

Gamification für die Optimierung des Energieverbrauchs von Gebäuden und übergeordneten Systemen

GameOpSys

K. Corcoran, L. Eckerstorfer,
A. Fleischhacker, B. Glock, I. Hafner,
G. Lettner, A. Noja, N. Popper, J. Radl,
G. Schweiger, T. Schranz,
T. Schwengler, M. Wastian

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

36/2022

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
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

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/>

Gamification für die Optimierung des Energieverbrauchs von Gebäuden und übergeordneten Systemen

GameOpSys

DI Matthias Wastian, Dr. Irene Hafner, DI Barbara Glock, Dr. Niki Popper
dwh GmbH

Dr. Gerald Schweiger, DI Thomas Schranz, Thomas Schwengler
TU Graz, Institut für Softwaretechnologie

DI Johannes Radl, Dr. Andreas Fleischhacker, Georg Lettner
TU Wien, Institute of Energy Systems and Electrical Drives

Univ.-Prof. Dr. Katja Corcoran, Lisa Eckerstorfer, MSc,
Andrea Noja, MSc
Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Psychologie

Wien, August 2022

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 aller betroffener Bereiche 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 zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract	11
3	Ausgangslage	13
	3.1. Ausgangssituation	13
	3.2. Motivation & Forschungsfragen	13
	3.3. Ziele.....	14
	3.4. Stand der Technik	15
4	Projekthalt	20
	4.1. Vorgangsweise	20
	4.2. Methoden	20
	4.3. Evaluierung der Methoden und aufgetretene Probleme	23
5	Ergebnisse	25
	5.1. Konzeptentwicklung und Bewertung.....	25
	5.2. Modellbeschreibung und Modellierung	26
	5.3. Optimierung.....	29
	5.4. App-ready Lösung GameOpSys und ihre Gamification-Aspekte	30
	5.5. Empirische Studie.....	34
	5.6. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“ und Bezug zu den Gesamtzielen des Programms.....	36
6	Schlussfolgerungen	37
7	Ausblick und Empfehlungen	40
8	Verzeichnisse	41
9	Anhang	44
	9.1. Datenverarbeitungsvereinbarung.....	44

1 Kurzfassung

Motivation und Forschungsfrage

Konzepte für zukünftige, nachhaltige Energiesysteme sind Großteils durch eine radikale Änderung des gesamten Systems und damit auch dessen Planung und Betrieb gekennzeichnet: Die Substitution einer flexibel regelbaren Energieversorgung mittels fossiler Kraftwerke durch eine erneuerbare, teilweise volatile Energiebereitstellung, führt zu einem Auseinanderklaffen von Angebot und Nachfrage. Eine zentrale Herausforderung zukünftiger Energiesysteme besteht darin, die verfügbare Energie mit der Nachfrage örtlich, zeitlich und quantitativ abzustimmen. Dieser Übergang zu nachhaltigen Systemen setzt Politik, Stadtplaner:innen, Energielieferanten und Netzbetreiber zunehmend unter Druck. Forschungsergebnisse zeigen, dass eine Kombination mehrerer, aufeinander abgestimmter Technologien sowie die Kopplung verschiedener Sektoren, die Integration von Kurz- und Langzeitspeichern, der Ausbau von Übertragungskapazitäten sowie die Erhöhung der Flexibilität (angebots- & nachfrageseitig) vielversprechend ist.

GameOpSys beschäftigt sich insbesondere mit der Fragestellung, wie Daten für bessere Planung und Optimierung insbesondere unter Miteinbeziehung des Nutzers und der Nutzerin generiert werden können und wie letztlich Energiesysteme optimal geregelt werden können.

Ausgangssituation/Status Quo

In den letzten Jahrzehnten hat die Forschung und Entwicklung im Bereich von Gebäudestandards und Gebäudeeffizienz sowie im Bereich von Heizung, Lüftung und Klimatechnik (HLK) Systemen große Fortschritte erzielt; es ist mit keinen weiteren Breakthrough-Technologien zu rechnen. Die Partizipation der Nutzer:innen sowie die Nutzbarmachung von neuen Daten- und Informationsquellen zeigt jedoch ein großes Potenzial für die Energieoptimierung und Planung von Gebäuden, Quartieren und übergeordneten Energiesystemen.

Projekthalte und Zielsetzungen

Zentrales Ziel des Projektes GameOpSys ist die Entwicklung einer mobilen Anwendung, welche durch Partizipation des Nutzers und der Nutzerin via Gamification nutzbare Daten und Informationen zur eigenen Kosten- und Energieoptimierung (Strom und Wärme) generiert. Die Kombination von diesen Daten mit Smart-Home-Anwendungen und Internet of Things kann zukünftig die sektorübergreifende Energieoptimierung und verbesserte Planung von Gebäuden, Quartieren und übergeordneten Energiesystemen ermöglichen.

Methodische Vorgehensweise

Der transdisziplinäre Ansatz des Projektes hat folgenden Innovationsgehalt gegenüber bestehenden Konzepten und Dienstleistungen: (i) Das Potenzial der Nutzer:innen-Partizipation durch Gamification sowie die Nutzbarmachung von Daten und Informationen wird durch die Integration von mathematischen und computational Methoden in die mobile Anwendung signifikant erhöht. Während relevante Technologien und Entwicklungen (z.B. PEAKapp¹) auf vereinfachten Modellen (z.B. auf ökonomischen Zeitreihenanalysen) basieren, hat die Integration von detaillierten

¹ <http://www.peakapp.eu/>

physikalischen und datengetriebenen Modellen (maschinelles Lernen) in Kombination mit ausgefeilten Optimierungsmethoden signifikante Vorteile: Energieverbrauch, Kosten oder Emissionen können basierend auf der Lösung eines dynamischen Optimierungsproblems für die nächsten Stunden und Tage minimiert werden. Dabei können dynamische Effekte und Trägheiten wie die Bauteilaktivierung für Heizung und Kühlung berücksichtigt werden. Der Nutzer oder die Nutzerin kann - optional in Verbindung mit Smart-Home Anwendungen - beispielsweise Setpoints für Raumtemperaturen oder Einsatzzeiträume für Haushaltsgeräte definieren. Der Energieversorger hat die Möglichkeit durch Incentives und Reward-Systeme den Prozess der Optimierung zu beeinflussen. (ii) Sozialpsychologische Erkenntnisse des Nutzer:innen-Verhaltens sind integraler Bestandteil der Entwicklung und (iii) innovative Marktkonzepte werden berücksichtigt. Die Anwendung wird hinsichtlich ihrer kommerziellen Weiterentwicklung auf maximale Flexibilität hin implementiert (App-ready, basierend auf Rapid-Prototyping-Methoden).

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Eine App-ready Lösung wurde aufbauend auf Komponenten wie Flask², MongoDB³ und den in GameOpSys entwickelten Modellen sowie einem User-Interface in Form einer Android-Applikation, die als Alpha-Version im Google-Play-Store zum Download verfügbar war, implementiert und als Docker-Network auf einem an der Karl-Franzens-Universität Graz gehosteten Server betrieben. Die Modelle zur Vorhersage des Stromverbrauchs des eigenen Haushalts liefern dabei nach Erhalt intelligent gesetzter Trigger aus der MongoDB eine neue Vorhersage für den nächsten Tag.

Für jeden Haushalt wurde einerseits der historische Stromverbrauch anhand hochgeladener Smart-Meter-Daten visuell aufbereitet und in der App zur Verfügung gestellt. Der Verbraucher bzw. die Verbraucherin selbst konnte stundengenau unterschiedliche Tätigkeitsbereiche für seine/ihre Verhaltensvorhersage eingeben. Die individuellen Stromverbrauchsvorhersagen wurden ebenfalls in der App visualisiert und ließen den Nutzer/die Nutzerin dadurch Vergleiche mit seinem/ihrer bisherigen Stromverbrauch durchführen bzw. auch die Auswirkungen unterschiedlichen Verhaltens erkennen. Die Anzahl der Tage mit einem vollständigen Datenbild (Smart-Meter-Daten plus Verhaltensvorhersage) wurden etwa als Achievement/Score angedacht. Der in den abschließenden Interviews mehrmals geäußerte Wunsch nach mehr Push-Nachrichten wurde sehr erfreulich aufgenommen.

Die Extraktion der Smart-Meter-Daten aus den nach dem Opt-In des Verbrauchers/der Verbraucherin beim jeweiligen Netzbetreiber erhaltenen Files in die MongoDB erfolgte automatisch nach Upload des Files. Eine vollständige Automatisierung der Datenintegration wurde aufgrund des Fehlens einer Schnittstelle und des wegen unterschiedlicher Netzbetreiber sehr hohen Aufwands für Webscraping nicht verfolgt. Neben den Einverständniserklärungen der Pilotstudien-Teilnehmer:innen wurde auch eine Datenverarbeitungsvereinbarung der Konsortialpartner untereinander abgeschlossen. Die Veröffentlichung der nachträglich anonymisierten Daten als Open-Data ist nach Ablauf des Projekts geplant. Zudem wurde mittels clickworker⁴ noch eine großangelegte Umfrage zum Thema Smart Meter durchgeführt. Neben einer deskriptiven Betrachtung der Stichprobe wurden mit Regressionsanalysen untersucht, welche Faktoren die sehr unterschiedlich ausgeprägte Einstellung zu Smart Metern und die Bereitschaft, den Smart Meter aktiv zu nutzen, vorhersagen.

² <https://flask.palletsprojects.com>

³ <https://www.mongodb.com>

⁴ <https://www.clickworker.de>

Ausblick

Unterschiedliche Rahmenbedingungen bei der Bereitstellung der Smart-Meter-Daten verstärkten die Tatsache deutlich, dass ein vollständiges Datenbild pro Nutzer:in relativ schwer zu erreichen ist. Als Beispiel seien hier nicht nur die unterschiedlichen, teils etwas veralteten Dateiformate, in denen die Smart-Meter-Daten bereitgestellt werden, genannt, sondern auch die Tatsache, dass manchmal zu Monatsbeginn eine neue Datei begonnen wurde, ohne, dass dies dem/der Nutzer:in auffiel. Eine Standardisierung der Bereitstellung von Smart-Meter-Daten, im Optimalfall auch über eine automatische Schnittstelle, deren Nutzungsfreigabe den mündigen Haushaltsbewohner:innen unterliegt, ist jedenfalls eine konkrete Empfehlung aus dem Projekt GameOpSys.

2 Abstract

Motivation and Research Question

Concepts for future, sustainable energy systems are largely characterized by a radical change of the entire system and thus also its planning and operation: The substitution of a flexibly controllable energy supply by means of fossil power plants by a renewable, partly volatile energy supply, leads to a divergence of supply and demand. A key challenge of future energy systems is to match available energy with demand in terms of location, time, and quantity. This transition to sustainable systems puts increasing pressure on policy makers, urban planners, energy suppliers and grid operators. Research results show that a combination of several, coordinated technologies as well as the coupling of different sectors, the integration of short- and long-term storage, the expansion of transmission capacities as well as the increase of flexibility (supply- & demand-side) is promising.

GameOpSys is particularly concerned with the question of how data can be generated for better planning and optimization, especially with the involvement of the user, and how energy systems can ultimately be optimally controlled.

Initial Situation/Status Quo

In recent decades, research and development in building standards and building efficiency, as well as in heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems, has made great strides; no more breakthroughs are expected. However, the participation of users and the exploitation of new data and information sources still show great potential for energy optimization and planning of buildings, neighbourhoods, and higher-level energy systems.

Project Content and Objectives

The central goal of the project GameOpSys is the development of a mobile application, which generates usable data and information for energy and cost optimization (electricity and heat) by participation of the user via gamification. The combination of these data with Smart-Home applications and Internet of Things can enable the cross-sectoral energy optimization and improved planning of buildings, districts and higher-level energy systems in the future.

Methodological Approach

The transdisciplinary approach of the project has the following innovative content compared to existing concepts and services: (i) The potential of user participation through gamification as well as the harnessing of data and information is significantly increased by integrating mathematical and computational methods into the mobile application. While relevant technologies and developments (e.g. PEAKapp¹) are based on simplified models (e.g. on economic time series analysis), the integration of detailed physical and data driven models (machine learning) in combination with sophisticated optimization methods has significant advantages: Energy consumption, costs or emissions can be minimized based on the solution of a dynamic optimization problem for the next hours and days. Dynamic effects and inertias such as building component activation for heating and cooling can be taken into account. The user can define - optionally in connection with smart home applications - setpoints for room temperatures or operating periods for household appliances, for example. The energy supplier has the possibility to influence the process of optimization through

incentives and reward systems. (ii) Social psychological insights of user behaviour are an integral part of the development and (iii) innovative market concepts are considered. In terms of its commercial development, the application is implemented for maximum flexibility (app-ready, based on rapid prototyping methods).

