenforschung immer größeres Interesse geschenkt wird, zeigt sich unter anderem in der steigenden Anzahl an Forschungseinrichtungen, die sich mit der Thematik und deren Anwendungsgebieten beschäftigen<sup>15</sup>. Grundsätzlich können zwei Bereiche unterschieden werden:

- Sozial: Welche Auswirkungen hat die Blockchain-Technologie auf die sozialen Prozesse, das Zusammenleben zwischen Menschen sowie Menschen und Maschinen?<sup>16</sup>
- Technisch: Welche Prozesse lassen sich auf einer Blockchain darstellen, welcher Mehrwert ist daraus zu erwarten und welche Risiken gilt es dabei zu berücksichtigen?<sup>17</sup> Wie lässt sich das Internet of Things mittels Blockchain absichern?<sup>18</sup>

---

<sup>8</sup> Elsdén, Chris & Nissen, Bettina & Jabbar, Karim & Talhouk, Reem & Lustig, Caitlin & Dunphy, Paul & Speed, Chris & Vines, John. (2018). HCI for Blockchain: Studying, Designing, Critiquing and Envisioning Distributed Ledger Technologies. 1-8.

<sup>9</sup> D. Folkinshteyn, M. Lennon, "Braving Bitcoin: A technology acceptance model (TAM) analysis", In: Journal of Information Technology Case and Application Research Vol. 18, Iss. 4, 2016.

<sup>10</sup> ebd.

<sup>11</sup> <https://blog.prototypr.io/disruptive-ux-of-blockchain-what-you-should-focus-on-647cf5f9de89>

<sup>12</sup> <https://hackernoon.com/blockchain-and-design-4ae7ae1694bc>

<sup>13</sup> <https://medium.com/design-ibm/blockchain-design-principles-599c5c067b6e>

<sup>14</sup> <https://www.skript.com/svr/blockchains-user-experience/>

<sup>15</sup> <https://www.coindesk.com/austrian-government-backs-new-blockchain-researchinstitute/>

<sup>16</sup> Klaus Lenk <https://netzpolitik.org/2018/perspektiven-auf-die-blockchain-menschlichebeziehungen-spielen-keine-rolle-mehr/>

<sup>17</sup> Klaus Lenk <https://netzpolitik.org/2018/perpektiven-auf-die-blockchain-bitcoin-ist-der-prototyp-eines-traums/>

<sup>18</sup> Ahmed Banafa: <https://ahmedbanafa.blogspot.co.at/2016/08/securing-internet-of-things-iot-with.html>

Das grundlegende Design von Blockchains (etwa von Ethereum oder Bitcoin) sieht vor, dass alle TeilnehmerInnen (Nodes) eines Systems alle Transaktionen verarbeiten und validieren müssen. Die daraus gewonnene Sicherheit und Transparenz bedeutet aber zwangsläufig eine niedrigere Transaktionsrate im Vergleich zu traditionellen Datenbanksystemen. Es gilt daher, Konzepte zu entwickeln, welche die Sicherheit des Systems nicht gefährden und gleichzeitig eine akzeptable Transaktionsrate erlauben, um den stetig steigenden Anforderungen an Bandbreite zu begegnen.<sup>19</sup> Eine weitere essentielle und bislang weitgehend unbeantwortete Frage ist die Praxistauglichkeit von Blockchains und Smart Contracts im Allgemeinen<sup>20</sup> sowie das Zusammenspiel von Smart Contracts, mit Hardware (zum Beispiel mit einem Smart Meter) und Billing-/Settlement-Systemen im Besonderen. Zwar erlauben Smart Contracts in der Theorie eine vollkommen automatisierte Kommunikation verschiedenster AkteurInnen, praktisch gibt es aber noch kaum Expertise und dementsprechend wenige Erfahrungswerte in der Gestaltung, Implementierung und Verwendung von Smart Contracts<sup>21</sup>.

### **3.1.3. Stand im Unternehmen RIDDLE&CODE als Blockchain-Anbieter**

RIDDLE&CODE sind eines der international führenden Unternehmen im Bereich Blockchain-Technologie. RIDDLE&CODE hat das Zusammenspiel von Blockchain und Kryptographie auf Hard- und Software-Ebene soweit harmonisiert, dass ein- und derselbe Algorithmus und alle zugehörigen Treiber sowohl auf NFC Inlays, RFID-Labels, erweiterten Micro-Controllern, FPGA- und ASIC-Designs, IoT-Gateways und -Endknoten, Sensor-Netzwerken und vernetzten Servern in Trusted Execution Environments funktionieren. Dies geschieht durch den Einsatz von energieeffizienten Micro-Controllern in Kombination mit dezidiert Kryptographischen Beschleunigern. Diese Grundlage ist auch die Basis für die passgenaue Weiterentwicklung der technischen Plattform in diesem Forschungsvorhaben.

## **3.2. Ergebnisse aus anderen Projekten**

Im Projekt Smart Solutions Prognose und Optimierung – einer Zusammenarbeit von Wien Energie und dem AIT – entwickelte das AIT Center for Energy einen Prognose- und Optimierungsalgorithmus, der in der Produktentwicklung von Wien Energie zum Einsatz kommt. Dabei werden Prognosen für Erzeugung und Verbrauch berechnet und anschließend die flexiblen Verbraucher (Heizstab, Smart Plugs, etc.) sowie der Einsatz eines Batteriespeichers in Bezug auf die Energiekosten der KundInnen optimiert. Bezugs- und Einspeisetarife sowie Wetterprognosen stehen unter anderem in Form von Zeitreihen als Eingangsdaten zur Verfügung. Das erworbene Know-How und die Erfahrungen werden im Projekt Peer2Peer im Quartier für die Entwicklung der Algorithmen genutzt.

Im Projekt SonnWende+ (FFG Nr. 861621) wurde die Blockchain-Technologie im Kontext erneuerbarer elektrischer Einspeisung und Flexibilität im Innovationslabor “Energie Innovation Cluster Südburgenland” als Enabler für innovative Service-Konzepte analysiert. Dabei wurde die prinzipielle Machbarkeit auf einer konzeptionellen Ebene erforscht. Im Gegensatz zum gegenständlichen Projekt war kein Energielieferant Teil des Konsortiums und somit wurde diese Sichtweise auch nicht

---

<sup>19</sup> <https://www.coindesk.com/vitalik-buterin-announces-new-subsidies-for-ethereum-scaling-research/>

<sup>20</sup> Frantz, Nowostawski: From Institutions to Code: Towards Automated Generation of Smart Contracts 2016

<sup>21</sup> <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/why-blockchains-smart-contracts-arent-ready-for-the-business-world/>

berücksichtigt. Hauptaugenmerk lag in SonnWende+ nicht auf Peer-to-Peer-Beziehungen. Das Projekt Peer2Peer im Quartier beschäftigt sich im Gegensatz dazu mit der konkreten Umsetzung dieser Beziehungen in einem ausgewählten Quartier.

Wien Energie konnte bereits erste Erfahrungen im Bereich der Blockchain-Technologie sammeln. Anfang 2017 wurde gemeinsam mit Ölkonzernen und einem kanadischen Startup ein erstes Pilotprojekt für Blockchain-basierten Energiehandel gestartet. Anfang Oktober 2017 konnte der erste reale Gashandel über eine Blockchain-Handelsplattform durchgeführt werden.

Basierend auf der kleinen EIWOG-Novelle 2017 und deren künftiger Weiterentwicklung im Erneuerbare-Ausbau-Gesetzespaket können in Österreich PV-Anlagen auf Mehrparteienhäusern nicht mehr nur für den Allgemeinstrom, sondern auch direkt von den BewohnerInnen und NachbarInnen genutzt werden. Basierend auf diesen Gesetzesanpassungen hat Wien Energie im Zuge von Produktentwicklungsprojekten neue Geschäftsmodelle und Tarifoptionen für gemeinschaftlich genutzte PV-Anlagen entwickelt. Damit hat Wien Energie für sich den Grundstein für innovative, gemeinschaftliche und verbindende Dienstleistungen in Quartieren gelegt.

Weiters werden im Projekt Urban Pioneer Community von Wien Energie im Stadtentwicklungsgebiet Viertel Zwei in Wien erste Geschäftsmodelle in Richtung einer "smarten", innovativen Energiezukunft entwickelt und getestet. Mitunter werden hier innovative Stromtarife (mit marktbasieren, Flat- und zeitabhängigen Verrechnungspreisen) und Fiber-to-the-Home Internetprodukte angeboten und mit den BewohnerInnen des Viertels weiterentwickelt bzw. optimiert.

Die Projektpartner Wien Energie und AIT haben bereits erfolgreich gemeinsam realistische Feldversuche mit längerer Dauer und mit tatsächlichen NutzerInnen organisiert und durchgeführt (insbesondere im Rahmen des Smart City Demo Aspern Projektes). In Aspern lag der Fokus der Projektarbeit auf der Schaffung und Erforschung von zentral gemanagten Infrastrukturen, in diesem Projekt sollen diese Erkenntnisse in Richtung dezentraler Peer-to-Peer-Ansätze und ad-hoc Interaktionen ausgeweitet und überprüft werden. In einem ersten, begrenzten Testprojekt hat Wien Energie unter Verwendung von Standard-Crypto Tags und der Software von RIDDLE&CODE die Datenhaltung von Zählerdaten in der Blockchain evaluiert. Die Blockchain wird von vielen Energieversorgungsunternehmen wegen ihrer Sicherheit und Transparenz als fundamental relevante Technologie für komplizierte Abrechnungsprozesse, die mehrere Parteien inkludieren, angesehen. Allerdings ging diese Erst-Evaluation nicht über eine oberflächliche Integration hinaus, es wurden die Zählerdaten, nach wie vor, durch Teams vor Ort ausgelesen und dann mittels einer App über die Schnittstelle des einzuscannenden Crypto-Chip-Aufklebers in die Blockchain übertragen und abgelegt. Basierend auf diesen ersten Erfahrungen und der zunehmenden Aktivität in der Energiebranche in der Anwendung von Blockchain-Lösungen, wird in diesem Projekt auf der nächsthöheren Ebene von der Datenablage hin zur Applikationsentwicklung und dem komplexen Peer-to-Peer-Wertetransfer fortgesetzt.

### **3.3. Projektziele**

Das hauptsächliche Projektziel von Peer2Peer im Quartier ist die Entwicklung einer Infrastruktur, die einerseits lokal den PV-Eigenverbrauch steigert, sowie den Einsatz des elektrischen Speichers im Quartier optimiert. Andererseits wird versucht, Spitzenbelastungen im Stromnetz zu vermeiden beziehungsweise Zeiten mit überdurchschnittlich hoher Erzeugungsleistung bestmöglich zu nutzen.

Eine zusätzliche Fragestellung im Projekt bezieht sich hierbei auf die gegenseitige Beeinflussung zwischen dem Optimum auf Quartiersebene und dem optimierten Verhalten aus Verbrauch und Erzeugung der teilnehmenden EndkundInnen. Die Umsetzung erfolgt auf drei Ebenen: 1. die Energie-Infrastruktur einer Energiegemeinschaft, 2. die darauf aufsetzende Blockchain und 3. Applikationen, die auf den Daten aus dieser Blockchain aufsetzen. Durch den Einsatz der Blockchain-Technologie werden automatisierte Abrechnungen erstellt, die eine genaue Auflistung der Erzeugungs- und Verbrauchsdaten beinhalten. Diese Daten werden den NutzerInnen über das eigens entwickelte User Interface zur Verfügung gestellt.

Die Projektziele von Peer2Peer im Quartier decken sich in hohem Maße mit den oben erwähnten Zielen der Europäischen Kommission. Basierend auf Erfahrungen aus den beschriebenen Vorprojekten und der steigenden Aktivität von Blockchain-Lösungen in der Energiebranche, hat sich das Konsortium zum Ziel gesetzt, mit diesem Projekt eine führende Position als innovativer Technik-Anbieter im Sinne der ProsumerInnen erlangen, beginnend bei der Datenablage bis hin zur Applikationsentwicklung und dem komplexen Peer-to-Peer-Wertetransfer.