Results and Conclusions

An app-ready solution was implemented based on components such as Flask², MongoDB³, and the models developed in GameOpSys, as well as a user interface in the form of an Android application available for download as an alpha version in the Google Play store and operated as a Docker network on a server hosted at the Karl-Franzens University of Graz. Here, the models for predicting the electricity consumption of one's own household provide a new prediction for the next day after receiving intelligently set triggers from MongoDB.

For each household, the historical electricity consumption was visually processed on the basis of uploaded smart meter data and made available in the app. Consumers themselves could enter different activity areas for their behaviour prediction by the hour. The individual electricity consumption predictions were also visualized in the app, allowing users to make comparisons with their previous electricity consumption and to see the effects of different behaviours. The number of days with a complete data picture (smart meter data plus behaviour prediction) were approximately thought of as an Achievement/Score. The wish for more push messages, expressed several times in the final interviews, was very welcome.

The extraction of the smart meter data from the files received after the consumer's opt-in at the respective network operator into MongoDB took place automatically after uploading the file. A complete automation of the data integration was not pursued due to the lack of an interface and the very high effort for web scraping due to different network operators. In addition to the consent forms of the pilot study participants, a data processing agreement was also concluded between the consortium partners. The publication of the subsequently anonymized data as open data is planned after the end of the project. Furthermore, clickworker⁴ was used to conduct another large-scale survey on the topic of smart meters. In addition to a descriptive examination of the sample, regression analyses were used to investigate which factors predict the very different attitudes toward smart meters and the willingness to actively use the smart meter.

Outlook

Different framework conditions in the provision of smart meter data clearly reinforced the fact that a complete data picture per user is relatively difficult to achieve. As an example, not only the different, sometimes somewhat outdated file formats in which the smart meter data is provided, but also the fact that sometimes a new file was started at the beginning of the month without the user noticing. In any case, a standardization of the provision of smart meter data, ideally also via an automatic interface whose use release is subject to the responsible household residents, is a concrete recommendation from the GameOpSys project.

3 Ausgangslage

3.1. Ausgangssituation

Eine zentrale Herausforderung zukünftiger Energiesysteme besteht darin, die verfügbare Energie mit der Nachfrage örtlich, zeitlich und quantitativ abzustimmen. Dieser Übergang zu nachhaltigen Systemen setzt Politik, Stadtplaner, Energielieferanten und Netzbetreiber zunehmend unter Druck. Die Partizipation der Nutzer:innen sowie die Nutzbarmachung von neuen Daten- und Informationsquellen zeigt noch ein großes Potenzial für die Energieoptimierung und Planung von Gebäuden, Quartieren und übergeordneten Energiesystemen.

3.2. Motivation & Forschungsfragen

In den letzten Jahrzehnten hat die Forschung & Entwicklung im Bereich von Gebäudestandards und Gebäudeeffizienz sowie im Bereich von HLK-Systemen große Fortschritte erzielt; es ist mit keinen weiteren Breakthroughs zu rechnen. Das Verhalten des Users per se und die Informationen über sein zukünftiges Verhalten haben ein großes Potenzial, um Energiesysteme auf unterschiedlichen Skalen (Gebäude, Quartier, Gemeinde, Stadt) zu optimieren. Weiters ergeben sich durch die Installation von intelligenten Dingen und Smart-Home Anwendungen neue Möglichkeiten, um Systeme zu optimieren; dabei müssen Gefahren und Besorgnisse der Nutzer:innen hinsichtlich der Datensicherheit berücksichtigt werden. Wie eine nachhaltige Nutzer:innen-Partizipation erreicht werden kann und wie zusätzliche Daten und Informationen aus Smart-Home Anwendungen und intelligenten Dingen zur Optimierung von Systemen verwendet werden können, ist Gegenstand aktueller Forschung. Der transdisziplinäre Ansatz des Projektes hat folgenden Innovationsgehalt gegenüber bestehenden Konzepten und Dienstleistungen: (i) Das Potenzial der Nutzer:innen-Partizipation durch Gamification sowie die Nutzbarmachung von Daten und Informationen wird durch die Integration von mathematischen und computational Methoden in die mobile Anwendung signifikant erhöht. Während relevante Technologien und Entwicklungen (z.B. PEAKapp) auf vereinfachten Modellen (z.B. auf ökonomischen Zeitreihenanalysen) basieren, hat die Integration von detaillierten physikalischen und datengetriebenen Modellen (maschinelles Lernen) in Kombination mit ausgefeilten Optimierungsmethoden signifikante Vorteile; (ii) sozialpsychologische Erkenntnisse des Nutzer:innen-Verhaltens sind integraler Bestandteil der Entwicklung und (iii) innovative Marktkonzepte (Blockchain etc.) werden berücksichtigt.

Im Vorhaben wurden unter anderem die folgenden **Fragestellungen** adressiert:

- Nutzbarmachen von Smart-Home-Anwendungen, Internet of Things-Anwendungen für die Energieoptimierung auf Quartiers- und Stadt- bzw. Gemeindeebene
- Neue Möglichkeiten der Nutzung von Anreizsystemen (Gamification) für die Datengenerierung für energieorientierte Quartiersplanung
- Adressierung von Energiethemen und Dekarbonisierung
- Unterstützung von Entwicklungen in Richtung Plus-Energie-Quartiere
- Datenschutz, Schutz von Personen und Infrastruktur und Kostenoptimalität

3.3. Ziele

Im Zuge des vorliegenden Projektes wurde **(1) eine mobile Anwendung** entwickelt, die einerseits **(2) durch Gamification die Nutzer:innen in den Prozess der Optimierung des Energiesystems integriert** und andererseits **(3) Daten und Informationen aus Smart-Home-Anwendungen und intelligenten Dingen** für die Optimierung durch die Integration mathematischer Modellierungs- und Optimierungsmethoden **nutzbar macht**. Um das Ziel der Nutzer:innen-Partizipation und Nutzbarmachung von Smart-Home- und IoT-Anwendungen für die Energieoptimierung zu ermöglichen, wurden in Projektvorarbeiten die für die Anwendung zentralen Entitäten User, Daten & Informationen, Modell, Optimierung und Anreizsystem definiert, um die Komplexität der Anwendung zu reduzieren und die Entwicklung von robusten Technologien zu ermöglichen. Nutzer:innen werden durch Gamification-Elemente in den Prozess der Energieoptimierung und energieorientierte Planung integriert.

In einem nächsten Schritt wurden die Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen diesen Entitäten erarbeitet. Um das übergeordnete Ziel „Übergang vom Möglichkeitsraum zur Innovation“ zu realisieren, wurden im Projekt drei konkrete Anwendungen definiert. In Vorarbeiten wurden bereits mögliche Methoden und Anwendungen der einzelnen Entitäten definiert. Diese Konzepte wurden in einem Stakeholder-Workshop diskutiert und mittels SWOT bewertet. Dabei wurden neben technischen und mathematischen Aspekten folgende Punkte berücksichtigt: (i) Datenschutz, (ii) User-Partizipation und (iii) neue Geschäftsmodelle und Kostenoptimalität.

Basierend auf der SWOT-Analyse wurde **das vielversprechendste Konzept App-ready entwickelt**. In der letzten Phase des Projekts wurde die mobile Anwendung hinsichtlich Wirksamkeit, Nutzungshäufigkeit, Zufriedenheit etc. mittels empirischer Pilotstudie evaluiert und bewertet. Die Anwendung wurde hinsichtlich ihrer kommerziellen Weiterentwicklung auf maximale Flexibilität hin implementiert (App-ready), wodurch potenzielle Risiken besser handhabbar wurden. So wurde z.B. (mit Hinblick auch eine strategische Kooperation mit Energieanbietern) ein Reward-/Incentive-System evaluiert. Im Zuge des Projektes wurden bei der Entwicklung weitere mögliche Business Cases analysiert und entsprechend in der Implementierung berücksichtigt. Ebenso erfolgte eine grundlegende Evaluierung der Entwicklungsplattform & -architektur, um für die geplante Weiterentwicklung (kommerzielle Weiterentwicklung nach Projektende) optimale Portierbarkeit zu gewährleisten. Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung des Projektverlaufs.

Nutzbarmachen von Smart-Home-Anwendungen, Internet of Things Anwendungen

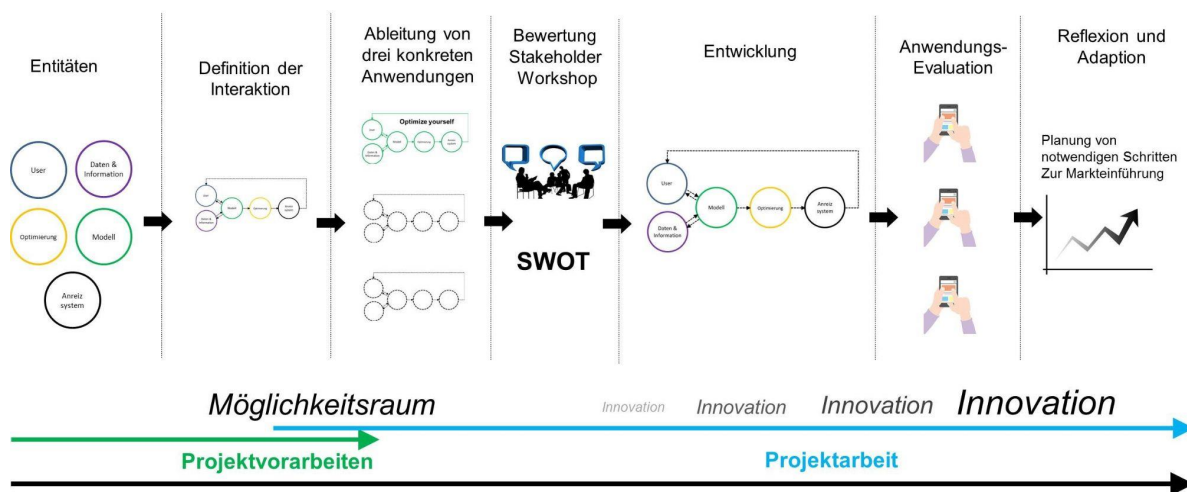


Abbildung 1: Projektübersicht

3.4. Stand der Technik

Nachhaltige Energiesysteme

Konzepte für zukünftige, nachhaltige Energiesysteme sind Großteils durch eine radikale Änderung des gesamten Systems und damit auch dessen Planung und Betrieb gekennzeichnet: Die Substitution einer flexibel regelbaren Energieversorgung mittels fossiler Kraftwerke durch eine erneuerbare, teilweise volatile Energiebereitstellung führt zu einem Auseinanderklaffen von Angebot und Nachfrage. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, die verfügbare Energie mit der Nachfrage örtlich, zeitlich und quantitativ aufeinander abzustimmen. Dieser Übergang setzt Politik, Planer und Energieversorger zunehmend unter Druck. Forschungsergebnisse zeigen, dass eine **Kombination mehrerer, aufeinander abgestimmter Technologien sowie die Kopplung verschiedener Sektoren**, die Integration von Kurz- und Langzeitspeichern, der Ausbau von Übertragungskapazitäten, sowie die Erhöhung der Flexibilität (angebots- & nachfrageseitig) vielversprechend ist. Eine Vielzahl an Studien und Projekten (z.B. Projekt LoadShift⁵) haben die Lastverschiebungspotenziale in Haushalten empirisch erhoben. Diese erfolgte jedoch meistens nur statisch. Eine dynamische Betrachtungsweise wurde meist „nur“ für Einzelhaushalte durchgeführt (z.B. Projekt ADRES-Concept⁶). Die wirtschaftlichen Ergebnisse waren in beiden Fällen ähnlich: **Es gibt praktisch keinen ökonomischen Anreiz zur Nutzung des Lastverschiebungspotenzials.** Durch die **Einführung von zeitvariablen Energietarifen** (z.B. Fa. aWATTar⁷) können diese jedoch erhöht werden, jedoch fehlen meist **kostengünstige Energie-Management-Tools.**

Internet-of-Things- und Smart-Home-Anwendungen

Die Integration von Prosumern als auch Konsument:innen in Energiemärkte wird sowohl auf europäischer Ebene, wie beispielsweise im sogenannten Winterpaket („Clean Energy For All

⁵ <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/publikationen/biblio/loadshift-lastverschiebung-in-haushalt-industrie-gewerbe-und-kommunaler-infrastruktur-potenzialanalyse-fuer-smart-grids.php>

⁶ https://www.ea.tuwien.ac.at/projekte/adres_concept/

⁷ <https://www.awattar.at/>

Europeans⁸⁾, aber auch auf nationaler Ebene forciert, um mit Hilfe ihrer Flexibilität fluktuierende erneuerbare Energien zu integrieren. Befragungen in den Projekten MBS⁹ und EcoGrid EU¹⁰ haben gezeigt, dass von Seiten der Prosumer durchaus großes Interesse besteht, ihre Flexibilität extern zur Verfügung zu stellen. Anders als in Österreich gibt es in Deutschland und der Schweiz vereinzelt Geschäftsmodelle im Bereich privater Flexibilitätsvermarktung. Durch die steigende Digitalisierung (Smart-Meter-Roll-Out in den kommenden Jahren) und die Vernetzung einer Vielzahl von Applikationen bei Endkund:innen steigt das Potenzial des Systemeinflusses und der Wirtschaftlichkeit für smarte Anwendungen bei den Endkund:innen.