# 4 Projektinhalt

## 4.1. Implementierung

### 4.1.1. Entwicklung von umfassenden, innovativen Technologie-Service-Angeboten

Ziele dieses Projekts sind die Bewerkstelligung eines Peer-to-Peer-Energiehandels unter der Berücksichtigung von 1:1 bis hin zu n:m-Beziehungen sowie die Analyse und Optimierung vom Eigenverbrauch im Quartier. Durch die Unterstützung einer n:m-Beziehung, kann die Aggregation mehrerer Erzeuger auf Quartiersebene unterstützt und dadurch wesentliche Synergien erschlossen sowie attraktive Geschäftsmodelle für PV-ProsumerInnen genutzt werden.

Um diese Ziele zu realisieren, werden Bedürfnisse der NutzerInnen schon während der Entwicklung von Peer-to-Peer und Eigenverbrauchsanwendungen sowie Blockchain-Technologien berücksichtigt. Dabei ist ein Schwerpunkt die Konzeption und Entwicklung von BenutzerInnenschnittstellen (User Interface), sodass die Anwendungen leicht und verständlich bedienbar sind. Um auf die Bedürfnisse effektiv eingehen zu können, werden die AnwenderInnen in drei Gruppen kategorisiert: Privatperson, gewerbliche Anbietende und Netzbetreibende. Jede dieser NutzerInnengruppen hat ihre eigene Motivation, Erwartungen und Bedürfnisse an die Verwendung von Peer-to-Peer-Beziehungen und von Eigenverbrauchslösungen. Zum Beispiel möchten Privatpersonen, die für ihren Haushalt Stromkosten ohne Komfortverlust einsparen wollen, unterschiedlich zugeschnittene Angebote hinsichtlich ihrer Verbrauchsgewohnheiten einholen. Beim Handel und Verkauf der eigens erzeugten und überschüssigen Energie erwarten ProsumerInnen eine einfache und sichere Möglichkeit zur Abwicklung der Geschäfte. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Motivationen und Bedürfnisse der unterschiedlichen Nutzergruppen und die geplante Berücksichtigung im Projekt.

NutzerInnen	Motivation & Bedürfnisse	Berücksichtigung im Projekt
<b>Haushalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten senken</li> <li>• Komfort behalten bzw. verbessern</li> <li>• Einfache Handhabung</li> <li>• Kostentransparenz</li> <li>• Vertrauen und Sicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anbieter und Angebote vergleichen</li> <li>• Direkte Transaktionen</li> <li>• Transparente Gestaltung der Abläufe</li> <li>• Direktes Feedback</li> </ul>
<b>Photovoltaik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale Nutzung der PV-Erzeugung</li> <li>• Netzauslastung bei hoher Einspeisung reduzieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigenverbrauchsoptimierung</li> <li>• Peer-to-Peer-Handel über Applikationen</li> </ul>
<b>Energie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance zwischen Erzeugung und Verbrauch herstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigenverbrauchsoptimierung</li> <li>• Peer-to-Peer-Handel über Applikationen</li> </ul>
<b>Netzbetreiber</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleichmäßige Lasten</li> <li>• Vermeidung von Lastspitzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostenoptimierung</li> <li>• Kundenzufriedenheit</li> </ul>

Tabelle 1: Berücksichtigung der Anforderungen der NutzerInnen

#### 4.1.2. Testumgebungen & Umfeldanalyse

Der Proof of Concept (POC) wird im Viertel Zwei durchgeführt, einem Stadtentwicklungsgebiet zwischen dem Campus der neuen Wirtschaftsuniversität Wien und der Trabrennbahn Krieau. Dort arbeitet Wien Energie eng mit der Fa. Vienna Marketing- & Energycontracting AG (VMEC) zusammen. Die VMEC betreut im Viertel Zwei die PilotkundInnen und ist Kommunikationsschnittstelle zwischen den lokalen Infrastrukturbetreibenden und den KundInnen. Die Zielgruppe für den POC sind die BewohnerInnen von 91 Wohneinheiten im Studio-Gebäude und von 201 Wohneinheiten in den Rondo-Bauten sowie die im Viertel Zwei vorhandene Infrastruktur. Diese Infrastruktur sind bestehende PV-Anlagen auf den Studiowohnungen, sowie der im Viertel Zwei installierte Quartierspeicher.

Die Projektumfeldanalyse beinhaltet die StakeholderInnen des Projekts. Nachfolgend werden Aufgaben, Erwartungen sowie Herausforderungen an das Projekt und deren Ergebnisse und Entwicklungen angeführt.

Projektteam: Das Projektteam entwickelt die Blockchain-basierten Anwendungen, rollt diese auf Quartiersebene aus (Viertel Zwei) und stellt sicher, dass es zu keinen negativen Auswirkungen auf Ebene der KundInnen in der Phase des Proof of Concept kommt.

Quartiersmanagement und Immobilienprojektentwicklungsgesellschaft: Durch die Entwicklungen kann eine Steigerung der Attraktivität des Viertels sowie eine erhöhte Interaktion mit den BewohnerInnen erwartet werden.

Fördergeber: Der Fördergeber erwartet vom Projektteam die Umsetzung der festgelegten Ziele unter Einhaltung der geplanten zeitlichen und finanziellen Ressourcen.

Netzbetreiber: Der Netzbetreiber ist verantwortlich, sicherzustellen, dass die Peer-to-Peer-Anwendungen zu einem akzeptablen Verhalten an der Netzübergabestelle führen. Des Weiteren ist er

in die Ausarbeitung der Geschäftsmodelle und Applikationen über Gebührenstruktur (Zeitabhängigkeit, Verhältnis Leistung/Arbeitspreis/Fixkosten) eingebunden.

Infrastrukturbetreiber und Energieversorgungsunternehmen: Der Infrastrukturbetreiber erwartet durch die Entwicklungen im Projekt eine optimale Ausnutzung der Infrastruktur (PV-Anlage, Speicher, etc.) und fungiert als Reststromlieferant für Prosumer in Zeiten, in denen sich Eigenerzeugung und -verbrauch nicht decken.

AnrainerInnen/ProsumerInnen: Den ProsumerInnen soll eine einfache Teilnahme am Energiehandel sowie ein potentieller Ausstieg davon ermöglicht werden („easy-in/easy-out“). Des Weiteren sollen deren Eigenverbrauch optimiert und Kosteneinsparungen erzielt werden.

Regulator und Behörden: Regulatoren und Behörden beeinflussen die Definition der Geschäftsmodelle und Applikationen über die bestehende Abgabenstruktur (Zeitabhängigkeit, Verhältnis Leistung/Arbeitspreis/Fixkosten). Gesetze und Verordnungen bilden die rechtlichen Rahmenbedingungen des Projekts.

## 4.2. User Interface Entwicklung

Im Rahmen des Projektes wurde ein User Interface für die optimierte Interaktion der NutzerInnen mit dem System umgesetzt. Das Design hat sich am Design des bestehenden Urban Pioneers Community Interfaces (UPCI) orientiert, um einen flüssigen Übergang zwischen den Systembereichen zu gewährleisten. Dazu zählen die Buttons, Farben und das Kacheldesign.

Das User Interface besteht aus folgenden Bereichen (siehe auch Screenshots dazu in Abbildung 1):

### DASHBOARD

Das Dashboard zeigt den NutzerInnen den Verbrauch, die Photovoltaik-Produktion und den Speicher der letzten Woche an. Wird auf einen Graphen geklickt, öffnet sich die Detailansicht im Statistik-Tab. Im Dashboard ist ansonsten keine Interaktion mit den Graphen möglich.

### OPTIMIERUNG

Hier können Einstellungen zur Optimierung getroffen werden. Wie die Optimierungseinstellungen exakt aussehen, wird durch das Center for Energy im AIT entschieden.

Noch nicht im ersten Release enthalten: An- und Abwesenheitserkennung mit GPS und Wi-Fi, da diese im Hintergrund nur in einer Applikation möglich sind.

### NUTZERINNENDETAILS

Hier werden Details zu den NutzerInnen und zur Wohnung angezeigt. Der Umfang dieser Details ist noch zu klären. Unter Umständen gibt es nur sehr wenige Details. Will der Nutzer mehr Details sehen, muss er ins UPCI zurück.

### STATISTIK

Hier werden genauere Graphen als im Dashboard angezeigt. Diese enthalten Verbrauch mit Vergleich zu NachbarInnen, Verbrauch im Hinblick auf die Herkunft des Stroms, Photovoltaik-Produktion und -Nutzung, Speicherstand, Aus- und Eingänge des Speichers.

## ENERGIEFLUSS UND TRANSAKTIONEN

Alle Transaktionen und/oder Energieflüsse werden hier angezeigt. Alle Transaktionen werden in der Blockchain dargestellt. Dazu zählen Transaktionen innerhalb der Community zwischen allen StakeholderInnen (zum Beispiel von der PV-Anlage zu den Haushalten sowie zwischen den Teilnehmenden).

## ÜBERSICHT

In der Übersicht werden Transaktionen und Energieflüsse in einer Grafik dargestellt. Hier werden das Haus, der Speicher, die PV-Anlage, das Netz, die Community sowie der eigene Verbrauch angezeigt. Zwischen diesen Komponenten werden mit Hilfe von Verbindungen und Pfeilen die Energieflüsse dargestellt.

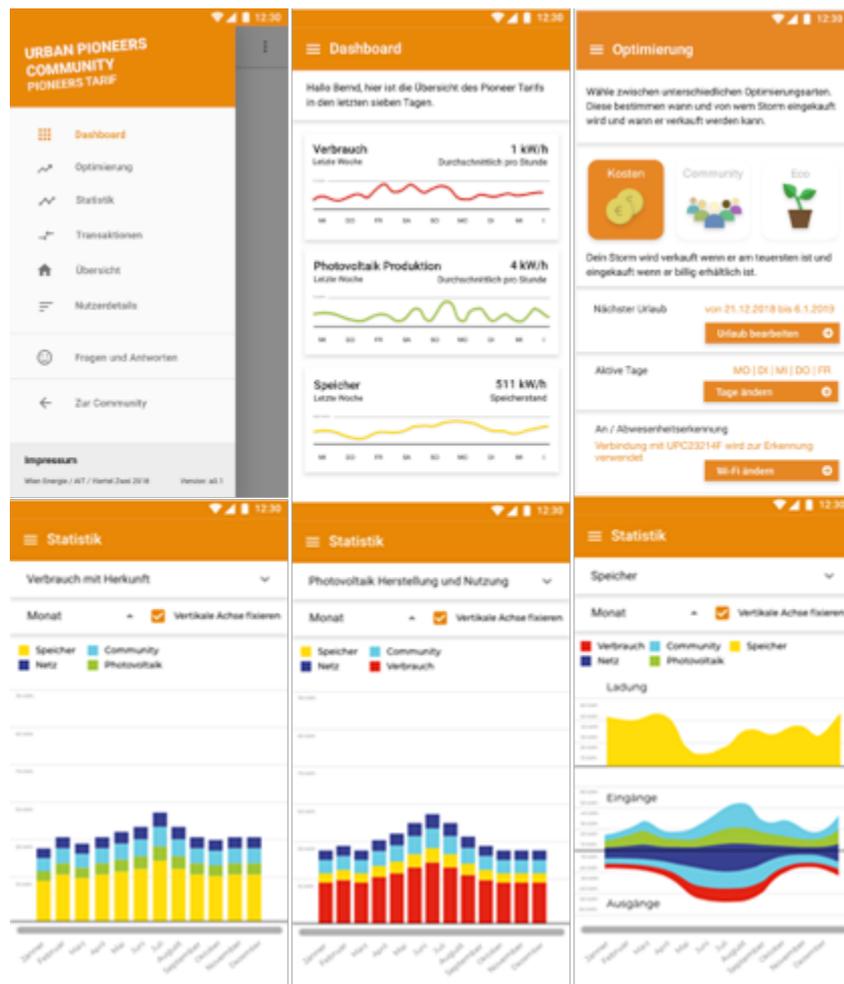


Abbildung 1: AIT User Interface

### 4.3. Business Logic

Im Rahmen des Projekts wurde eine Business Logic entworfen und umgesetzt, welche für die Verarbeitung der aktuellen Messwerte, die Berechnung der Verbrauchs- und Lastprognosen sowie für die Optimierung der Energieflüsse und -kosten verantwortlich ist (siehe Abbildung 2).