Neue Märkte

Auf europäischer Ebene ist das **langfristige Ziel, einen gemeinsamen europäischen Strommarkt umzusetzen**. Die **Umsetzung wird aber durch Übertragungsengpässe und Marktverzerrungen in Frage gestellt** (z.B. Marktsplitting Deutschland - Österreich). Des Weiteren findet v.a. die Erzeugung von Photovoltaikstrom (PV) in Verteilnetzen statt. Durch die steigende PV-Durchdringung kommt es hier auch zu einer erhöhten Nachfrage von Netzverstärkung bzw. Flexibilitätsanforderungen. Deshalb werden sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht immer mehr zelluläre Strukturen diskutiert (z.B. SINTEG Region c/sells¹¹). Die Erschließung der notwendigen Flexibilitäten und Speicher auf lokaler und regionaler Ebene spielt durch die wachsende Digitalisierung eine immer wichtigere Rolle. Diesbezüglich wird regelmäßig die Blockchain-Technologie als Option genannt.

Forschungsarbeiten und Expertise innerhalb des Konsortiums im Bereich "Zukünftige, nachhaltige Energiesysteme"

Begleitung der nationalen Entwicklungen im Bereich Smart Grids und diversen Modellregionen (z.B. Köstendorf/Salzburg, Eberstallzell, Heimschuh, Großschönau). Im Bereich Modellierung und Optimierung: Vielzahl an techno-ökonomischen Modellen und Methoden auf systemischer Ebene. Entwicklung von physikalischen und datengetriebenen Modellen zur Simulation und Optimierung auf (i) Systemebene: Im Bereich der Sektorkopplung (national und regional: Projekt BaMa, [Schweiger 2017a, Schweiger 2017b] oder im Bereich effiziente Systemlösungen zur solaren Energieversorgung auf Gebäude- und Stadtquartiersebene (Vorprojekt CiQuSo¹²)); auf (ii) Komponentenebene: Im Bereich Wärmespeicher und hybride Strom-Wärmespeicher [Engel 2017, Köll 2017].

Nutzer:innen

Obwohl jeder Mensch individuelle Bedürfnisse und Präferenzen hat, gelten für alle dieselben Grundvoraussetzungen, um ihr Verhalten zu verändern: Motivation, Fähigkeit und Möglichkeit [Michie 2011]. Eine Anwendung muss diese drei Punkte bedienen, wenn Menschen ihr Verhalten ändern sollen. Zusätzlich zu bereits bekannten Prinzipien der Gamification oder der Literatur zur Verhaltensänderung aus dem Gesundheitsbereich kann schon bei der Planung einer Anwendung auf potenzielle Nutzer:innen Rücksicht genommen werden. Dieses geleitete Einbeziehen der Nutzer:innen in die Erstellung einer Anwendung - **User Centered Design** - kann hilfreiche Einblicke in das Denken und Fühlen der Nutzer:innen bieten, während sie die Anwendung (erstmalig oder

⁸ https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en

⁹ https://eeg.tuwien.ac.at/research/projects/mbs_

¹⁰ <http://www.eu-ecogrid.net/>

¹¹ <https://www.sinteg.de/schaufenster/csells>

¹² <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/ciquso-stadtquartiere-mit-optimierten-solar-hybriden-heiz-und-kuehlssystemen.php>

wiederholt) verwenden und erhöht dadurch die **Nutzer:innen-Freundlichkeit** [Vredenburg 2002]. Es ist noch großteils unklar, welche Methoden zu einer Verhaltensänderung im Bereich Energieverbrauch führen können, aber die Verwendung von Methoden aus der Gesundheitsförderung [West 2016] wie zum Beispiel die Vorgabe sozialer Normen scheint gerechtfertigt [Schultz 2015], da in der Gesundheitsförderung komplexe Approach- sowie Avoidance-Verhaltensweisen gesteuert werden [Sherman 2006].

Forschungsarbeiten und Expertise innerhalb des Konsortiums im Bereich "User"

Im Arbeitsbereich Sozialpsychologie der KFU Graz werden regelmäßig viele Nutzer:innen-Daten (auch längsschnittlich und im Feld) erhoben. Stichprobengrößen variieren zwischen N=60 und N=300. Weiters liegt ein Fokus in den letzten Jahren auf der Implementierung und Evaluierung gesundheitsförderlicher, App-basierter Interventionen.

Nutzbarmachen von Smart-Home-Anwendungen, Internet-of-Things-Anwendungen für die Energieoptimierung auf Quartiers- und Stadt- bzw. Gemeindeebene

Die Datengenerierung für eine bessere Planung und Optimierung von Energiesystemen ist in der öffentlichen Debatte sehr eng mit der Einführung von Smart Meters verknüpft. Durch den Einsatz von Smart Meters können Zählerdaten fernausgelesen werden. Zusätzlich wird die bidirektionale Kommunikation, Lastgangmessung etc. ermöglicht. Der Kunde ist zeitnah über seinen tatsächlichen Energieverbrauch informiert und der Energieversorger kann über flexible Tarifmodelle Incentives setzen. Um das große Potenzial von neuen Daten und Informationen für die Optimierung und Planung von Energiesystemen auszuschöpfen, sind transdisziplinäre Ansätze erforderlich, die den User als Bindeglied zwischen Smart-Home-Anwendungen, Internet of Things etc. in den Mittelpunkt der Überlegungen stellen. Sozialpsychologische Aspekte des Nutzer:innen-Verhaltens müssen ebenso berücksichtigt werden, wie Methoden aus der angewandten Mathematik im Bereich der Verarbeitung großer Datenmengen und künstlicher Intelligenz sowie physikalischer Modellierung. Die Forschungen und Entwicklungen in diesem Bereich sind noch in den Anfängen.

Mathematische Methoden im Bereich der Modellierung, Simulation und Optimierung

Modellierung

Zusammenhänge zwischen Systemkomponenten können durch physikalische Gesetze, regelbasierte Beziehungen oder datengetriebene Beziehungen abgebildet werden. Oftmals wird zwischen Black Box, Grey Box und White Box Modellen unterschieden. Welche Art der Modellierung eingesetzt werden soll, hängt davon ab, welche Erkenntnisse aus Simulationen abgeleitet werden sollen und welche Informationen und Daten verfügbar sind. Weiters kann zwischen dem kausalen und akasalen Modellierungsparadigma unterschieden werden. In kausalen Modellen repräsentieren Verbindungen zwischen einzelnen Blöcken eine Liste von Input- und Output-Variablen, die in der Kausalität determiniert sind. Die Kausalisierung von Systemen erfordert viel Know-how und Zeit. Die Entwicklung von objektorientierten, akasalen Modellierungsansätzen ermöglicht eine Systembeschreibung basierend auf impliziten differential-algebraischen Gleichungen. Akasale Modelle können einfacher erstellt, interpretiert, adaptiert und erweitert werden. In den letzten Jahrzehnten hat die datengetriebene Modellierung an Bedeutung zugenommen. Deep Learning (DL) und Deep Reinforcement Learning (DRL) werden in vielen Anwendungsfällen erfolgreich eingesetzt. DL umfasst dabei alle Techniken, die beispielsweise ein neuronales Netz mit vielen Schichten zur Funktionsapproximation oder Klassifizierung einsetzen, und hat sich neben klassischen Methoden aus der Mustererkennung erfolgreich zur Verhaltenserkennung etabliert [Fang 2014, Park 2016]).

Eine weitere Anwendung ist die Prognose von zeitlichen Verläufen mit Hilfe sogenannter "Long Short-Term Memory"-Netzwerke [Hochreiter 1997]. DRL ist ein weiterer wichtiger Teilbereich des maschinellen Lernens, der sich mit dem Erlernen von optimalem Verhalten in einem System beschäftigt. DRL versucht die Ansätze aus dem DL mit denen des Reinforcement Learnings zu kombinieren, um natürliche Verhaltensmuster zu lernen. Dank der Entwicklungen der letzten Jahre [Mnih 2015], kann eine Vielzahl an Problemstellungen bewältigt und menschliches Feedback während der Laufzeit integriert werden [Christiano 2017, Ho 2016]. Ein gelerntes Verhalten kann so mit einem optimalen Verhalten verglichen werden und dadurch Vorschläge anbieten, die zu einer Verringerung des Energieverbrauchs führen.

Optimierung

Die numerische Simulation ist fester Bestandteil der Industrie und Wissenschaft. In vielen Anwendungen ist dabei die Optimierung das Ziel der Untersuchungen. Die Modelle werden häufig nicht in ein mathematisches Optimierungsproblem transformiert, sondern die Domainexpertise der Anwender:innen ist die Grundlage, um „optimale“ Systeme durch Trial and Error zu identifizieren. Grundsätzlich gilt, dass die Optimierung komplexer ist als die Simulation und die Anforderungen an die Anwendenden als auch an Tool-Entwickler steigen. Methoden und Werkzeuge, die sich mit der Optimierung im Bereich von Energiesystemen befassen, lassen sich unterteilen in (i) Strukturoptimierung, (ii) Design-Optimierung und (iii) operative Optimierung. Die Optimierung von komplexen Modellen wird am effizientesten mit Hilfe von gradienten-basierten Optimierungsmethoden durchgeführt. Gleichungsbasierte Sprachen unterstützen eine automatische Konvertierung von Simulationsmodellen in Optimierungsprobleme; diese Sprachen ermöglichen eine symbolische Manipulation und Code-Erzeugung, um effizient Gradienten und anderen Informationen zu berechnen, welche von NLP-Solvern verwendet werden können. Des Weiteren kann das unendlich-dimensionale Problem automatisch durch Diskretisierungsmethoden in ein endlich-dimensionales Problem überführt werden. Wenn keine Gradienten zur Verfügung stehen, muss auf sogenannte ableitungsfreie Optimierungsmethoden zurückgegriffen werden. Bei extrem rechenintensiven Optimierungsproblemen ist die Optimierung basierend auf Surrogate-Modellen vielversprechend. Dabei approximieren Surrogate-Modelle die Zielfunktion; dieses Modell wird verwendet, um die Suche nach verbesserten Lösungen zu leiten. Im Falle von Machine-Learning-Modellen kann Optimierung zudem via Hyperparameter-Tuning sowie durch intelligente Trigger, die ein Relearning des Modells auslösen, erfolgen.