Es können Konfigurationsdaten eingestellt (z.B. beim Ausrollen der Business Logic in einer neuen Energiegemeinschaft oder für das Aktualisieren der kundInnenspezifischen, technischen, oder wirtschaftlichen Parameter) und die Berechnung der Quartiersoptimierung gestartet werden. Da sowohl in der Business Logic Zeitreihen (sowohl historisch als auch als Ergebnis der Prognose) verwendet werden, wird eine lokale Datenbank für die Speicherung dieser Werte verwendet. Zusätzlich kann dadurch der Datenaustausch mit externen Komponenten reduziert werden.

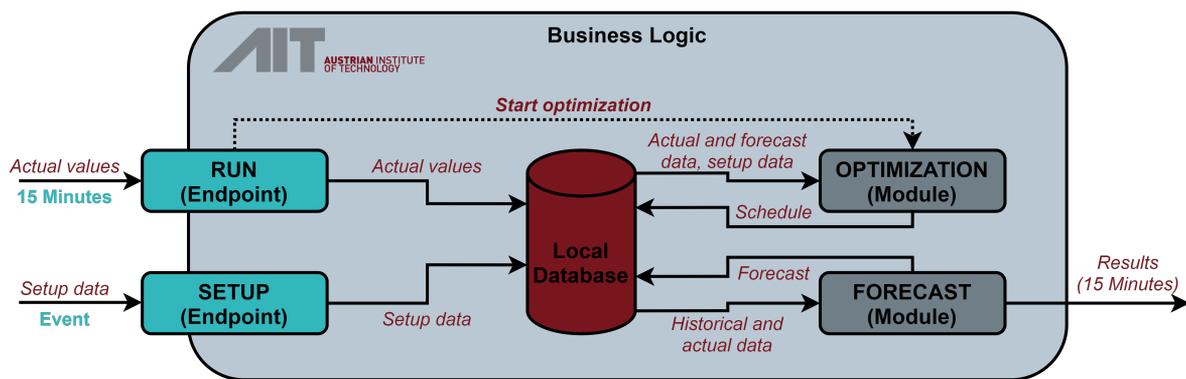


Abbildung 2: AIT Business Logic

#### 4.3.1. Prognose

Für die Verbrauchprognose von Einzelhaushalten wurden unterschiedliche Machine Learning (ML) Modelle untersucht, mit dem Ziel das charakteristische Verbrauchsverhalten von Einzelhaushalten basierend auf deren historischen Verbrauchszeitreihen zu erlernen und anschließend Zeitreihen über zukünftiges Verbrauchsverhalten mit möglichst hoher Genauigkeit zu prognostizieren. Dabei spielen sowohl die exakte Menge der Gesamtenergie über den Prognosehorizont als auch die einzelnen Leistungswerte pro Zeitschritt eine wesentliche Rolle, da die Optimierung auf Basis der Prognosen den Fahrplan für die steuerbaren Komponenten (z.B. Gemeinschaftsspeicher im Quartier) berechnet.

Als Vorhersagemethodik wurde ein rekursiver Ansatz gewählt. Hierbei nutzen die Modelle ihre eigene Vorhersage des Energieverbrauchs für den nächsten Zeitschritt, um den nächsten Modell-Input zu generieren und formen somit schrittweise die Prognose für den gewünschten Vorhersagehorizont von 24 Stunden. Es wurden insbesondere Neuronale Netze (NN) und Histogram Gradient Boosting Regression (HGBR) Modelle auf die Prognosequalität untersucht. Als Vergleichsmodelle wurden außerdem Support Vector Machines (SVM) und Lineare Regression (LR) Modelle hinzugezogen, um eine Gegenüberstellung von relevanten ML-Modellen zu erreichen. Die Vergleichsmodelle (SVM und LR) erzeugten für die meisten Haushalte geglättete und im Fall der LR-Modelle Verbrauchsprofile mit durchgängig niedriger Leistung (ohne signifikante Lastspitzen). Neuronale Netze erzeugten teilweise unrealistische (explodierende oder negative) Verbrauchsprognosen – unter anderem dann, wenn der Vorhersagehorizont eine Dauer von 16 Stunden überschreitet. HGBR Modelle lieferten hingegen stabile Prognosen und erzeugen selbst bei längeren Vorhersagezeiträumen realistische

Verbrauchprofile. Letztendlich wurde somit ein HGBR Modell als Vorhersagemodell gewählt, da es robustere Prognose liefert als die anderen Modelle.

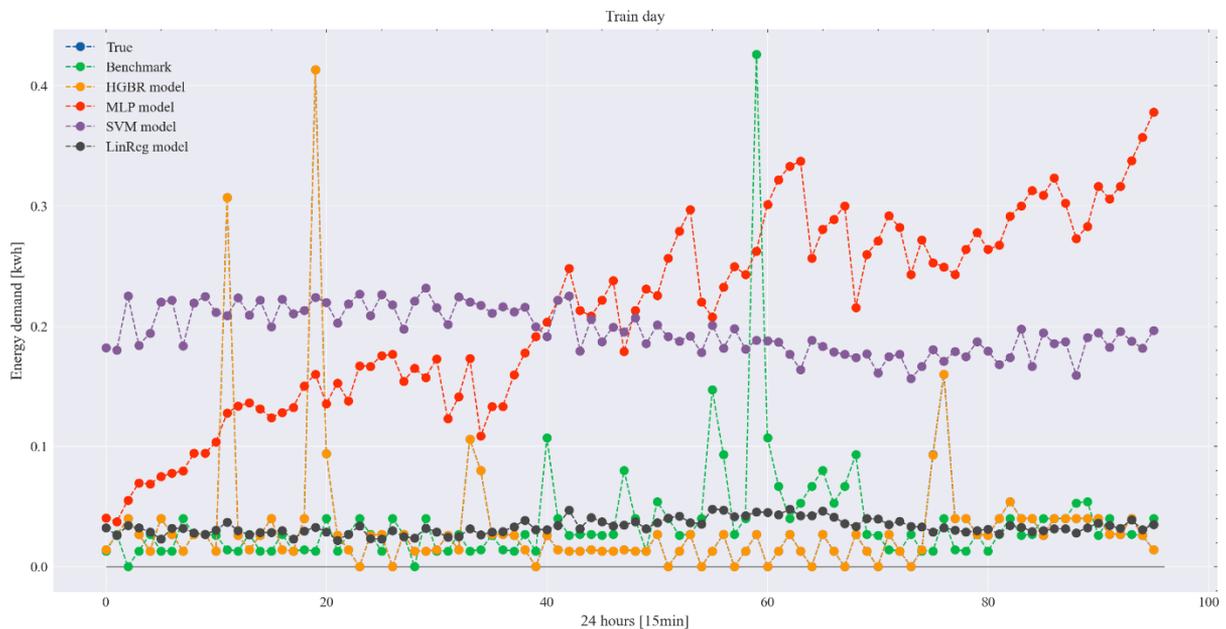


Abbildung 3: Übersicht der Modelle auf den Trainingsdaten

Das HGBR Modell ist eine Modifikation des LightGBM Algorithmus und ist in der Python sklearn Bibliothek verfügbar. Die Grundidee des Modells ist es mittels eines Zusammenschlusses von vielen Einzelmodellen (meist abgebildet durch Decision Trees) ein robustes und genaues Gesamt-Modell zu erzeugen. Hierbei bauen, ausgehend von einem initialen konstanten Startwert, die Einzelmodelle auf den Fehlern aller Vorgängermodelle auf, um so dem Zielwert schrittweise näher zu kommen. Weiters werden bei einem HGBR Modell die Eingangsvariablen diskretisiert, was einen regulierenden Effekt auf die Prognose hat. Dieses Diskretisieren der Eingangsvariablen kann aber zu leicht negativen Prognosen führen, da die große Mehrheit der Datenpunkte für die meisten Haushalte in einem niedrigen Energiebereich liegt. Die genaue Funktionsweise des Modells wird über dessen Hyperparameter und die zu minimierende Fehlerfunktion, sowie die Trainingsdaten bestimmt. Abbildung 3 (Trainingsdaten) und Abbildung 4 (Testdaten) zeigen Prognosezeitreihen der unterschiedlichen Modelle für 17 Einzelhaushalte über einen Zeitraum von 2 Jahren (2018 bis 2020), wobei 75 % der Daten für das Training der Modelle und 25 % für die Evaluierung der Ergebnisse eingesetzt wurden. Zusätzlich wurden die Trainingsdaten vorab auf Plausibilität geprüft und fehlerhafte bzw. unvollständige Daten aus dem Datensatz entfernt.

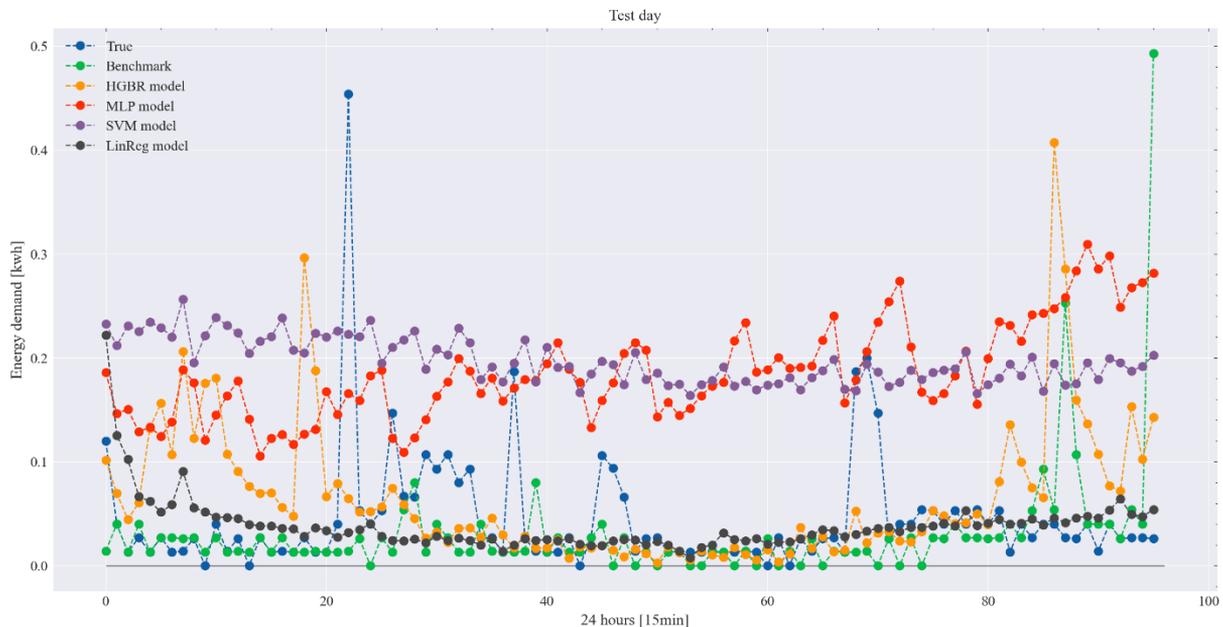


Abbildung 4: Übersicht der Modelle auf den Testdaten

### 4.3.2. Optimierung

Das Ziel der Optimierung ist die Gesamtenergiekosten im Quartier zu minimieren – unter Nutzung der vorhandenen steuerbaren Komponenten und unter Berücksichtigung der lokalen Erzeugung, des lokalen Verbrauchs sowie der vorhandenen Preisinformationen. Die Optimierung des Energieaustauschs im Quartier basiert somit auf einer Reihe unterschiedlicher Daten:

- Prognose über die Erzeugung der Gemeinschafts-Photovoltaikanlagen
- Prognose über den Verbrauch der TeilnehmerInnen
- Prognose der Energiepreise für Netzbezug und Einspeisung
- Preisinformationen für Community-internen Energieaustausch (z.B. Bezug von der PV-Anlage, Energieaustausch zwischen Teilnehmern, etc.)
- Technische Parameter (z.B. nominale Leistung der Komponenten, Ladezustand der Batterie, etc.)
- Weitere Informationen über die Wohnungsgröße, Anzahl der Personen pro Haushalt, etc.