Forschungsarbeiten und Expertise innerhalb des Konsortiums im Bereich der mathematischen Modellierung und Simulation

Mitarbeiter der dwh GmbH haben sich im Zuge des Projekts „Interdisziplinäre Forschung zur Energieoptimierung in Fertigungsbetrieben“ (INFO¹³) mit der gesamtheitlichen Modellierung von Fertigungsbetrieben beschäftigt. Der gewählte Ansatz war Co-Simulation, um den Projektbeteiligten zu ermöglichen, die Tools, in denen sie bereits Erfahrung hatten, weiterzuverwenden. Im Zuge einer Machbarkeitsstudie wurde auch ein thermisches Raummodell entwickelt [Hafner 2013]. Die dwh GmbH hat ihre Expertise in den Bereichen Zeitreihenanalyse, Machine Learning (ML) und Deep Learning [Rudkowsky 2017, Wastian 2017, Wastian 2013] bereits in diversen Projekten und Auftragsarbeiten unter Beweis gestellt, darunter CiQuSo¹², wo ML für die Erstellung von Surrogate

¹³ <http://www.projekt-info.org/>

Black Box Modellen in Städten herangezogen wurde, AundO¹⁴ oder Deep Inspection¹⁵, in dessen Rahmen sich Matthias Wastian mit der automatischen Fehlererkennung in chaotischen Mustern beschäftigte. Weiters wurden Webscraping und Deep Learning herangezogen, um Daten aus Reden des Österreichischen Nationalrats oder Ordinationszeiten von Ärzten automatisiert aufzubereiten und für weitere Informationsgewinnung zu aggregieren [Wastian 2018]. Mitarbeiter:innen des Institutes für Softwaretechnologie an der TU Graz haben eine Modelica Bibliothek zur Modellierung von zukünftigen urbanen Wärmesystemen entwickelt [Schweiger 2017a]. Die Möglichkeiten der Kopplung verschiedener Tools wurde in mehreren Arbeiten untersucht [Schweiger 2018].

Forschungsarbeiten und Expertise innerhalb des Konsortiums im Bereich der mathematischen Optimierung

Die Softwareentwicklung für und auf Smartphones und Tablets ist einer der Forschungsschwerpunkte am Institut für Softwaretechnologie an der TU Graz. Mitarbeiter:innen des Projektes haben Erfahrung im Bereich der Optimierung von Energiesystemen (siehe auch Vorprojekte): Diskrete Optimierung, lineare/konvexe/nichtlineare Optimierung, Optimalsteuerung/modellprädiktive Regelung etc. Unter anderem wurde eine Methode zur Optimierung von Mixed-Integer-Nonlinear Optimal Control Problems entwickelt und im Bereich der vierten Generation von Fernwärmenetzen demonstriert [Schweiger 2017b, Schweiger 2017c].

In laufenden Forschungsprojekten wird gemeinsam mit dem Lawrence Berkeley National Laboratory an der Kombination von Designe-Optimierungsproblemen mit Optimal-Control Problemen/modellprädiktiven Regelungen auf Gebäude- und Quartiersebene gearbeitet. Weiteres wird die Performance von Gradienten-Methoden mit Surrogate-Methoden verglichen.

Die dwh GmbH war wesentlich bei der Optimierung in BaMa (siehe auch Vorprojekte) beteiligt. Unter anderem durch die Abbildung von Strafterme für die Nichterfüllung von Aufträgen ist die Zielfunktion hier nicht stetig. Außerdem ist sie nicht konvex, was den Einsatz klassischer Optimierungsverfahren wie Gradienten-Methoden ausschließt. Die Optimierung wurde deshalb mit Hilfe eines genetischen Algorithmus durchgeführt, der an die Gegebenheiten des zu Grunde liegenden Problems angepasst wurde. Details zu der gewählten Optimierungsmethode und Case Studies zur BaMa-Methode finden sich in [Sobottka 2018] und [Sobottka 2017].

¹⁴ <https://mobilitaetderzukunft.at/de/highlights/aundo.php>

¹⁵ <https://www.dwh.at/projects/deepinsp/>

4 Projektinhalt

4.1. Vorgangsweise

Die Anwendung wurde hinsichtlich ihrer kommerziellen Weiterentwicklung auf maximale Flexibilität hin implementiert (App-ready, basierend auf Rapid-Prototyping-Methoden). Ebenso erfolgte eine grundlegende Evaluierung der Entwicklungsplattform & -architektur, um für die geplante Weiterentwicklung (kommerzielle Weiterentwicklung nach Projektende) maximale Flexibilität zu gewährleisten.

4.2. Methoden

User:in

Um mit digitalen Interventionen Verhalten zu ändern, muss einerseits Nutzungsbereitschaft und andererseits Wirksamkeit gegeben sein. Gamification - also die Einbettung der Funktionen in einen spielerischen Kontext - erhöht die Nutzungsbereitschaft [Deterding 2011a]. Vier entscheidende Komponenten von Gamification sind

- (i) Belohnungen für eine wiederkehrende Kernaufgabe,
- (ii) limitiert verfügbare Ressourcen,
- (iii) erwerbbarer Besitz und
- (iv) Einbettung in einen sozialen Kontext [Deterding 2011b].

Gleichzeitig ist Gamification ein Framework, um Funktionen bereitzustellen, die die Wirksamkeit erhöhen. Diese Komponenten sind generell Techniken zur Verhaltensänderung, die theoriegeleitet entwickelt wurden [Michie 2013]. In diesem Projekt könnte eine Anwendung für Nutzer:innen so aussehen: Nutzer:innen geben täglich eine Schätzung ab, wann sie am Folgetag wie viel Energie verbrauchen werden. Das ist die Kernaufgabe und sie könnte beispielsweise darin bestehen, eine Kurve mit dem Energieverbrauch über den Tag in ein Diagramm einzuzeichnen oder die geplanten stromverbrauchenden Aktivitäten im Verlauf des nächsten Tages zu verorten. Der tatsächliche Energieverbrauch wird tags darauf rückgemeldet. Abhängig von ihrer Vorhersagegenauigkeit werden sie mit Karma-Punkten belohnt. Diese Karma-Punkte können sie in einem Minigame verbrauchen, bei dem sie durch Investition ihres Karmas eine verschmutzte Umwelt aufräumen und säubern können. Je mehr Karma-Punkte sie insgesamt investiert haben, desto höher wird ihr Rang in der Community. Es gibt ein Leaderboard, auf dem die erfolgreichsten Nutzer:innen der vergangenen Woche abgebildet sind (selbstverständlich mit ausgedachtem Username und nicht mit Klarnamen) und für besondere Leistungen bekommen die Nutzer:innen Medaillen verliehen.

Die vier oben erwähnten Prinzipien von Gamification wären bedient durch

- (i) die Zuerkennung von Karma-Punkten,
- (ii) Karma-Punkte als nötige Voraussetzung im Spielverlauf,
- (iii) eine fortschreitend sauberere Umwelt, ein besserer Platz im Leaderboard sowie zuerkannte Medaillen und

- (iv) die Begünstigung eines sozialen Vergleiches mit anderen Nutzer:innen durch das bereitgestellte Leaderboard.

Es wären insgesamt neun Techniken zur Verhaltensänderung in Verwendung [Michie 2013] und durch dieses Design wären die Grundsätze für Verhaltensänderung bedient [Michie 2011].

Modell

Um eine Energieeffizienzsteigerung im gesamten Quartiers- oder Stadtverbund zu ermöglichen, ist es notwendig, den Energieverbrauch einzelner Gebäude und Wohneinheiten abzubilden. Dies soll in GameOpSys mit der Entität „Modell“ für Einheiten, die von einem User einsehbar sind, geschehen. Mithilfe dieser Modelle kann der Energieverbrauch jeder Einheit simuliert und in weiterer Folge optimiert werden (siehe Entität „Optimierung“), was schließlich der Energieoptimierung im größeren Verbund dient. Während alleinstehende Modelle von Objekten mit Einfluss auf die Energiebilanz wie Gebäudehülle, Heizungs- und Regelungssysteme, Elektrogeräte etc. per se keine Innovation darstellen, widmet sich GameOpSys erstmals der Frage, wie jeder einfache Nutzer oder Nutzerin zur Abbildung seiner Einheit eingesetzt werden kann, um weiter die Einbindung dieser kleinen Einheiten im größeren Kontext und so die Eindämmung des Energieverbrauchs einer ganzen Stadt zu ermöglichen.

Die Art der Umsetzung der Modelle wird im Rahmen des Projekts erörtert; möglich ist beispielsweise, dass Teilmodelle für diverse Bereiche vorimplementiert werden, die dann die Nutzer:innen selbst über eine App in das Modell seiner Einheit einbauen und parametrisieren kann. Diese Modellierung kann z.B. durch Physical Modelling mit dem objektorientierten Standard Modelica, kausaler Modellierung von Regelungstechnik mit der MATLAB-Toolbox Simulink oder Bilanzierung für die Gebäudehülle mit EnergyPlus erfolgen. Für die Abbildung des Gesamtmodells ist einerseits eine Zusammenführung über Co-Simulation mit Tools wie BCVTB oder dem Standard FMI möglich, andererseits besteht die Möglichkeit eine Kopplung auf Modellebene über Code Export oder monolithische Abbildung in einem Tool oder auf formalem Level mit Zeiglers DEV&DESS-Formalismus durchzuführen [Zeigler 2000].

Sofern sich die Simulation physikalischer Modelle bei größeren Komplexen als zu rechenaufwendig oder als zu schwierig zu parametrisieren erweist, können Methoden des Machine Learning (ML) eingesetzt werden, um diese durch Datenmodelle zu ersetzen. Ein anderer Zugang, der auch ausführlich umgesetzt wurde, wäre Nutzer:innen die Möglichkeit zu geben, Daten aus dem Smart Meter zur Verfügung zu stellen, um diese in das Modell einzubinden und mithilfe von ML-Methoden eine Prognose des Energieverbrauchs der gesamten Einheit zu erstellen. Die Umsetzung kann auch mit einer Kombination dieser Ansätze erfolgen. Die Eignung der jeweiligen Methoden hängt auch von anderen Entitäten (Optimierung, User, Anreizsystemen) und dem Zusammenspiel mit diesen ab und wurde daher im Gesamtkonzept ausgewählt und laufend bewertet.

Optimierung

Eingangs muss die zu optimierende Zielfunktion definiert, anschließend bewertet und bei Bedarf adaptiert werden. Die Zielfunktion muss (i) flexibel definierbar sein (monetär, ökologisch, energetisch), (ii) den mathematischen Anforderungen der gewählten Methode entsprechen (z.B. linear, quadratisch etc.) und (iii) je nach Business Case und Anreizsystem die Integration von externem Input ermöglichen, wobei der dritte Punkt in möglichen Anwendungen auch optional vom

User deaktiviert werden kann (Diskussionspunkt im Stakeholder Workshop bzgl. Datensicherheit und Privatsphäre). Basierend auf der Zielfunktion und dem entwickelten Modell wird das System schließlich optimiert.

Eine mögliche Anwendung inkl. Business Case wird im Folgenden skizziert: Die Zielfunktion ist hier die Minimierung des eigenen thermischen und elektrischen Energieverbrauchs. Der Energieversorger kann durch externen Input in die Zielfunktion seine Interessen (z.B. Peak Shaving, Lastverschiebung etc.) einbringen. So kann der Preis für Energie zu bestimmten Zeiten sehr gering oder bei großen Energieüberschüssen in der übergeordneten netzgebundenen Versorgung überhaupt negativ sein. User:innen definieren dabei freie Variablen: Temperature-Setpoints für verschiedene Räume oder Einsatzzeiträume für elektrische Geräte (Waschmaschine etc.). Das Optimierungsproblem wird auf der mobilen Anwendung definiert - die eigentliche Lösung erfolgt in der Cloud. Das Resultat der Optimierung ist eine optimale „Einsatzreihenfolge“ der elektrischen Geräte sowie optimale Set-Points für HVAC Geräte; User:innen können diese Informationen entweder manuell verwerten oder eine Schnittstelle zu intelligenten Dingen und Smart-Home Anwendungen wird implementiert.

Welche Optimierungsmethode für das jeweilige Konzept gewählt wird, hängt maßgeblich vom gewählten Modellierungsansatz (physikalische Modelle, datengetriebene Modelle etc.), der Klasse des Optimierungsproblems (Integer, linear/konvex/nichtlinear, etc.) sowie Informationen über das Problem (Gradienten, Sparsity etc.) ab. Dabei ist das Zusammenspiel des technischen Systems, der verfügbaren mathematischen Methoden sowie verfügbaren Tools essenziell. Das Konsortium hat Expertise in den unterschiedlichen Disziplinen der mathematischen Optimierung sowie Erfahrung mit verschiedenen Methoden (gradientenbasierte Optimierung, Black-Box-Optimierung, Simulationsbasierte Optimierung, etc.) und Tools (Python, AMPL, JModelica, Optimica Compiler Toolkit etc.); auch die Kombination verschiedener Methoden ist eine vielversprechende Möglichkeit.

Anreizsystem

Das Anreizsystem umfasst mehrere Ebenen: (i) Spielerische interne Anreize im Zuge der Gamification wie zum Beispiel Einbettung in einen sozialen Kontext und Vergleich mit anderen Nutzer:innen und (ii) mögliche Incentives und Rewards durch Externe (z.B. Energieversorger, Blockchain: peer-to-peer, etc.), die mit dem jeweiligen Business Cases verknüpft sind. Die erste Ebene ist sehr eng mit den User:innen verbunden (siehe oben). Die zweite Ebene gestaltet sich in diesem beispielsweise wie folgt: Das Resultat der Optimierung ist der optimale Einsatz von Geräten und die optimale Set-Points für HKL-Geräte. Aus diesen Informationen kann sehr einfach der benötigte Strom- und Wärmebedarf für den Optimierungszeitraum ermittelt werden. Diese Trajektorien werden an den Energieversorger übergeben. Wichtig ist dabei, dass User:innen keine detaillierten Informationen über Geräte oder Nutzer:innen-Verhalten preisgeben (Einschränkungen etc. wurden im Stakeholder Workshop diskutiert). Der Energieversorger kann mit dem detaillierten prognostizierten Verbrauch mittels ausgefeilter Regelstrategien (z.B. modellprädiktive Regelung) das übergeordnete Energiesystem optimal betreiben. Bei Übereinstimmung des prognostizierten mit dem tatsächlichen Verbrauch (Verifikation über Smart Meter), bekommen User:innen zusätzliche Vergütungen.

Datenquellen und Erhebung

Eine zur Bestimmung als auch Prognose des Energieverbrauchs wesentliche Entität, die in engem Zusammenhang mit allen anderen Punkten steht bzw. stehen kann, ist jene der Datenerhebung und des Informationsgewinns. Während sich einerseits die Frage stellte, woher Daten und Informationen

für den gesamten in GameOpSys betrachteten Prozess gewonnen werden können, musste zugleich analysiert werden, welche der verfügbaren Daten wesentlichen Einfluss bei der Betrachtung im Gesamtmodell (und auf welchen Teilprozess) haben und wie diese aggregiert bzw. weiter aufbereitet werden können. Eine Selektion von wichtigen Datenfeatures konnte mit Hilfe von klassischen ML- oder linear-algebraischen Methoden wie etwa PCA (Principal Component Analysis) erfolgen. Eine Möglichkeit der Datenerhebung besteht darin, sich rein auf die Eingabe der User:innen (Fragebogen zu Beginn der Pilotstudie, laufender Input via der App-ready Lösung) zu beziehen, was sich weiter dahingehend differenzieren lässt, ob diese Daten aus Messgeräten verwendet oder Parameter für detailliertere Modelle zur Verfügung stellen. Andererseits können Daten aus Smart Metern – unter Voraussetzung der Freigabe – automatisiert zusammengeführt und weiterverarbeitet werden, ebenso ist eine Kombination dieser Optionen denkbar. In der konkreten Umsetzung resultierten aus der Entität „Modell“ prognostizierte Daten, die ggf. bei entsprechendem Anreizsystem mit Informationen von Energieversorgern verglichen werden können, was verdeutlicht, dass Auswahl und Notwendigkeit der Datenerhebung stark von anderen Punkten, insbesondere „Modell“ und „Anreizsystem“, abhängt und entsprechend dieser intensiven Interaktion in Abstimmung mit diesen ausgewählt werden muss.

4.3. Evaluierung der Methoden und aufgetretene Probleme

Entwicklung einer mobilen Anwendung: Framework und Android App

Eine App-ready Lösung wurde aufbauend auf Komponenten wie Flask, MongoDB und den in GameOpSys entwickelten Modellen sowie einem User-Interface in Form einer **Android-Applikation**, die als **Alpha-Version** im Google-Play-Store zum Download verfügbar war, implementiert und als **Docker-Network** auf einem an der KFU gehosteten **Server** betrieben. Die Modelle zur Vorhersage des Stromverbrauchs des eigenen Haushalts liefern dabei nach Erhalt eines intelligent gesetzten Triggers aus der MongoDB eine neue Vorhersage für den nächsten Tag.

Gamification-Aspekte

Für jeden Haushalt wurde einerseits der historische Stromverbrauch anhand hochgeladener Smart-Meter-Daten visuell aufbereitet und in der App zur Verfügung gestellt. Consumer selbst konnten stundengenau unterschiedliche Tätigkeitsbereiche für ihre Verhaltensvorhersage eingeben. Die individuellen **Stromverbrauchsvorhersagen** wurden ebenfalls in der App visualisiert und ließen den Nutzer/die Nutzerin dadurch Vergleiche mit seinem bisherigen Stromverbrauch durchführen bzw. auch die Auswirkungen eines unterschiedlichen Verhaltens erkennen. Die Anzahl der Tage mit einem vollständigen Datenbild (Smart-Meter-Daten plus Verhaltensvorhersage) wurden etwa als **Achievement/Score** angedacht. Der in den abschließenden Interviews mehrmals geäußerte Wunsch nach **mehr Push-Nachrichten** wurde sehr erfreulich aufgenommen.

Daten und Informationen aus Smart-Home-Anwendungen und IoT

Die Extraktion der Smart-Meter-Daten aus den nach dem Opt-In des Consumers beim jeweiligen Netzbetreiber erhaltenen Files in die MongoDB erfolgte automatisch nach Upload des Files. Eine vollständige Automatisierung der Datenintegration wurde aufgrund des Fehlens einer Schnittstelle und des wegen unterschiedlicher Netzbetreiber sehr hohen Aufwands für Webscraping nicht verfolgt. Neben den **Einverständniserklärungen der Pilotstudienteilnehmer:innen** wurde auch eine **Datenverarbeitungsvereinbarung der Konsortialpartner** untereinander abgeschlossen. Die

Veröffentlichung der nachträglich anonymisierten Daten als Open-Data ist nach Ablauf des Projekts etwa via <https://www.opendataportal.at/> oder <https://www.odpdev.eu/> oder <https://www.tugraz.at/sites/cat/home/> geplant. Zudem wurde mittels clickworker⁴ eine **groß angelegte Umfrage zum Thema Smart Meter** durchgeführt. Neben einer deskriptiven Betrachtung der Stichprobe wurden mit Regressionsanalysen untersucht, welche Faktoren die Einstellung zu Smart Metern und die Bereitschaft, den Smart Meter aktiv zu nutzen, vorhersagen.

Aufgetretene Probleme

Eines der **aktuellen Probleme** war Pandemie-assoziiert, denn COVID-19-bedingt mussten in weiterer Folge Meetings in überwiegendem Ausmaß virtuell abgehalten werden, viele Projektmitarbeiter:innen arbeiteten zumindest zeitweise vom Home Office aus. Auch das Recruiting von Studienteilnehmer:innen wurde etwa durch die Forcierung von Distance Learning an den Universitäten ebendort deutlich erschwert.

Unterschiedliche Rahmenbedingungen bei der Bereitstellung der Smart-Meter-Daten verstärkten die Tatsache deutlich, dass ein vollständiges Datenbild pro Nutzer:in relativ schwer zu erreichen ist. Als Beispiel seien hier nicht nur die unterschiedlichen, teils etwas veralteten Dateiformate, in denen die Smart-Meter-Daten bereitgestellt werden, genannt, sondern auch die Tatsache, dass manchmal zu Monatsbeginn eine neue Datei begonnen wurde, ohne, dass dies den Nutzer:innen auffiel. Deswegen fehlen bei manchen Nutzer:innen Smart-Meter-Daten vorwiegend gegen Monatsende. Eine **Standardisierung der Bereitstellung von Smart-Meter-Daten**, im Optimalfall auch über eine automatische Schnittstelle, deren Nutzungsfreigabe den mündigen Haushaltsbewohner:innen unterliegt, ist jedenfalls empfehlenswert.

5 Ergebnisse

5.1. Konzeptentwicklung und Bewertung

In der Phase der **Konzeptentwicklung und Bewertung** wurden drei **mögliche Anwendungen** entwickelt, die sowohl projektintern als auch mit externen Stakeholdern im Rahmen eines Stakeholder-Workshops diskutiert wurden:

1. lokaler Energiemarkt – Entwicklung einer mobilen Anwendung, die einen lokalen Energiehandel zwischen Verbrauchenden und Erzeugenden ermöglicht;
2. Optimierung des Energieverbrauchs – Entwicklung einer mobilen Anwendung zur Optimierung des eigenen Energieverbrauchs mittels Nutzer:innen-Partizipation;
3. Renovierung, Sanierung, bauliche Veränderungen – Entwicklung einer mobilen Anwendung zur Prognose der Auswirkung von baulichen Veränderungen hinsichtlich des Energieverbrauchs in der eigenen Wohneinheit.

Basierend darauf wurde ein allgemeines Konzept zu Geschäftsmodellen (siehe Abbildung 2) erarbeitet.

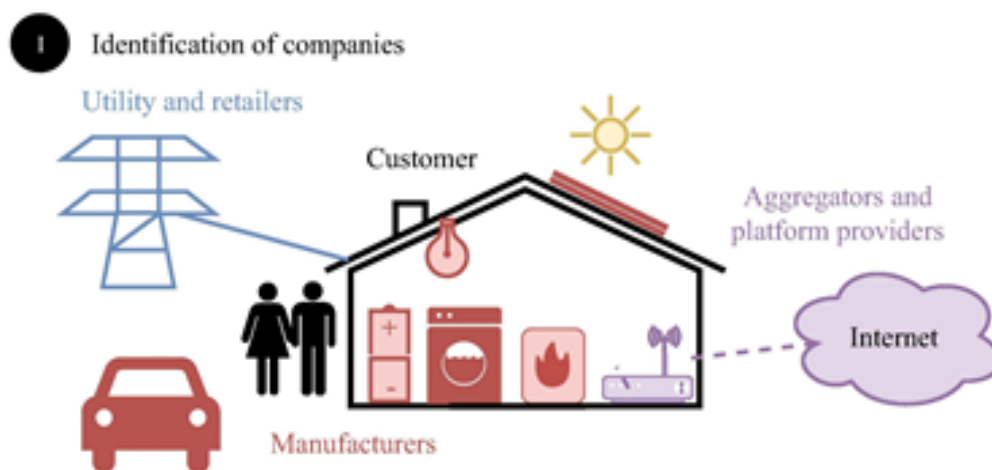


Abbildung 2: Identifikation der Geschäftsmodellbetreiber und Akteure

Dabei wurden in einem ersten Schritt die relevanten Akteure definiert, welche Geschäftsmodelle betreiben. In Bezug auf Smart Energy Systems kann es sich hier um Netzbetreiber, Energieversorger, Komponentenhersteller von intelligenten Energieerzeugungs- und -verbrauchssystemen, Aggregatoren oder Plattformbetreiber handeln. Die jeweiligen Geschäftsmodelle (Business Cases) richten sich nach bestimmten Konsument:innen-Gruppen mit unterschiedlichen Partizipationsbedürfnissen und Akzeptanzen hinsichtlich möglicher Einschränkungen und Aufwänden. Diese Gruppen können sich auch durch die Definition ihre „Zielfunktionen“ unterscheiden. Einige Beispiele hierfür sind (i) die Verringerung des Energieverbrauches (bzw. des Eigenverbrauches), (ii) Optimierung der Kosten, (iii) eine möglichst lokale und/oder erneuerbare Energiequelle, (iv) Verständnis bzw. Sichtbarmachung des eigenen Verbrauches. Die Wirtschaftlichkeit eines Geschäftsmodells ist entscheidend für die jeweilige Implementierung.

Einnahmen können u.a. durch den Verkauf von Produkten oder Dienstleistungen in Form von Lizenzen, Einmalzahlungen, Abonnements oder Werbeschaltungen generiert werden. Der Vorteil bei rein softwarebasierten Lösungen ist die kostengünstige Skalierbarkeit im Vergleich zu physischen Produkten.