Die Prognosen über Erzeugung, Verbrauch und Preise stellen einen relevanten Teil der Optimierung dar, da zukünftige Ereignisse innerhalb des Quartiers bereits Auswirkungen auf die nächsten Zeitschritte haben können (z.B. Steuerung der Batterie aufgrund von prognostizierten Lastspitzen in der Erzeugung oder im Verbrauch). Im Zuge der Implementierung wurden alle notwendigen Parameter und Eingangsgrößen bestimmt und in den Ziel- und Nebenbedingungen abgebildet. Zu den Entscheidungsvariablen und Rahmenbedingungen des Optimierers zählen unter anderem:

- Einhaltung der physikalischen Rahmenbedingungen (Lastfluss-Gleichung)
- Vollständige Nutzung der lokal erzeugten Energie (Bezug durch KundInnen, Weiterverkauf an TeilnehmerInnen, Speicherung, Einspeisung ins öffentliche Netz)
- Die Gemeinschaftsbatterie kann zu jedem Zeitschritt entweder geladen oder entladen werden, unter Einhaltung der nominalen Lade- und Entladeleistung sowie der Gesamtkapazität

- Die berechnete Lade- und Entladeleistung aller KundInnen muss innerhalb der Gesamtleistung liegen, ebenso die für die KundInnen genutzte Kapazität
- Die Summe aller Energieflüsse zwischen KundInnen muss 0 betragen.

#### Formel 1: Zielfunktion der Optimierung

$$\begin{aligned} \min C = & p_t^{\text{PV,buy}} \cdot P_{t,k}^{\text{PV,buy}} + p_t^{\text{BAT,c}} \cdot P_{t,k}^{\text{BAT,c}} + p_t^{\text{BAT,d}} \cdot P_{t,k}^{\text{BAT,d}} + p_t^{\text{GRID}} \cdot P_{t,k}^{\text{GRID}} - p_t^{\text{PV,feed}} \cdot P_{t,k}^{\text{PV,feed}} \\ & + p_{t,k,k}^{\text{TRADE}} \cdot \sum_{\kappa \neq k} P_{t,\kappa,k}^{\text{TRADE}} - p_{t,k,k}^{\text{TRADE}} \cdot \sum_{\kappa \neq k} P_{t,k,\kappa}^{\text{TRADE}}, \quad \forall t \in T, k \in K \end{aligned}$$

Formel 1 stellt die Zielfunktion der Optimierung dar. Preisinformationen werden durch „p“ dargestellt, Leistungswerte durch „P“. Community-PV und Community-Batterie werden durch „PV“ bzw. „BAT“ (hochgestellt) signalisiert, der Netzbezug und die Einspeisung durch „GRID“ und „TRADE“ signalisiert den Energiehandel zwischen den TeilnehmerInnen. Laden und Entladen werden durch „c“ bzw. „d“ dargestellt. Die Gleichung gilt für jeden Zeitschritt „t“ sowie für alle KundInnen „k“.

Sowohl Optimierung als auch Prognose erzeugen Zeitreihen für einen Horizont von 24 Stunden und mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten. Die Ergebnisse der Optimierung enthalten somit einen Fahrplan für die Steuerung der Batterie, die Nutzung der EV-Ladeinfrastruktur, sowie für die Energieflüsse innerhalb der Gemeinschaft (zwischen KundInnen, zwischen PV und KundInnen, zwischen Batterie und KundInnen) für die nachfolgenden 24 Stunden und werden über die Blockchain im Quartier zur Verfügung gestellt.

## 4.4. Blockchain

Der Kern der Anforderungen der im Rahmen des Projektes entwickelten und getesteten Blockchain Architektur, war das Einbinden der verschiedenen Datenquellen und TeilnehmerInnen am Gesamtsystem. Daher wurde ein Ansatz gewählt, der einerseits die technischen Dimensionen richtig beschreibt und andererseits die NutzerInnenseite und StakeholderInnen miteinbezieht. Die Auswahl der gewählten Systeme spiegelt dabei die laufende Erfahrung von Riddle & Code mit den verschiedenen verfügbaren Blockchain Systemen am Markt wider.

Aufgrund des inhärenten Designs der meisten Blockchain auf einem Proof of Work – einem Verfahren mittels dessen die Integrität der Blockchain aufgrund komplexer mathematischer Berechnungen sichergestellt wird – kommen die prominentesten Vertreter namentlich Bitcoin sowie Ethereum für den Einsatz in diesem Anwendungsfall nicht in Betracht. Beide Systeme verarbeiten durchschnittlich 4,7 bis 30 Transaktionen pro Sekunde. Zusätzlich sind alle Transaktionen kostenpflichtig. Die Kosten für einen Betrieb des Peer 2 Peer Projektes auf einer dieser öffentlichen Blockchains wäre zudem nicht im Verhältnis mit den Vorteilen einer öffentlich dezentralen Lösung gestanden.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde ein System benötigt, das die Geschwindigkeit und den Durchsatz an notwendigen Transaktionen bewältigen kann, bei gleichzeitiger effizienter Nutzung der eingesetzten Energie - sowie die Transparenz und die Datenintegrität sicherstellt.

Die Auswahl beschränkte sich daher auf ein System, das in der Lage ist, diese Anforderungen abzubilden. Die Entscheidung fiel letztendlich zugunsten einer Lösung basierend auf BigChainDB<sup>22</sup>. Dieses System nutzt einen energieschonenden Mechanismus des Proof of Stake, um die Integrität der Blockchain selbst sicher zu stellen. Diese Art von Blockchain ermöglicht einen markant höheren Durchsatz, ist kryptographisch abgesichert und aufgrund des privaten, konsortialen Charakters der Netzwerktopographie auch datenschutzrechtlich im Einklang mit den gängigen Normen.

Als Kernelement fungierte die Integration der BigCHAINDB als sicherer Datenspeicher und Ausgangsbasis für alle Optimierungen der Energieflüsse sowie in weiterer Folge die darauf aufbauenden Kostenflüsse.

Exemplarisch soll die untenstehende Architektur in Abbildung 3 die Komplexität der Komponenten veranschaulichen:

---

<sup>22</sup> <https://www.bigchaindb.com/whitepaper/bigchaindb-whitepaper.pdf> [10.02.2021]

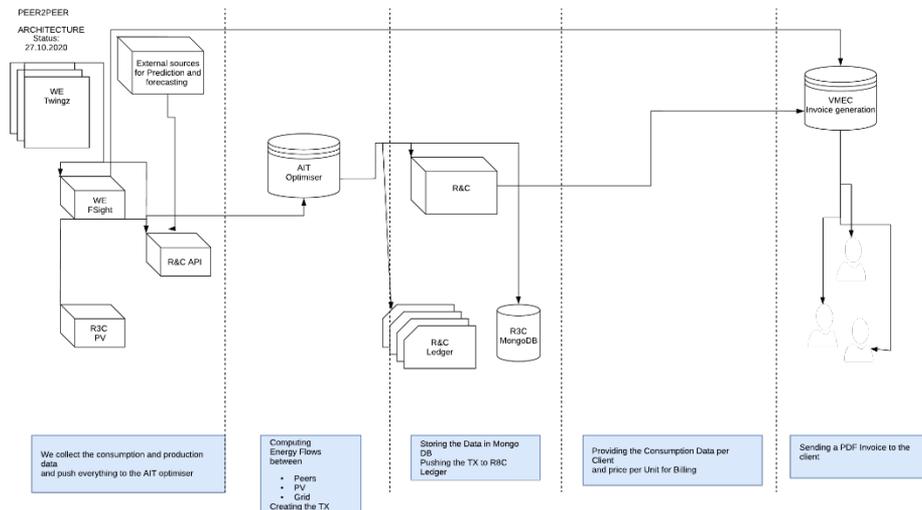


Abbildung 5: Gesamtsystem Architektur

Die entwickelte Architektur deckt dabei alle Aspekte des Forschungsgegenstandes ab und konnte im Verlauf des Projekts ihre Vorzüge zur Geltung bringen.

## 4.5. Umsetzung im Viertel Zwei – Tarifentwicklung

Die Umsetzung erfolgte im übergeordneten Pilotprojekt ‚Urban Pioneers Community‘ im Viertel Zwei. Im Zuge dessen wurden den PilotkundInnen die Teilnahme als einer von drei neuartigen Strom-Pilottarifen ermöglicht. Wie bei den anderen Themenbereichen wurde auch für die Vorbereitung der Tarife Co-Creation Workshops abgehalten, um die enge Zusammenarbeit mit den teilnehmenden BewohnerInnen des Viertels sicher zu gewährleisten. Für P2PQ waren dabei insbesondere die Workshops zu den Themen Tarifgestaltung und Blockchain relevant.

### 4.5.1. Tarifworkshop am 23.05.2018

Beim Tarifworkshop wurde die grundlegende Gestaltung bestehender Stromtarife diskutiert und die Erwartungen aus KundInnenperspektive erarbeitet. Dabei hat sich rasch gezeigt, dass auch bei den generell eher überdurchschnittlich interessierten TeilnehmerInnen des Projektes die Kosten ein wichtiger Faktor sind. Dabei wird neben möglichst geringen Preisen aber auch eine gewisse Stabilität gewünscht. Als zweites großes Kriterium werden transparente Informationen über den Preis und seine Zusammensetzung genannt sowie die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Angeboten vergleichen zu können. In diesem Zusammenhang zeigt sich auch ein Interesse an der Nachvollziehbarkeit der Stromherkunft. Nachhaltigkeit und die Herkunft aus erneuerbaren Energieträgern haben sich hier als wichtige Argumente herausgestellt, solange die gewohnt hohe Versorgungssicherheit gegeben bleibt. Grundsätzlich wird elektrischer Strom aber als ‚Commodity‘ gesehen, die vor allem praktisch und bequem sein muss – ohne die Notwendigkeit, sich damit beschäftigen zu müssen. Dabei wird die digitale Abwicklung der Kommunikation, beispielsweise in Form von elektronischen Rechnungen als wichtiges Werkzeug gesehen.

Die Kritikpunkte der bestehenden Stromtarife lassen sich in vier Bereiche clustern. Hinsichtlich **Rechnung und Kosten** werden automatische Anpassungen sowie die relativ langen Zeiträume von 12

Monaten zwischen Abrechnungen, die zu unvorhergesehenen Nachzahlungen führen können, als besonders problematisch gesehen. Dazu werden auch die Netzgebühren und die oft getrennten Rechnungen für Strom und Netz sowie unflexible Bindungen als wenig nutzerfreundlich angesehen. **Kommunikation und Informationen** sind essenzielle Handlungsfelder, die sicherstellen müssen, dass Stromtarife verständlich und übersichtlich sind. Ein grundlegendes Problem dabei ist oft das fehlende Grundverständnis von den alltäglichen Verbräuchen bzw. was eine kWh überhaupt in der Praxis bedeutet. Eine Reduktion der unnötigen Korrespondenz und Konzentration auf das Wesentliche soll dabei helfen, Zeit zu sparen und das Interesse und Verständnis zu erhöhen. Dies drückt sich auch beim **Aufwand** aus, der dezidiert als Hürde für Tarif- oder Anbieterwechsel genannt wird und sich auch bei Wohnsitzwechsel zeigt. Der finale Punkt ist das lediglich gering ausgeprägte Vertrauen. Zum einen geht es dabei um die Nachweise von Ökostrom, die sich von einigen Teilnehmenden nur unzureichend nachvollziehen lassen, und andererseits wird der Markt mit vielen verschiedenen Anbietern, die sich aber nur in Details voneinander unterscheiden als intransparent und abstrakt wahrgenommen.