Nach einer eingehenden SWOT-Analyse wurde eine **Anwendung zur Vorhersage des Energieverbrauchs auf Haushaltsebene** ausgewählt und **App-ready** implementiert. Sie basiert auf der individuellen Verbrauchsvisualisierung und -vorhersage, um ein Bewusstsein für den eigenen Energieverbrauch zu schaffen. In einem ersten Schritt müssen die Energieverbrauchs- und -erzeugungsdaten der Kund:innen erfasst und gesammelt werden. Da in dem Projekt der Einsatz von projektspezifischer Hardware nicht budgetiert bzw. eingeplant und somit ausgeschlossen war, mussten die Energiedaten anderweitig erfasst werden. Eine Lösung konnte bei Nutzer:innen mit installiertem Smart Meter gefunden werden. Dazu wird in der App auf das Portal des jeweiligen Verteilnetzbetreibers verlinkt, die Kund:innen loggen sich mit ihren Daten ein und laden die entsprechenden (historischen) Energiedaten herunter, welche in der projekteigenen Datenbank hinterlegt werden (siehe Abbildung 3). In der App-ready Lösung werden die historischen Daten visualisiert und die Anwender:innen können für nachfolgende Tage Verbrauchseinschätzungen abgeben. Details dazu folgen in Abschnitt 5.4.

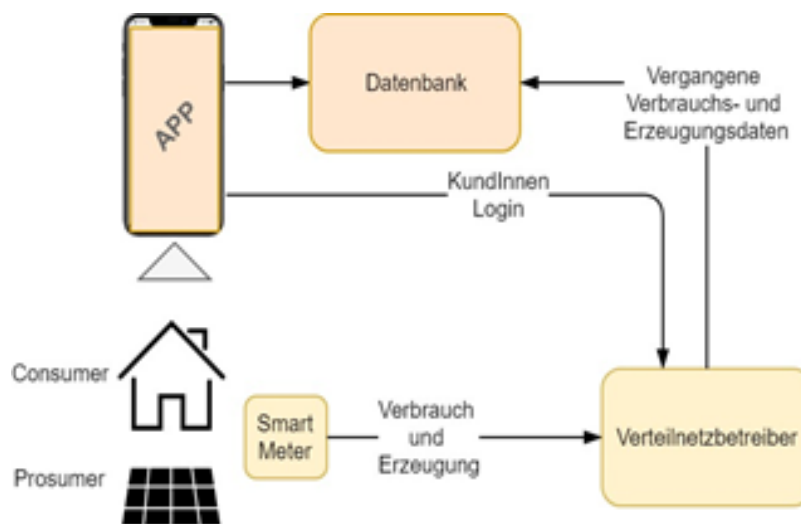


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Datenerfassung.

Abschließend erfolgte eine Reflexion der Anwendung nach Resultaten der Pilotstudie. **Die wichtigste Erkenntnis daraus lautet, dass Gamification-Aspekte gerade bezüglich Energieverbrauchsdaten ausgerichtet werden müssen, um ein möglichst vollständiges Datenbild der Nutzer:innen zu erhalten.**

5.2. Modellbeschreibung und Modellierung

In der Phase der **Modellbeschreibung und Modellierung** wurden **Prototypen** entwickelt und getestet inklusive einer **Definition von Tätigkeitsbereichen** (siehe nachfolgend). Weiters wurden **Hyperparameter** definiert, welche in der nächsten Phase optimiert wurden. Eine Kernkomponente

der App-ready Lösung ist die **Prädiktion des Energieverbrauchsverlaufs** des folgenden Tages. Als zusätzlicher Input kann bei Vorhandensein die Verhaltensvorhersage des Consumers in das Vorhersagemodell einfließen. Dafür wurden als Sampling-Rate der vorherzusagenden Zeitreihe 1/h festgelegt - einerseits, weil gewisse kurzfristige Ausschläge nach oben (etwa durch das Starten der Wärmepumpe verursacht) nicht auf 15 Minuten genau vorhersagbar sind, andererseits es auch für den Consumer kompliziert ist, auf 15 Minuten genau eine Verhaltensvorhersage für den nächsten Tag zu treffen. Für letztere wurden folgende Inputmöglichkeiten festgelegt:

(1) **Aktive Cluster** wie Wäsche (Waschmaschine, Trockner, Bügeleisen), Kochen (Backrohr, Herd, Toaster etc.), Spülen (Geschirrspüler, Warmwasser), Hygiene/Reinigung (Staubsauger, Haarfön etc.), Entertainment (TV, Audio, Computerspiele), Wellness (Sauna, Whirlpool), Home-Office-Devices (PC, Drucker etc.), Laden E-Mobilität (E-Auto, E-Bike, E-Scooter) und Sonstiges (Luftentfeuchter, Elektro-Rasenmäher, Modelleisenbahn etc.) und

(2) **Anwesenheit** wie Events zu Hause (Familienfeier), Abwesenheit (außer Haus sein) und verstärkte Anwesenheit durch Urlaub/Ferien. Cluster wie Licht, Raumkühlung, Stromheizung, Kühlschrank und Pumpen wurden nicht berücksichtigt.

Methoden zur Datenanalyse und die in weiterer Folge entwickelten Vorhersagemodelle wurden in Python entwickelt und anschließend dockerisiert. Die Datenpersistierung und damit auch die Schnittstellenbereitstellung erfolgten über die MongoDB.

Einige ausgewählte Auswertungen dazu sind in Abbildung 4 bis Abbildung 7 dargestellt:

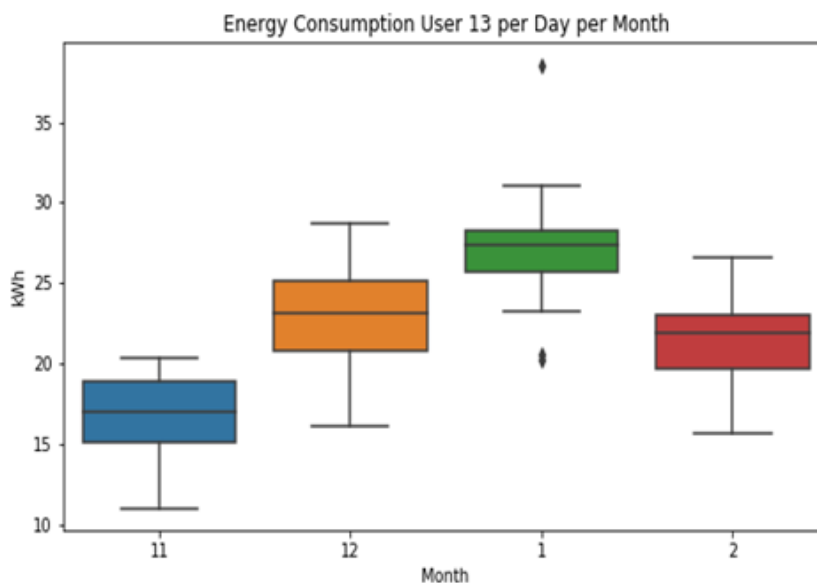


Abbildung 4: Boxplot des Stromverbrauchs über die Monate des Users 13, welcher eine Stromheizung besitzt.

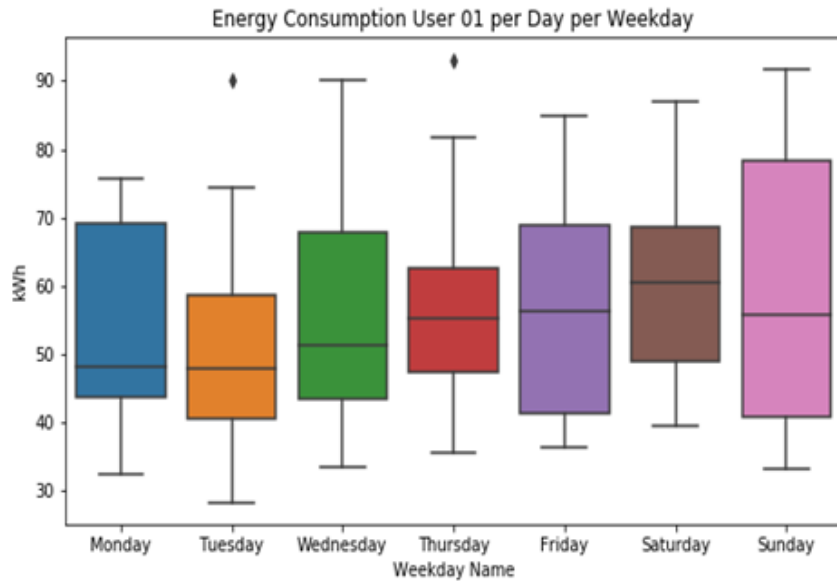


Abbildung 5: Boxplot des Stromverbrauchs pro Tag des Users 01. An Sonntagen ist die Varianz des Stromverbrauchs pro Tag am größten, vermutlich aufgrund der großen Fluktuation hinsichtlich der Anwesenheit und Ausreißer gibt es nur nach oben.

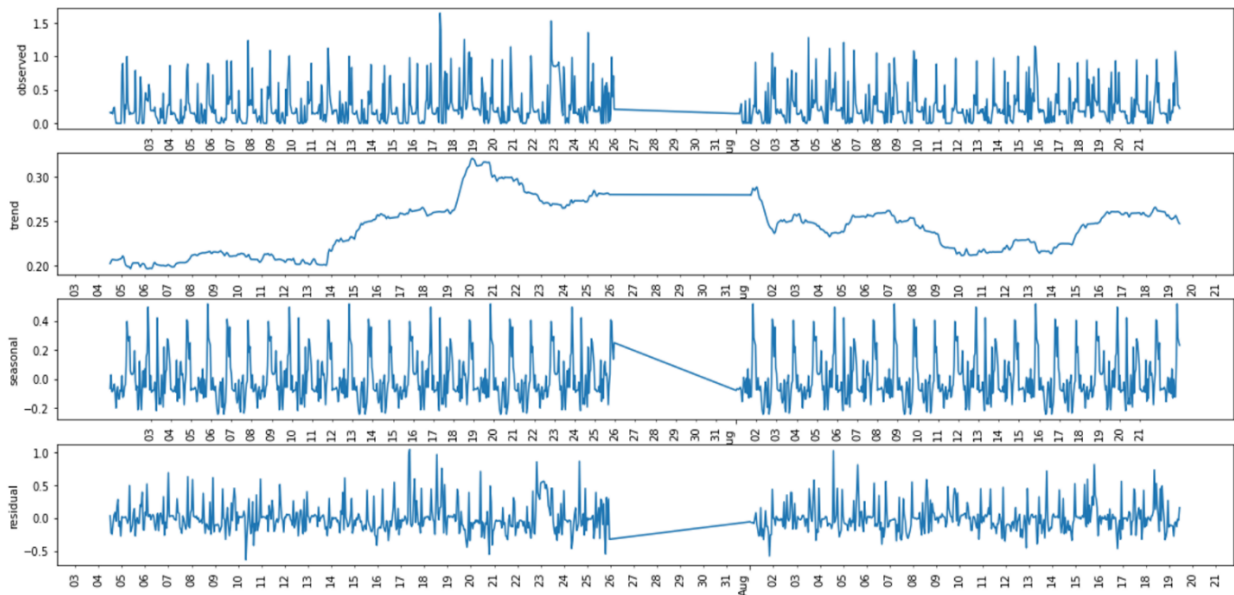


Abbildung 6: Diese Decomposition zeigt eine starke Tagessaisonalität (insbesondere im dritten Plot von oben, dem saisonalen Teil der Decomposition, gut erkennbar) sowie fehlende Daten gegen Monatsende (überall gut erkennbar). Der dargestellte Zeitraum des beobachteten Energieverbrauchs (oberster Plot) ist 01.07. bis 23.07.

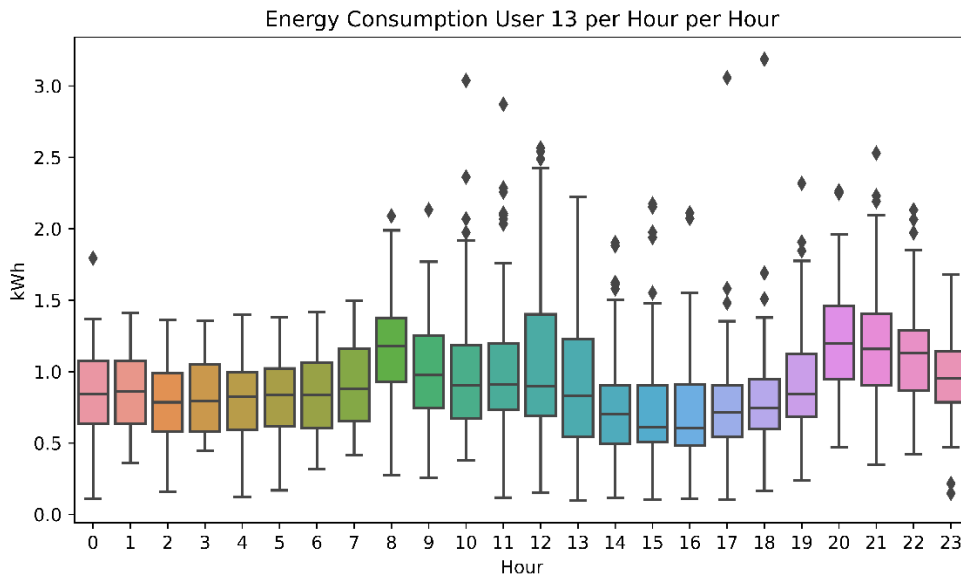


Abbildung 7: Boxplot auf Stundenebene von User 13 der durchschnittlichen Verbrauchsspitzen in der Früh, zu Mittag und am Abend.