Bei der künftigen Tarifgestaltung wird vor allem auf einen möglichst geringen Grundpreis Wert gelegt. Auch zeitabhängige Tarife vergleichbar mit dem klassischen Nachtstrommodell sind als Grundform vorstellbar. Über den laufenden Verbrauch sollen möglichst in Echtzeit informiert werden, etwa per Monitoring-App, die neben den aktuellen Preisen und Kosten auch auf besonders große Verbraucher oder außergewöhnliche Verbrauchsmuster hinweisen kann. Wie bereits bei den Kritikpunkten angeführt ist die Transparenz und das überprüfbare und nachvollziehbare Preismodell ein wichtiger Punkt.

#### **4.5.2. Der Pioneers Stromtarif**

Aufbauend auf den in den Workshops gewonnenen Erkenntnissen wurde der dem P2P-Projekt zugrundeliegende Tarif entwickelt. In der Vorläuferversion wurde allen Teilnehmenden die Produktion eines Anteils einer lokalen PV-Anlage von 1kWp zugewiesen, welche diese zu einem günstigeren Gesamtpreis als den Reststrom aus dem Netz beziehen konnten. Überschüssige Energie konnten sie allerdings nicht nutzen. Dieses Grundgerüst wurde im Zuge des Projektes P2PQ erweitert und um die Peer-to-Peer-Komponente ergänzt. Damit sollte die lokale, gemeinschaftliche Stromnutzung der PV-Produktion maximiert werden.

In dieser weiterentwickelten Form wird die Nutzung der Produktion des zugeordneten PV-Anteils weiterhin ermöglicht, die Überschüsse werden innerhalb der Gemeinschaft der anderen PilotkundInnen mit dem Pioneers-Tarif gehandelt. In monatlichen Abrechnungen werden die Transaktionen aufgerechnet. Dem Workshopfeedback entsprechend, beinhaltet der Tarif keinen Energie-Grundpreis, sondern lediglich verbrauchsabhängige Komponenten. Damit wird nur die verbrauchte Energie verrechnet. Lediglich die Netzentgelte beinhalten einen fixen Grundpreis. Die folgende Tabelle zeigt die Preiszusammensetzung für den Forschungstarif.

	Energiepreis exkl. 20 % USt.	Netzentgelt exkl. 20 % USt.	Abgaben exkl. 20 % USt.	Gesamtpreis inkl. 20 % USt.
<b>Grundpreis in Euro/Monat</b>	0,0000	2,5000	0,0000	3,1800
<b>Verbrauchspreis Netzbezug in Cent/kWh</b>	9,2339	3,8270	2,7120	19,8679
<b>Verbrauchspreis PV-Anlage in Cent/kWh</b>	9,9000	0,0000	1,5000	13,6800

Tabelle 2: Ausgestaltung des Pilottarifes

Als Argumente für den Tarif sprechen aus der Sicht der KonsumentInnen neben dem nicht vorhandenen Energie-Grundpreis auch die Möglichkeit der Nutzung von Strom aus lokaler und nachhaltiger Erzeugung, die monatliche, vom aktuellen Verbrauch abhängige Verrechnung sowie die Erhöhung der Effizienz der Stromnutzung aus erneuerbaren Quellen durch die gemeinschaftliche Nutzung.

Das Ziel der Tarifgestaltung war einerseits eine klare Abrechnung der bezogenen Energiemengen zu liefern und gleichzeitig die Nachvollziehbarkeit für die PilotkundInnen bestmöglich zu gewährleisten. Diese Konzentration auf die leistungsabhängigen Komponenten stellt im bestehenden Produktportfolio von Wien Energie eine Neuheit dar. Die Wirkung wird allerdings aufgrund der zu berücksichtigenden Netzentgelte, Steuern und Abgaben, die unveränderbare verbrauchsunabhängige Positionen beinhalten, nicht gänzlich erreicht.

Der Pioneers-Tarif stellt durch diese Eigenschaften einen spannenden Kontrast zu den beiden anderen im Viertel Zwei pilotierten Stromtarifen dar, bei welchen eine verbrauchsunabhängige Flatrate sowie ein zeitzoneabhängiger Verbrauchspreis angeboten werden. Obwohl ein Wechsel zwischen den Tarifmodellen mit jedem Monatswechsel möglich war, hat während der Projektlaufzeit von dieser Möglichkeit keiner der PilotkundInnen Gebrauch gemacht.

#### 4.5.3. Blockchain aus der NutzerInnenperspektive

Auch bei der Vorbereitung der Implementierung mittels Blockchain wurden interessierte PilotkundInnen im Zuge eines Co-Creation Workshops am 18.09.2018 beteiligt. Die Ziele waren den Wissensstand der Teilnehmenden zum Thema zu identifizieren, verschiedene Vermittlungsvarianten zu testen, ein emotionales Stimmungsbild über das Gebiet und mögliche Anwendungen zu erhalten. Dabei wurden konkrete Anwendungsfelder erarbeitet und zwei zuvor entwickelte Szenarios getestet.

Es hat sich herausgestellt, dass die wenigsten PilotkundInnen persönlich bereits mit Blockchain-Anwendungen zu tun hatten und sich auch nur ein sehr geringes bis geringes Wissen zuschreiben. Dennoch wird der Einfluss, den diese Technologie in Zukunft auf unser Leben haben wird als stark eingeschätzt. Das persönliche Interesse der TeilnehmerInnen wird überwiegend durchschnittlich

eingeschätzt, ein Drittel informiert sich aktiv zum Thema. Die beliebtesten Informationskanäle sind dabei Social Media, Blogs und Websites im Allgemeinen vor Zeitungen oder Zeitschriften und der persönliche Austausch mit FreundInnen und KollegInnen.

Die offene Diskussion möglicher Anwendungsfelder zeigt ein vielfältiges Bild. Die Highlights beinhalten neben offensichtlichen Anwendungen im Finanzbereich wie Bankgeschäfte oder Steuererklärungen über Immobilienverwaltung wie Schadensmeldungen bis hin zu Mobilitätsangeboten wie Car- oder Bikesharing, andere Sharingangebote für Gegenstände wie Werkzeuge und private Verträge beispielsweise bei Privatverkäufen oder Tauschbörsen.

Zusammengefasst zeigt sich bei den PilotkundInnen anfangs eine gewisse Skepsis, die sich aus der Kombination von geringem Wissen und der hoch eingeschätzten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkung der Technologie ergibt. Einige Aspekte werden positiv eingeschätzt, es existieren allerdings auch einige Vorbehalte. Blockchain wird als Backend-Technologie gesehen, die im Hintergrund arbeitet. Wenn die Funktionsweise nicht klar ist, können mehr Informationen zu größeren Unsicherheiten führen, da die NutzerInnen das Gefühl haben, die Abläufe grundlegend verstehen zu müssen. Dies ist bei der Kommunikation von Informationen über zugrundeliegende Technologien von Angeboten zu berücksichtigen. Für diese Vermittlung haben sich visuelle und dynamische Darstellungen wie Animationen oder Videos als vorteilhaft gezeigt. Auch die Erklärung anhand von greifbaren und praktischen Beispielen können zu einem einfacheren Verständnis beitragen. Bei der Umsetzung ist daher vor allem auf die Auswahl der richtigen Kanäle, Formulierungen, Seriosität, etc. zu achten. Die Vorgehensweise, die sich daraus ergibt, folgt einem iterativen Ansatz auf Basis einer ausdefinierten Customer- bzw. User Journey sowie der fortgesetzten Einbeziehung der PilotkundInnen bei der Erstellung und Weiterentwicklung des Prototypen. Die Umsetzung im Projekt erfolgte unter Berücksichtigung der aus den Workshops gewonnenen Erkenntnisse sowie laufend eingeholter Inputs.

## 4.6. Evaluation

Um die Wirkung und Nützlichkeit der im Rahmen des P2PQ-Projekts entwickelten Konzepte und Ansätze zu evaluieren, wurden gezielte Evaluationsaktivitäten durchgeführt, die im Wesentlichen aus zwei verschiedenen Ansätzen bestanden.

Zum einen wurden während der gesamten Projektlaufzeit Daten über die Interaktion der BenutzerInnen mit dem System und den Zugriff darauf protokolliert und diese Daten anschließend detailliert analysiert, um die tatsächlichen Auswirkungen des Systems in realen Nutzungskontexten zu analysieren.

Zum anderen wurde zur Erhebung von subjektiven Eindrücken qualitative Interviews mit einer Auswahl an BenutzerInnen durchgeführt, um mehr Informationen über die Hintergründe, Ursachen und Beweggründe für deren Verhalten zu erfassen.

Als erstes werden die erhobenen Nutzungsdaten ausgewertet und dargestellt. Die Analyse der Nutzungsdaten zeigte dabei folgende Ergebnisse:

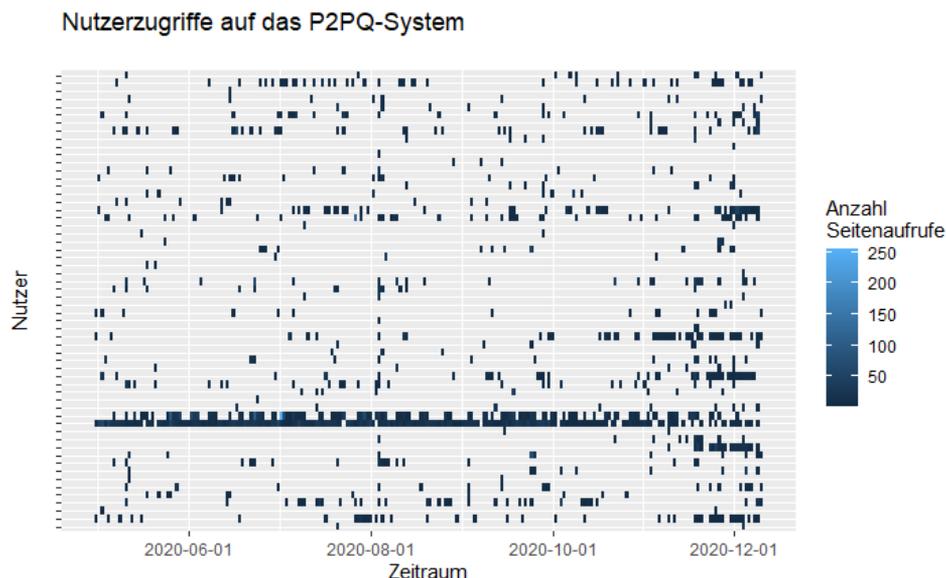


Abbildung 6: Darstellung der Zugriffe durch die PilotkundInnen

Die Grafik zeigt die Nutzung des Systems durch die teilnehmenden UserInnen in der Testphase. Es zeigt sich, dass ein Großteil der UserInnen sich zumindest gelegentlich in das System einloggt, und dass die Nutzung über einen langen Zeitraum nahezu konstant bleibt und kein ausgeprägter Novitäts-Effekt auftritt, das heißt die Nutzung nicht nach einer einmaligen Erprobung nach der Einführung stark abnimmt.

Bezüglich der aufgerufenen Seiten (siehe folgende Grafik) zeigte sich erwartungsgemäß das größte Interesse der NutzerInnen an Informationen bezüglich ihres Stromverbrauches, die detaillierte Darstellung der Handelsströme stieß im Vergleich dazu auf relativ geringes Interesse.