5.3. Optimierung

In der Phase der **Optimierung** wurden **Error Functions** aus dem Bereich der Zeitreihenähnlichkeit (Root Mean Squared Error, Mean Squared Error, Mean Absolute Error, Time Warp Edit Distance, Integralwerte u.Ä.) und **Optimierungsmethoden** ausgewählt und eine **Integration der Datenmodelle in Server und App durchgeführt**, wobei auch eine Definition und Implementierung von Triggern in der MongoDB erstellt wurde. Nach der prototypischen Entwicklung der Vorhersagemodelle erfolgte die Optimierung des Vorhersagemodells. Aufgrund der nicht allzu großen Anzahl an Pilotstudien-Teilnehmer:innen war relativ schnell klar, dass ein Clustern von Usern in ähnliche Gruppen im Kontext von GameOpSys nicht zielführend sein würde. Die Verbrauchsvorhersagen wurden daher individuell auf Haushaltsebene erstellt. Als Fehlerfunktion ist aufgrund der fixierten Länge der vorherzusagenden Zeitreihe durchaus der Mean Squared Error passend, wobei bewusst erwähnt sei, dass ein zu starkes Mitteln bei den Vorhersagen nicht erwünscht ist, da ansonsten ein falscher Eindruck von einer realistischen Stromverbrauchskurve entsteht.

Insgesamt erwiesen sich LSTM- und 1D-Convolutional Neural Networks aufgrund der relativ geringen Trainingsdatenmenge als nicht optimal geeignet. Andere Ansätze wie Random Forests oder klassische statistische SARIMAX-Modelle konnten zwar die ungefähre Dynamik erfassen - etwa die Peaks in der Früh und am Abend reproduzieren -, neigten aber auch nach Hyperparameter-Tuning noch zu einem relativ starken Glätten der Vorhersagen, was wie oben erwähnt nicht erwünscht ist. Letztlich zeigte sich daher für die vorliegende Pilotstudie, dass eine **intelligente Regression**, bei der sich die Verbrauchsvorhersage als Linearkombination der letzten k selben Wochentage zusammensetzt, absolut akzeptable Vorhersagen trifft (wobei k grundsätzlich eine beliebige natürliche Zahl sein kann). k soll dabei aus zwei Gründen nicht zu groß gewählt werden: Je größer k , umso stärker der Glättungseffekt und umso wahrscheinlicher, dass die jahressaisonale Komponente schlecht abgeschätzt wird. Die geringsten MSE-Fehler und realistischsten Kurven konnten mit $k = 5$

vorhergesagt werden. Vereinfacht gesagt berechnet sich die Vorhersage für den nächsten Montag als intelligente Kombination der Daten der letzten 5 Montage.

Aus der Verhaltensvorhersage wurde dort, wo möglich, weil vom selben Tag auch Smart-Meter-Daten vorhanden waren, zusätzlich individuelle Haushaltsgewichte für die definierten Userinputmöglichkeiten berechnet und zur ursprünglichen Stromverbrauchsvorhersage addiert.

Zudem wurde die Mongo-DB-Komponente am Server angepasst. Um Datenbank-Trigger nutzen zu können, wurde die MongoDB als Replica-Set mit einem Node gestartet. Durch die dadurch nutzbare Watch-Funktionalität können nicht nur automatisch bei Fileupload die Smart-Meter-Daten-Zeitreihen in die MongoDB eingespielt werden, sondern auch die Berechnung von Vorhersagen des Modells angestoßen werden, sobald a) ein neuer Tag anbricht oder b) der User eine neue Verhaltensvorhersage eingibt (siehe Abbildung 8 der schematischen Darstellung der Verbesserung der Vorhersagen).

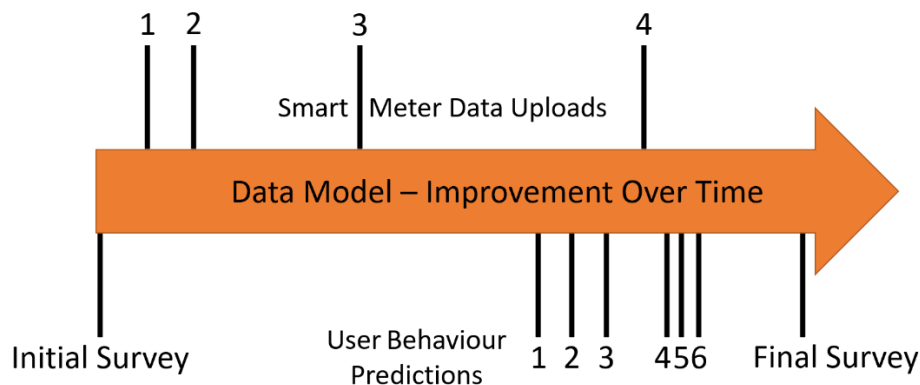


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Verbesserung der Stromverbrauchsvorhersage über die Zeit. Die schwarzen Striche stellen die wichtigsten Interaktionen der Nutzer:innen mit der GameOpSys-App dar.

5.4. App-ready Lösung GameOpSys und ihre Gamification-Aspekte

Die im Zuge des Projekt GameOpSys entwickelte gleichnamige App-ready Lösung dient als **bidirektionaler Kommunikationskanal zwischen Nutzer:innen und Forscher:innen**. Durch eine Presseaussendung unter dem Titel "Mobile App generiert Daten für das Energiemanagement der Zukunft"¹⁶ wurde die breite Öffentlichkeit über die Entwicklungen informiert. Ein Großteil der Applikationen und Services sind als **Open-Source-Entwicklungen** auf der Github-Organisation der TUG-CPS-Group verfügbar¹⁷. Das Tool erlaubt es, Verhaltensdaten zu sammeln und gleichzeitig Statusinformationen und Verhaltensinterventionen zu versenden. Durch die App-ready Lösung werden von den Nutzer:innen (i) statische Information über ihren Haushalt, ihren sozio-demographischen Hintergrund sowie die Anzahl und Art der von ihnen verwendeten elektronischen

¹⁶ <https://www.tugraz.at/tu-graz/universitaet/klimaneutrale-tu-graz/einzelansicht/article/mobile-app-generiert-daten-fuer-das-energiemanagement-der-zukunft/>

¹⁷ <https://github.com/tug-cps>

Geräte erhoben und (ii) dynamische Vorhersagen über das geplante Verhalten der Nutzer:innen gesammelt.

Während die statischen Haushaltsinformationen hauptsächlich zur Einschätzung und Verbesserung des Sparpotentials verwendet werden, dienen die dynamischen Information neben ihrer Rolle in den Verhaltensinterventionen zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit in den Prognosemodellen.

Frontend: MobileApp

Das Frontend der im Zuge der Feldstudie verwendeten App-ready Lösung wurde für das **Android-Betriebssystem** entwickelt. Die weite Verbreitung von Smartphones, sowie deren Konnektivitätskapazitäten unterstreichen die Rolle, die Smartphones als Plattform für die wissenschaftliche Datensammlung und Intervention spielen. Mit einem Mindest-Android-API-Level von 21 (Android 5.0 Lollipop) war es möglich, einen Großteil der zum Zeitpunkt der Studiendurchführung aktiven Android-Geräte zu unterstützen. Während im Rahmen der Studie die Appentwicklung auf die Android-Plattform beschränkt war, gibt es Pläne, das User-Interface auch um eine Version für iOS und/oder eine HTML5-basierte, Betriebssystem-agnostische Version zu erweitern.

Die folgenden Abbildungen sollen einen **Eindruck des Frontends** vermitteln und zeigen, welche **Funktionalitäten** von den Nutzer:innen genutzt werden können.



Abbildung 9: Startmenü – Erfolgsübersicht, Hochladen der Stromverbrauchsdaten vom Smart Meter, Verhaltensvorhersagen, Visualisierung des bisherigen Stromverbrauchs, ein Archiv der bisher abgegebenen Verhaltensvorhersagen, Zugang zu Begleitfragebögen und Konfiguration.

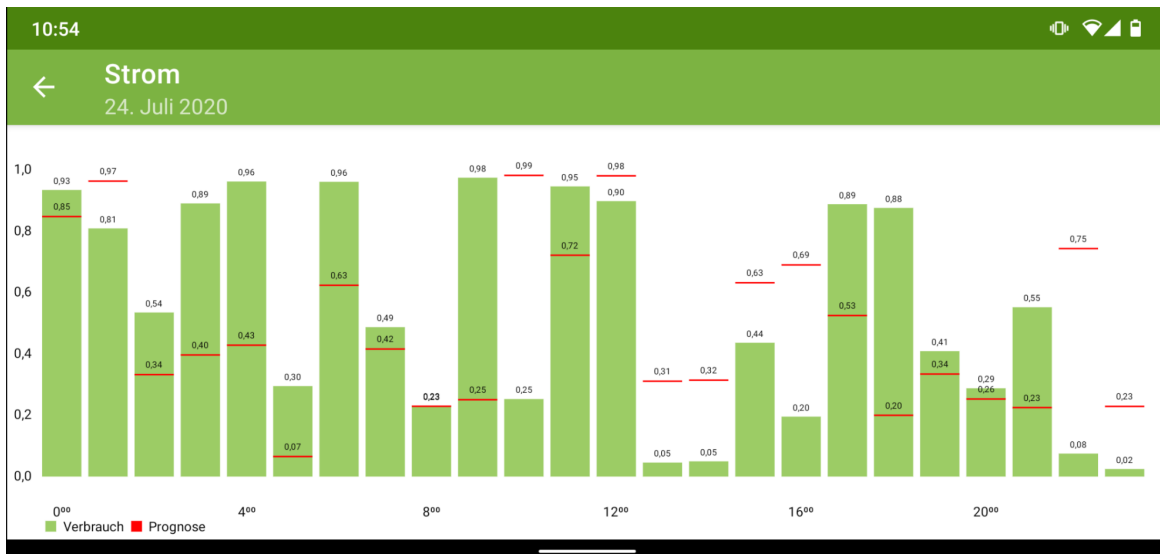


Abbildung 10: Übersicht des Stromverbrauchs – Die grünen Balken stellen die tatsächlich vom Smart Meter erfassten Werte dar, die roten Markierungen sind initiale Verbrauchsvorhersagen, die auf Basis der von den Nutzer:innen abgegebenen Verhaltensvorhersagen erstellt wurden.