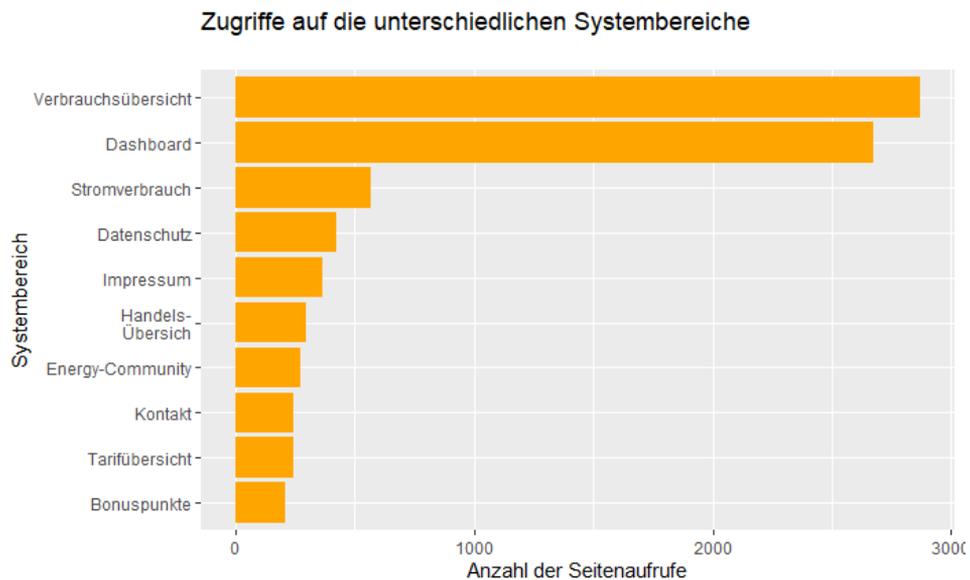


Abbildung 7: Verteilung der Zugriffe auf verschiedene Teilbereiche

Zur Vertiefung des Verständnisses wurden mit 4 ausgewählten NutzerInnen qualitative Interviews zur Nutzung des Systems und Ihren Eindrücken dazu durchgeführt. Die besprochenen Themen adressierten hierbei Nutzungsverhalten, UI-Gestaltung, Umsetzung und Gestaltung des P2P-Tarifes, Auswirkungen auf ihr Verhalten sowie allgemeine Anregungen und Verbesserungsvorschläge für das System. Die wesentlichsten Erkenntnisse aus den Interviews lassen sich in den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Die teilnehmenden UserInnen verwendeten das System typischerweise zwischen 1-mal pro Woche und 1-mal pro Monat
- Wesentliches Motiv für die Verwendung war die Kontrolle des Stromverbrauches
- Das User Interface und die Bedienung wurde im Allgemeinen als eher einfach zu verstehen und bedienen beurteilt
- Verbesserungsmöglichkeiten wurden vor allem in der Optimierung der Umsetzung für Smartphones gesehen
- Der P2P-Tarif wurde gut angenommen und positiv bewertet
- Insbesondere positiv erwähnt wurde, dass das Trading im Hintergrund abläuft und die NutzerInnen nicht eingreifen müssen
- Auswirkungen auf das Verhalten werden als eher gering bis nicht vorhanden beschrieben
- Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Preisunterschiede in der umgesetzten Tarifform für die InterviewpartnerInnen kein wesentliches Verhaltenssteuerungselement sind

Zusammenfassend kann hinsichtlich der Evaluation des Systems anhand der Verhaltensanalyse und der Interviewdaten festgehalten werden, dass der allgemeine Ansatz sowie die generelle Gestaltung des Systems positiv aufgenommen wurden. Die Nutzungsfrequenz des Systems ist nicht besonders ausgeprägt, bleibt aber über längere Zeiträume konstant. Die gewählte Umsetzungsform des automatisierten Handels im Hintergrund im Gegensatz zu einer aktiven Einbeziehung der NutzerInnen in den Handelsprozess wurde durch die Nutzerrückmeldungen bestätigt.

# 5 Ergebnisse

## 5.1. Einsatz der Blockchain

Die grundsätzlichen Erfahrungen im Zuge des Projektes zeigten die Vorteile und Möglichkeiten von Blockchain-gestützten Applikationen ebenso wie die Limitationen im Realbetrieb.

Ausgehend von einem unveränderbaren Speicher für Verbrauchs-, Produktions- und Settlement Daten der beteiligten TeilnehmerInnen am System zeigte sich die dringliche Notwendigkeit einer Harmonisierung der Datenquellen. In enger Abstimmung mit den ProjektpartnerInnen wurden Lösungen entwickelt, die sich im Betrieb als stabil und konsistent erwiesen. Ausgehend von den Systemen der ProjektpartnerInnen (Wien Energie für die Verbraucherdaten, AIT für die Optimierung der Energieflüsse) sowie dem Erzeugen von abrechnungsrelevanten Datensätzen konnte eine Blockchain-basierte Plattform geschaffen werden, die den Anforderungen eines sinnvollen und nachhaltigen Austausches von lokal generierter Energie gerecht werden konnte.

Die Systemarchitektur wurde im Testbetrieb eingehend angepasst, um den im Betrieb auftretenden Edge-Cases Rechnung zu tragen. Vordergründig galt es dabei einen Umgang mit fehlerhaften oder fehlenden Werten aus Teilsystemen zu finden. Insbesondere fehlende Verbrauchswerte stellten dabei die größte Anforderung ans System, die mittels Redundanzen in der Verarbeitung innerhalb der vorgelagerten Systeme Großteils begegnet werden konnte.

Aufseiten der Blockchain wurde dabei primär an der Verfügbarkeit der einzelnen Knoten (Nodes) gearbeitet und mithilfe des Ausbaus der vorgelagerten Systeme zum Erfassen der Daten vor Erzeugung von Blockchain Transaktionen die Datenbasis im Gesamtsystem markant verbessert. Mithilfe dieser Maßnahmen sowie dem Einbau eines Systems zur Darstellung fehlender Werte konnte die Transparenz sowie Genauigkeit im Gesamtsystem markant verbessert werden.

Das System in Zahlen	
<b>Beobachtungszeitraum Januar bis November 2020</b>	<b>300 Tage</b>
<b>Abrechnungsintervalle pro Tag</b>	96
<b>Pro TeilnehmerIn für Verbrauchsdaten erzeugte Transaktionen</b>	28.800
<b>Gesamtsystem bei 22 TeilnehmerInnen für Verbrauchsdaten erzeugte Transaktionen</b>	633.600
<b>Gesamtsystem bei 22 TeilnehmerInnen für Herkunft der Energie erzeugte Transaktionen</b>	633.600
<b>Gesamt Anzahl der Transaktionen</b>	1.267.200

Tabelle 3: Überblick in Kennzahlen

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln eingehend angeführt, war die Frage der optimalen Verteilung der Energie- und Abrechnungsflüsse die zentrale Herausforderung auf Seiten der Energieflussoptimierung als auch der Blockchain Integration. Primär zeigt sich dabei, dass die Optimierung über die Gesamtheit der TeilnehmerInnen prädestiniert für eine Blockchain Integration ist. Während die Blockchain das Vorhalten von unveränderbaren und vertrauenswürdigen Datenreihen aus der Vergangenheit sowie das Bereitstellen der relevanten Inputdaten für die darauf aufbauenden Optimierungen übernimmt, kann die AIT Business Logic die Verteilung optimieren. Die Auseinandersetzung über die optimale Verteilung der Energieflüsse wird im folgenden Abschnitt im Detail dargestellt.

## 5.2. Ergebnis der Energieflussoptimierung

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Energieflussoptimierung dargestellt. Die Berechnung dieser Ergebnisse findet in der Business Logic (siehe Kapitel 4.3 Business Logic) statt und basiert auf den Eingangsdaten (über die Blockchain zur Verfügung gestellt) sowie den berechneten Prognosen.

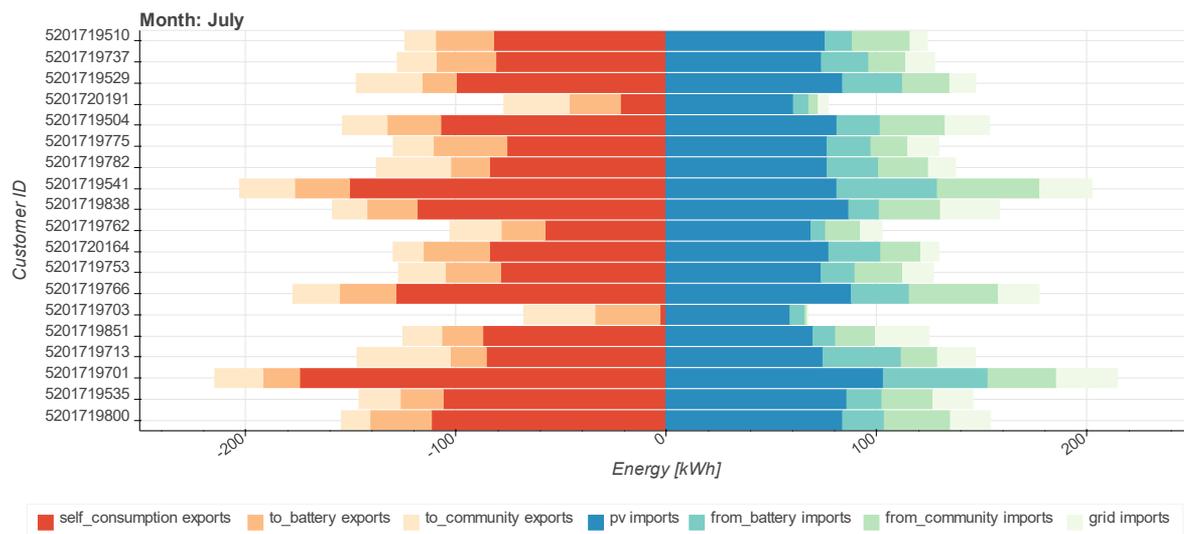


Abbildung 8 Energieflussbilanz und -zusammensetzung pro KundIn im Monat Juli

Die resultierenden Energieflüsse für den sonnenreichen Monat Juli mit hoher lokaler Erzeugung sind in Abbildung 8 dargestellt. Energieflüsse von Photovoltaik, P2P Handel und Batterie zeigen im Gegensatz zum Netzbezug einen signifikanten Anteil bei den Importen (Quellen), die zur Deckung des Eigenverbrauchs verwendet wurden. Im Gegensatz dazu konnte im Monat November (siehe Abbildung 9) der Eigenverbrauch nur untergeordnet durch PV, P2P Handel und die Batterie gedeckt werden. Es war ein signifikanter Netzbezug nötig. Das vorhandene PV Energieangebot wurde von allen KundInnen vollkommen genutzt.

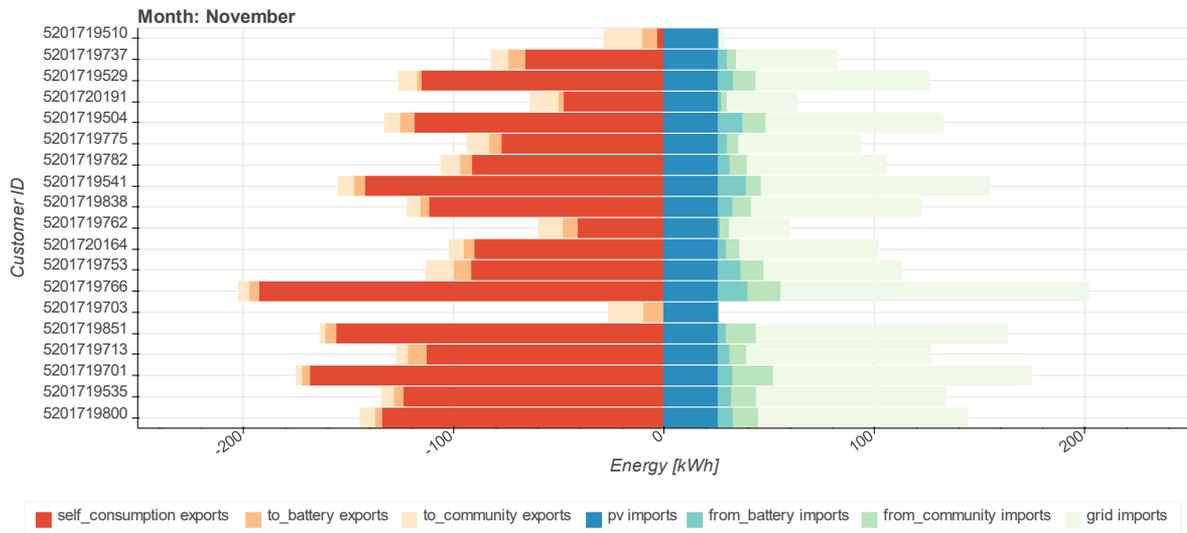


Abbildung 9 Energieflussbilanz und -zusammensetzung pro KundIn im Monat November

Die gewichteten Stromkosten der KundInnen sind in Abbildung 10 dargestellt. Dabei wurden die Gesamtkosten (inklusive Handel mit PV, P2P und Batterie sowie regulärer Netzbezug) in Euro mit dem monatlichen Energiebedarf normiert, um den effektiven Preis pro Kilowattstunde zu vergleichen. Die Preisspannen der Preise pro KundIn halten sich in jedem Monat innerhalb eines Bereichs von ca. 2 ct. pro kWh. Die höheren effektiven Strompreise im Oktober und November können durch die vergleichsweise geringere Sonneneinstrahlung (und damit vermindertem Handelsspielraum) erklärt werden.<sup>23</sup>

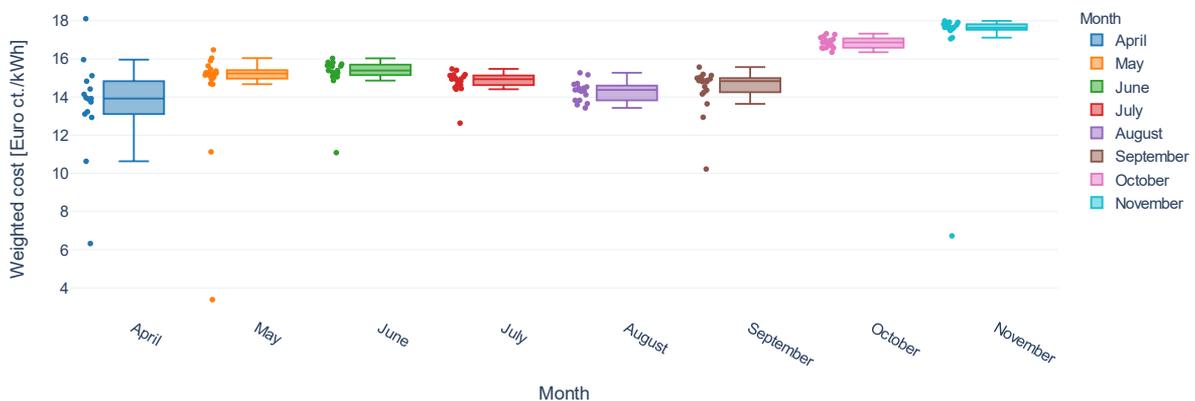


Abbildung 10 Verteilung der gewichteten Stromkosten pro Monat

### 5.3. Produkt- und Tarifentwicklung

Aus der Perspektive der Tarifentwicklung lassen sich die erarbeiteten Erkenntnisse in drei große Kategorien einteilen: Datengrundlage, NutzerInnenverhalten und wirtschaftliche Faktoren. Die Integration der direkt erhobenen Echtzeitdaten bietet für die Tarifgestaltung eine Reihe neuer Möglichkeiten. Auf Basis dieser Grundlage kann die erforderliche Gleichzeitigkeit von Stromproduktion

<sup>23</sup> die Schranken sind mit der gängigen Konvention berechnet: untere Schranke = Quartil<sub>1</sub> – 1.5 \* Interquartilsabstand und obere Schranke = Quartil<sub>3</sub> + 1.5 \* Interquartilsabstand.

und -verbrauch nachvollzogen und in die Abrechnung mit einbezogen werden. Dadurch wird es möglich, den NutzerInnen einen eigenen Anteil der PV-Anlage zuzurechnen und von der notwendigen Reststromlieferung zu unterscheiden. Diese Art von Tarifen, welche die individuellen Verbrauchsmuster und deren ständige Veränderung mit einbezieht, wird aufgrund der zunehmenden tages- und jahreszeitlichen Schwankungen der Stromproduktion immer wichtiger. Daher ist es wichtig, bereits jetzt diese neuen Vorgehensweisen unter der Berücksichtigung der Perspektive der VerbraucherInnen zu testen. Denn künftig lassen sich solche Abrechnungsmodelle mit Hilfe von Smart Metern einer breiteren KundInnenschicht anbieten. Um diese weitere Verbreitung zu ermöglichen, ist eine entsprechende Produktgestaltung notwendig. Als wichtigste Punkte haben sich dabei die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Vorgänge gezeigt, was insbesondere die Rechnungsgestaltung sowie die zur Verfügung gestellten Informationen im User Interface betrifft. Dadurch muss die Vertrauensgrundlage geschaffen werden, auf der das Wissen und Bewusstsein der VerbraucherInnen für den Ursprung und die Nutzung ihrer Energie beruht. Dabei zeigen sich auch die wirtschaftlichen Faktoren, die bei der Tarifgestaltung einfließen. Aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen ist die Zusammensetzung des Strompreises und die Aufschlüsselung auf der Rechnung entsprechend eingeschränkt. Hier hat sich der Verzicht auf Energiegrundkosten als wichtige Entscheidung herausgestellt. Dadurch erfolgte die Abrechnung einfach nachvollziehbar im direkten Zusammenhang mit den verbrauchten Energiemengen und die Unterscheidung nach dem Ursprung des Stroms (aus der PV-Anlage, aus der Community oder aus dem Netz) war für die NutzerInnen auf der Rechnung und im User Interface deutlich ersichtlich.

Dabei hat sich auch ein grundsätzliches Problem bei der Tarifgestaltung gezeigt. Für die VerbraucherInnen ist keine direkte Unterscheidung nach Qualität oder Ursprung möglich. In erster Linie dienen die Verlässlichkeit und der Preis als Hauptkriterien. Daher ist die im Projekt erprobte Kommunikation über die Rechnungen und das User Interface von zentraler Bedeutung. Dieses transparente Informationsangebot von Verbrauchsdaten- und Preisansicht ist ein grundlegender erster Schritt bei der Entwicklung von komplementären Angeboten und Services, die darauf aufbauen können und damit ein Unterscheidungsmerkmal bei einem ansonsten austauschbaren Produkt liefern.

## **5.4. User Interface**

Während des Projektes wurden User Interface-Konzepte und Implementierungen entwickelt, welche es erlauben, die komplexen Energieströme und Verrechnungszusammenhänge im P2PQ-System anschaulich und verständlich darzustellen. Einige Elemente dieser Darstellung sind spezifisch auf das Testgebiet im Viertel Zwei zugeschnitten, die Grundkonzepte können jedoch nach einer entsprechenden Anpassung jedenfalls auf andere Systeme mit ähnlicher konzeptueller Funktion übertragen werden. Die Rückmeldungen der NutzerInnen bestätigen die Brauchbarkeit und Relevanz der entwickelten Ansätze.

# 6 Schlussfolgerungen

## 6.1. Technologieeinsatz und Perspektive der NutzerInnen

Als großer Nutzen des Einsatzes der getesteten Technologien hat sich bei der praktischen Anwendung die vereinfachte Vernetzung der unterschiedlichen Komponenten und Subsysteme gezeigt. Dies betrifft neben den integrierten Anlagen und eingebundenen EndverbraucherInnen vor allem auch die Abwicklung der Verrechnung über die Organisationsgrenzen hinweg. Diese modulare Sichtweise mit den flexiblen Möglichkeiten der Teilnahme bzw. Inklusion ist ein wichtiger Grundsatz im zukünftigen, kleinteiligeren Energiesystem.

Aus Perspektive der NutzerInnen wurde vor allem die Sichtbarkeit und Transparenz der Abrechnungsprozesse positiv aufgenommen. Es hat sich gezeigt, dass eine weitere Erhöhung der Komplexität von Stromrechnungen durch die neuen digitalen und tarifbezogenen Möglichkeiten unbedingt vermieden werden muss, oder bei dieser Gelegenheit vielleicht sogar reduziert werden kann. In diesem Zusammenhang haben sich die Kommunikation der relativ komplexen Verrechnung sowie der Umgang mit fehlenden Datengrundlagen etwa bei den Verbrauchswerten als größte Schwierigkeit herausgestellt. Hier ist ein entsprechender Fehlerausgleich notwendig, sowie der Einsatz von Sicherungssystemen, die mit fehlenden Werten gut umgehen können und einen Ausgleich dieser Lücken ermöglicht.

Für die Teilnehmenden hat sich der Ansatz als sinnvoll herausgestellt, die Durchführung der Tradingvorgänge zwischen den NutzerInnen für diese nicht direkt einsehbar zu machen und automatisch abzuwickeln. Die Abläufe wurden vorab entsprechend kommuniziert und präsentiert, woraufhin das System positiv aufgenommen wurde, obwohl die NutzerInnen abgesehen von ihrem Verbrauchsverhalten geringen bis keine direkten Einflussmöglichkeiten auf den Handel haben. Für dieses Verständnis hat sich auch die Visualisierung als wichtiges Instrument gezeigt, das als sinnvolles Angebot für die Community aufgenommen wurde, obwohl es nicht intensiv genutzt wurde.

## 6.2. Optimierung der Energieflüsse und Energiekosten

Für die Optimierung der Energieflüsse gelangen unterschiedliche Eingangsdaten zur Anwendung. Diese tragen erheblich zur Erzeugung realistischer Ergebnisse bei – im Konkreten beeinflussen Prognose-Zeitreihen das Optimierungsergebnis erheblich. Hierdurch zeigt sich die Wichtigkeit von hochqualitativen Erzeugungs- und Verbrauchsprognosen. Gerade im Bereich von Einzelhaushalten ist die Vorhersage aufgrund des volatilen Nutzungsverhaltens der BewohnerInnen sehr schwierig und führt in vielen Fällen zu signifikanten Abweichungen zwischen Prognose und Realität (sowohl für die Gesamtenergie des Betrachtungszeitraumes als auch für die einzelnen Leistungswerte jedes Zeitschritts). Durch die Anwendung von innovativen Technologien konnte eine deutliche Verbesserung der Prognosequalität erzielt werden.

Zusätzlich zu den prognostizierten Zeitreihen werden auch weitere Daten über die TeilnehmerInnen sowie technische Parameter in den Nebenbedingungen der Optimierung verwendet. Dadurch zeigt sich, dass zu jedem Zeitschritt alle Daten zur Verfügung stehen müssen, da nur dann ein gutes Ergebnis

erzielt werden kann, welches unter realistischen Annahmen und Einhaltung der Rahmenbedingungen (ökonomisch, technisch) berechnet wird (z.B. es muss zu jedem Zeitschritt der Zustand der Batterie, Informationen über Preise, etc. zur Verfügung stehen). In der Optimierung wird das Gesamtoptimum der Gemeinschaft berücksichtigt. Dies erfolgt unter Berücksichtigung aller im System registrierter KundInnen inklusive deren spezifischen Einstellungen.

Diese Art der Optimierung berechnet somit ein globales Optimum. Im Vergleich dazu würde die Optimierung der einzelnen KundInnen (jeweils ohne Berücksichtigung der Gemeinschaft) voraussichtlich mehrheitlich zu schlechteren Gesamtergebnissen führen. Gerade im Sinne von Energiegemeinschaften, die (unter Berücksichtigung der derzeit geplanten rechtlichen Rahmenbedingungen) als gemeinschaftlicher Verein oder Genossenschaft geführt werden, ist dieser Gemeinschaftsgedanke über das Optimum des Einzelnen zu stellen. Weiters stellt die automatisierte Optimierung ein mathematisches Verfahren zur Verfügung, das grundsätzlich die besten Ergebnisse berechnet – eine manuelle (aktive) Teilnahme der QuartiersbewohnerInnen würde so zu deutlich geringeren Einsparungen führen.

### **6.3. Weiterführende Nutzung der Ergebnisse**

Für den Umgang mit den EndnutzerInnen wird künftig der automatisierte Ansatz beibehalten, aber mit zusätzlichen Konfigurationsmöglichkeiten ergänzt, die auf Basis der Erkenntnisse (weiter-) entwickelt werden. Auch das weitere positive wie negative Feedback der PilotkundInnen fließt in die weiterführende Produkt- und Tarifentwicklung von Wien Energie mit ein.

Neben den gewonnenen Erkenntnissen zum KundInneninteresse sind auch die Learnings im Bereich der technischen Umsetzung von Bedeutung. Dabei ist die Sammlung praktischer Erfahrungen beim Umgang mit der Datengrundlage beim Abbau von Hürden in diesem Zusammenhang von Bedeutung und leisten einen wichtigen Beitrag zur Vorbereitung auf die künftig zur Verfügung stehenden Daten und neuen rechtlichen Rahmenbedingungen.

Die Erkenntnisse aus den im Projekt definierten Anforderungen der Hardware und Software für die Blockchainanwendung werden in neuen Projekten in Wien und Umgebung eingesetzt. Dabei steht vor allem die Möglichkeit der Erzeugung eines Digitalen Zwillings einer Produktionsanlage und der damit verbundenen sicheren Aufnahme der laufenden Produktionsdaten im Mittelpunkt, die anschließend zwischen verschiedenen StakeholderInnen geteilt werden. Darüber hinaus fließen die gewonnenen Erfahrungen in die Vorbereitung einer Übergreifenden Blockchain-Strategie ein, die als Grundlage für das zukünftige Vorgehen in diesem Bereich liefert. Als eines der ersten konkreten Produkte, das durch die Erfahrungen aus dem Projekt beeinflusst wurde, ist die neueste Auflage des BürgerInnen Solarkraftwerkes, das im Februar 2021 gelauncht wurde.

# 7 Ausblick und Empfehlungen

## 7.1. Technische Weiterentwicklung

Im Projekt wurden eine Optimierung der Energieflüsse durchgeführt, wobei es sich hier um virtuelle Flüsse handelt, die nicht zwingend dem physikalischen Stromfluss entsprechen (z.B. Peer-to-Peer Austausch). Durch das Mapping von physikalischen Größen auf virtuelle Flüsse sowie durch Abweichungen zwischen Messwerten und Prognose können letztendlich Abweichungen zwischen Abrechnung auf Quartiersebene und den Abrechnungsdaten vom Netzbetreiber bzw. Energielieferanten entstehen (z.B. auch durch Netzverluste). Die physikalischen Bedingungen des Niederspannungsnetzes inklusive der Netzverluste (z.B. beim Energieaustausch zwischen Kunde A und B mit jeweils unterschiedlichen Messungen) sollte in der Modellierung und Optimierung sowie in der Abrechnung ebenfalls berücksichtigt werden.

Im Forschungsprojekt lag der Fokus auf der Erprobung und Anwendung der Blockchain-Technologie in Energiegemeinschaften sowie in der Ausarbeitung von Quartierslösungen. Eine untergeordnete Rolle spielte dabei die gesamtheitliche IKT-Architektur. Hierbei sollte bei zukünftigen Lösungen ein konkretes Konzept zur Datenspeicherung und -bereitstellung erarbeitet werden, um die Vollständigkeit, Korrektheit und Verfügbarkeit von Kundeninformationen, Messdaten sowie Konfigurationsparametern für alle beteiligten Systemkomponenten zu ermöglichen. Die Blockchain ist kein adäquates Werkzeug für die Speicherung aller Daten – hierbei sollte der Fokus auf den Transaktionen liegen.

Eine weitere Möglichkeit zur Weiterentwicklung der Quartiersoptimierung ist die Erhöhung der zeitlichen Auflösung. Derzeit erfolgt die Berechnung in Zeitschritten von 15 Minuten. Je höher die zeitliche Auflösung des Systems ist, umso besser kann auf Zustandsänderungen reagiert werden und umso bessere Optimierungsergebnisse können erzielt werden. Andererseits kann eine derartige Erhöhung zu erhöhter Ungenauigkeit in den Prognosen führen, da bei einer 15-minütigen Glättung der Leistungswerte bereits einiges an Volatilität der Kunden reduziert wurde. Zusätzlich würde die Anzahl der zu berechnenden Zeitschritte steigen, was zu erhöhtem Rechenaufwand führen würde. Ebenso könnten zusätzliche nichtlineare Bedingungen (z.B. Abhängigkeit des Preises vom Ladezustand der Batterie) ein besseres Gesamtergebnis in Hinblick auf Quartierskosten und -erlöse erzielen, jedoch würde ebenso die Komplexität und dadurch die benötigte Rechenleistung bzw. Berechnungsdauer steigen.

Weitere Anpassungen könnten in der Preisbildung vorgenommen werden. In der entwickelten Lösung wurde ein fixer Preis für den Energieaustausch zwischen Teilnehmern festgelegt. Dieser Ansatz könnte durch automatisierte Preisbildungsverfahren ersetzt werden, die für jeden Zeitschritt und für jede Transaktion (in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen) den optimalen Preis berechnen. Dieser Preis wiederum kann in der Gesamtoptimierung verwendet werden.

Modellprädiktive Regelungen (Model Predictive Control, MPC) könnten eingesetzt werden, um die aktuelle Situation (Messwerte) in der Berechnung des zukünftigen Verhaltens zu verwenden und könnte als Alternative zum aktuellen Konzept (Prognose und Optimierung) eingesetzt werden.

## 7.2. Beitrag zur gemeinschaftlichen Energienutzung

Zur Erreichung der gesetzten Ziele zur Ökologisierung unseres Energiesystems ist der grundlegende Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energiequellen unumgänglich. Die daraus bezogene Energie ist in ihrer grundlegenden Eigenschaft eher verteilter Natur und im Gegensatz zu ihren fossilen Gegenständen klein und dezentral organisiert. Dies bringt auch weitere Nachteile mit sich, wie schwer prognostizierbare und volatilere Produktion und ineffizientere langfristige Speichermöglichkeiten.

Diese tiefgreifende Umstellung ist nicht durch einzelne Maßnahmen, sondern nur durch eine umfassende Veränderung auf allen Systemebenen durchführbar. Um eine entsprechende Erhöhung der Anteile erneuerbarer Energie im Primärenergiemix erreichen zu können, muss es am Energiemarkt zu einer Veränderung bzw. Erweiterung in vielerlei Hinsicht kommen. Dabei kommt auch den EndverbraucherInnen eine entsprechende Verantwortung zu. Es lassen sich zwei Faktoren hervorheben, welchen eine besondere Bedeutung zukommt. Zum einen muss ein kollaboratives Verhalten auf der Seite der NachfragerInnen incentiviert werden, was in diesem Bereich zu einer Flexibilisierung führt. Andererseits ist eine Optimierung von Angebot und Nachfrage – also bei Produktion und Verbrauch unumgänglich.

Die Erfahrungen im P2P-Bereich sind eine bedeutende Grundlage für die künftige Ausrichtung als EnergieversorgerInnen bzw. ServiceanbieterInnen im Energiebereich. Die vorgesehene Stärkung der Rolle der aktiven KonsumentInnen und Handlungsmöglichkeiten bei der gemeinschaftlichen Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen setzen den Aufbau von flexiblen Systemen voraus, die gleichzeitig den Ansprüchen und Anforderungen an eine vertrauenswürdige und transparente Abwicklung ermöglichen. Dies bringt eine Erweiterung der Services für einen fortschreitenden Aufbau dezentraler erneuerbarer Anlagen mit sich. Unterstützt wird diese Entwicklung durch eine stärkere Involvement von Privatpersonen, die beispielsweise bei der Finanzierung der Anlagen oder aber auch direkt bei der Produktion und Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen partizipieren können. Diese wichtigen Grundlagen für dezentrale und relativ kleinteilige Energiegemeinschaften sind für eine erfolgreiche Verbreitung dieser Strategie essenziell. Die dezentrale bzw. lokale Produktion von Strom kann mittels eines universalen Übersetzungssystems auf der Basis von Blockchain und darauf aufbauender digitaler Token unterstützt werden und eine Incentivierung auf der untersten (Mikro-) Ebene der EndverbraucherInnen ermöglichen.

Das konsequente Miteinbeziehen der EndverbraucherInnen bei den Überlegungen und Entwicklungen der neuen Angebote und Handlungsmöglichkeiten ist besonders wichtig, da von deren Akzeptanz der Erfolg einer verbreitenden Umsetzung abhängt. Denn derzeit besteht im Energiebereich neben den vielzitierten Megatrends der Dezentralisierung, Digitalisierung, Dekarbonisierung und Demokratisierung auch noch ein oft übersehener Faktor des Disconnects. Es fehlt für einen Großteil der KonsumentInnen das notwendige Wissen und vor allem das Bewusstsein über die Probleme und Lösungsansätze bei ihrem Verhalten in Energiefragen. So werden beispielsweise die Erzeugungsanlagen von ProsumentInnen lediglich nach rein nicht-kollaborativen Prinzipien der Eigenoptimierung betrieben, was neben den fehlenden technischen Möglichkeiten und regulatorischen Rahmenbedingungen nicht zuletzt auch der individuellen Nutzungskultur zuzuschreiben ist. Wenn sich diese Dynamik weiter verstärkt, wächst auch das Risiko, dass diese ProsumentInnen zunehmend darauf bauen, sich komplett autark zu versorgen und somit vom System abzukapseln, was insgesamt zu einer Verschlechterung der Situation führen würde.

Als Projekt, das sich mit der gemeinschaftlichen Nutzung von Energie beschäftigt, zeigt P2P im Quartier eine Möglichkeit auf, diese Hürde zu überwinden. Durch die intensive Einbindung der PilotkundInnen wird dabei die Perspektive der NutzerInnen berücksichtigt und in Verbindung mit dem innovativen, Blockchain-basierten Ansatz, ein kollaboratives Vorgehen verfolgt bzw. angeregt, welches mit Hilfe der Unterstützung des Optimierungssystems eine möglichst effiziente Nutzung der lokalen Produktionsanlage zum Nutzen der gesamten Gemeinschaft ermöglicht.

# 8 Verzeichnisse

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: AIT User Interface .....	19
Abbildung 2: AIT Business Logic .....	20
Abbildung 3: Übersicht der Modelle auf den Trainingsdaten .....	21
Abbildung 4: Übersicht der Modelle auf den Testdaten .....	22
Abbildung 5: Gesamtsystem Architektur .....	25
Abbildung 6: Darstellung der Zugriffe durch die PilotkundInnen .....	29
Abbildung 7: Verteilung der Zugriffe auf verschiedene Teilbereiche .....	30
Abbildung 8 Energieflussbilanz und -zusammensetzung pro Kunde im Monat Juli.....	32
Abbildung 9 Energieflussbilanz und -zusammensetzung pro Kunde im Monat November.....	33
Abbildung 10 Verteilung der gewichteten Stromkosten pro Monat .....	33

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berücksichtigung der Anforderungen der NutzerInnen .....	17
Tabelle 2: Ausgestaltung des Pilottarifes .....	27
Tabelle 3: Überblick in Kennzahlen .....	31

## Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
AIT	Austrian institute of Technology
Art.	Artikel
BGBI.	Bundesgesetzblatt
EIWOG	Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz
HGBR	Histogram Gradient Boosting Regression
kWh	Kilowattstunde
LR	Lineare Regression
ML	Machine Learning
NN	Neuronale Netze
POC	Proof of Concept
PV	Photovoltaik
SVM	Support Vector Machines
USt.	Umsatzsteuer

usw.

und so weiter

VMEC

Vienna Marketing- & Energycontracting AG

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)