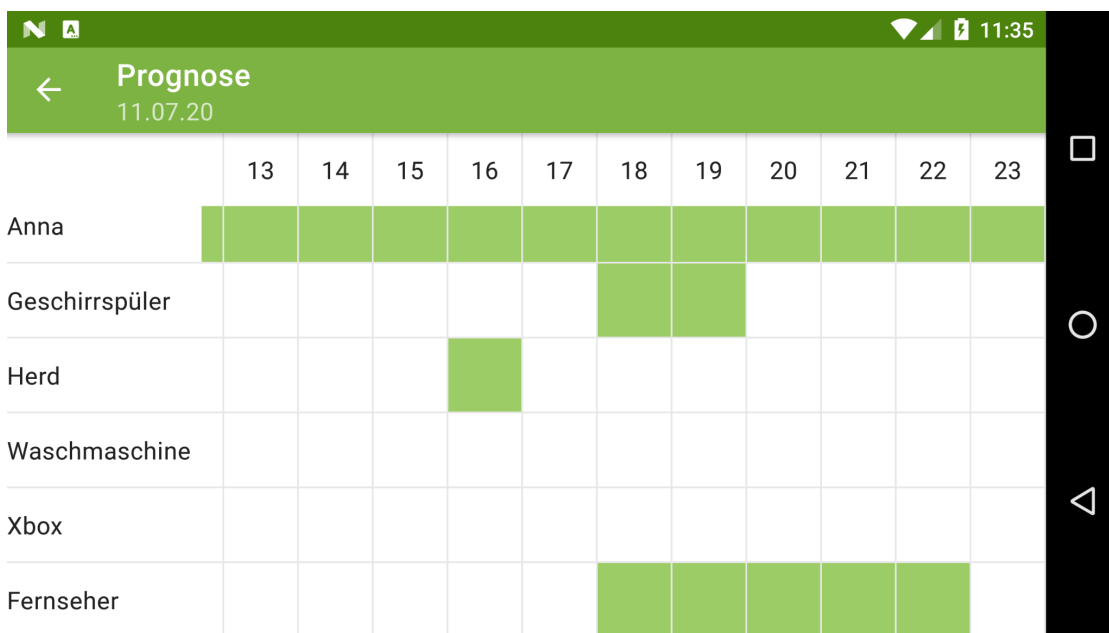


Abbildung 11: Verhaltensvorhersage – Geplante Nutzung elektrischer Geräte und Anwesenheit im Haushalt für den nächsten Tag können in einem Ein-Stunden-Raster angegeben werden. Anzahl und Art der Geräte sowie Anzahl der Haushaltsmitglieder sind anpassbar.

Gamification

Wie aus der Darstellung des Frontends ersichtlich, wurden in der App erfolgreich verschiedenste Gamification-Elemente realisiert. Im Fokus steht die Komponente „Belohnung für eine wiederkehrende Kernaufgabe“ [Deterding 2011b]. Die Darstellung der Erfolge erfolgte hierbei in Abhängigkeit der von den User:innen bereitgestellten Daten. Wie in Abbildung 12 ersichtlich, besteht die Kernaufgabe in einer zuverlässigen Bereitstellung von Verhaltensprognosen sowie dem Hochladen der Stromverbrauchsdaten durch die Nutzer:innen. Diese Funktion der App bietet zudem zukünftig die Möglichkeit, andere oder weitere Kernaufgaben zu definieren und zu integrieren. So wäre hier z.B. die Rückmeldung bezüglich des Erreichens von spezifischen Zielen beim Stromverbrauch denkbar.



Abbildung 12: Erfolge – Es werden sowohl die angestrebten Erfolge, der persönliche Stand innerhalb der einzelnen Erfolge, als auch die Summe der erreichten Erfolge dargestellt.

Darüber hinaus entsteht bei der Nutzung der App durch die benutzerfreundliche Darstellung der Übereinstimmung zwischen tatsächlichem und prognostiziertem Stromverbrauch (siehe Abbildung 10) die implizite Aufforderung der Optimierung. Dieser Aufforderungscharakter wird durch die Benennung des Buttons im Startmenü mit „Strom – meine Präzision“ unterstrichen. Über die Zeit erfahren die User:innen eine mehr oder minder große Übereinstimmung der Stromverbrauchsdaten, die durch eine Übereinstimmung der Verhaltensdaten beeinflusst wird. Je zuverlässiger das geplante mit dem tatsächlich gezeigten Verhalten übereinstimmt, desto präziser kann der Stromverbrauch vorhergesagt werden. Diese Erfahrung wird durch die Bereitstellung der Archivdaten unterstützt. Den Nutzer:innen wird es ermöglicht, eigenständig Verhaltensmuster aufzudecken, Schwierigkeiten bei der Verhaltensvorhersage zu identifizieren und Zusammenhänge zu identifizieren.

Backend: Microservices

Der Datenaustausch zwischen der App und der Serverinfrastruktur ist in einer programmiersprachenagnostischen **RESTful-API-Spezifikation** definiert. Die am Server verfügbaren Funktionalitäten sind modular als Microservices implementiert und kapseln ihre Abhängigkeiten und Konfigurationen in "Containern", die vom Virtualisierungsservice **Docker** verwaltet, aktualisiert und bereitgestellt werden. Die Services sind jeweils in virtuellen Netzwerken gruppiert und die Verbindung zum Client, der die notwendigen Operationen am Datenbankservice implementiert, mittels **Zwei-Faktor-Authentifizierung** gesichert.

5.5. Empirische Studie

In der abschließenden Phase der **empirischen Studie** wurden von Juli 2020 bis September 2020 Teilnehmer:innen rekrutiert und deren Daten ausgewertet. Aufgrund einer zu geringen Teilnehmer:innen-Rate wurde zusätzlich eine Online-Umfrage zur Akzeptanz von Smart Metern durchgeführt. Für die **Pilotstudie** wurden Fragebögen designt bzw. auch Online-Fragebögen programmiert, Datenverarbeitungs-Vereinbarungen erstellt, ein Server an der Karl-Franzens-Universität beantragt und eingerichtet, ein Ethikantrag für die Studie bei der Ethikkommission eingereicht, Rekrutierungsmaterial erstellt, Kontakte zu Multiplikatoren (z.B. Netzbetreibern) hergestellt und ein Skript für semi-strukturierte Follow-Up Interviews erstellt. Für die Rekrutierung wurden 23 unterschiedliche Plattformen genutzt, wie z.B. ein Homepage-Aufruf über Netz Oberösterreich, Flyer in diversen Gemeinden, oder aber via Facebook, ioBroker¹⁸ und Homematic¹⁹ Freunde herangezogen. Für die **Smart-Meter-Umfrage** wurde eine Literaturrecherche und -aufarbeitung zu vergleichbaren Studien durchgeführt, der Fragebogen erstellt und programmiert, ein Ethikantrag eingereicht und eine Pre-Registrierung (Forschungsfrage, Hypothesen, Power-Analysen) erstellt und bei AsPredicted.org eingereicht. Die Umfrage wurde via clickworker⁴ durchgeführt.

Die **Ergebnisse der Pilotstudie** konnten zwar aufgrund der geringen Teilnehmer:innenzahl nicht detailliert statistisch ausgewertet, aber dennoch deskriptiv dargestellt sowie einer inhaltlichen Analyse der Interviews unterzogen werden. Neun Nutzer:innen luden Smart-Meter-Daten hoch, zwei Nutzer:innen luden auch nicht valide Files (Auflösung des Stromverbrauchs auf Tages- statt auf 15min-Ebene) hoch. Von acht Usern war eine relevante Anzahl an Tagen mit vollständigen Smart-Meter-Daten verfügbar. Sechs User gaben zumindest acht Verhaltensvorhersagen an, aber bei nur drei Usern ergab sich eine relevante Anzahl an Tagen mit Smart-Meter-Daten und Verhaltensvorhersage. Von den Teilnehmenden bei der Pilotstudie wurde mit drei Personen **abschließend ein vertiefendes semi-strukturiertes Interview** durchgeführt. Dabei standen Fragen zur Usability der App (z.B. Wie haben Sie die Prognosen des Stromverbrauches wahrgenommen? Wie war die Eingabe des strombezogenen Verhaltens?) und zur Bereitschaft, die App langfristig zu nutzen, im Mittelpunkt. Darüber hinaus wurde allgemein nach Verbesserungsmöglichkeiten für die App und für die Studie an sich gefragt. In diesen Gesprächen wurde deutlich, dass auf der einen Seite die **Funktionalität der App bezogen auf die Verhaltensvorhersagen durchaus als gelungen bezeichnet werden kann** (voreingestellte Vorhersagen waren hilfreich, Einträge konnten schnell und einfach erfolgen), aber die App als Ganzes weiterentwickelt werden muss, um eine höhere Stabilität,

¹⁸ <https://www.iobroker.net/>

¹⁹ <https://homematic-ip.com/de>

Nutzer:innen-Freundlichkeit und Nutzungshäufigkeit zu erreichen. Dafür wurden konkrete Vorschläge von den Nutzer:innen genannt: konfigurierbare Erinnerung an Dateneintrag, Dokumentation des Dateneintrages, Feedback zum erfolgreichen Hochladen der Stromverbrauchsdaten, umfangreicheres Gamification-System, vielfältigere Darstellungsmöglichkeiten für die Daten und ihre Zusammenhänge, weiterführende Informationen zum persönlichen Impact (des eigenen Stromverbrauchs, des eigenen Verhaltens).

Ergebnisse der Smart-Meter-Umfrage: Insgesamt haben 330 Personen bei clickworker⁴ an der Umfrage teilgenommen. Davon mussten jedoch mehrere basierend auf vorab definierten Kriterien (z.B. Instruktionen nicht aufmerksam gelesen, offene Fragen nicht beantwortet, zu viele Missings) ausgeschlossen werden. Am Ende flossen die Daten von 254 Personen aus ganz Österreich in die Analyse ein. Neben einer deskriptiven Betrachtung der Stichprobe wurden mit Regressionsanalysen untersucht, welche Faktoren die Einstellung zu Smart Metern und die Bereitschaft, den Smart Meter aktiv zu nutzen, vorhersagen. Dabei zeigte sich, dass insbesondere die Wahrnehmung, dass Smart Meter einen positiven Beitrag zur Bewältigung der Umweltkrise leisten können, mit einer positiven Einstellung einhergeht. Je höher jedoch Befürchtungen bezüglich Risiken, wie z.B. Datenmissbrauch, ausgeprägt sind, desto negativer ist die Einstellung zu dieser Technologie. Die Vertrautheit mit Smart Meter, die in der Stichprobe sehr unterschiedlich war, spielte genauso wie das allgemeine Bewusstsein für die Problematik der Umweltkrise nur eine untergeordnete Rolle. Je positiver die Einstellung zu Smart Metern war, desto eher wurde auch eine aktive Nutzung, wie z.B. regelmäßige Überprüfung des Stromverbrauchs, antizipiert bzw. berichtet. In einer explorativen Analyse wurden neben der Einstellung zusätzlich die anderen Variablen als Prädiktoren für aktive Nutzung einbezogen. Hier zeigen sich Hinweise, dass neben der Einstellung lediglich die Risikowahrnehmung Varianz in der antizipierten bzw. berichteten Nutzung erklären kann. Obwohl die Risikowahrnehmung negativ mit der Einstellung und der (antizipierten) Nutzung korreliert, findet sich in dieser Analyse ein positiver Zusammenhang. Der Zusammenhang zwischen Risikowahrnehmung und Nutzung von Smart Meter scheint also sowohl verstärkende als auch vermindernde Anteile zu umfassen und bedarf genauerer Untersuchungen. Insgesamt bietet die Studie wertvolle Hinweise, welche Aspekte bei der Einführung von Smart Metern kommuniziert werden sollten, wenn Akzeptanz und eine aktive Einbindung von Nutzer:innen und Nutzern in Energiesysteme mit Hilfe dieser Technologie angestrebt werden.

Highlights

Als ein Projekt-Highlight ist der im Mai 2019 in Graz abgehaltene und in 5.1 beschriebene **Stakeholder-Workshop** zu nennen, an dem neben Vertreter:innen aller Projektpartner auch diverse Unternehmen wie die Energie Graz und Alpenstrom, aber auch Expert:innen zu Datenvisualisierung und Human Computer Interaction teilgenommen haben. Nach einer Vorstellung der vorab innerhalb des GameOpSys-Konsortiums definierten Use Cases wurde gemeinsam mit den weiteren Stakeholdern eine SWOT-Analyse durchgeführt und Feedback sowie potenzielle andere Use-Case-Ideen gesammelt.

Zwei Highlights waren die **Publikation des State-of-the-Art-Papers** *Schweiger, Gerald, Lisa V. Eckerstorfer, Irene Hafner, Andreas Fleischhacker, Johannes Radl, Barbara Glock, Matthias Wastian, u. a. „Active Consumer Participation in Smart Energy Systems“. Energy and Buildings 227 (November 2020): 110359. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110359>*, aber auch die **Publikation auf der BAUSIM:** *Schranz, T., Schwengler, T., Corcoran, K., Eckerstorfer, L., & Schweiger, G. (2020). Mobile*

application for active consumer participation in building energy systems. Conference Paper at BauSIM in Graz, Austria. <https://openlib.tugraz.at/download.php?id=6059b4572d6eb&location=browse>.

Ein weiteres Highlight war die **Einladung der Digitalisierungsplattform Austrian Digital Value (ADV)**, welche am 20.02.2020, gemeinsam mit der FIWARE Foundation, zu einer Tagung an der FH Technikum Wien einlud. Dort wurden Best-Practice-Beispiele aus dem kommunalen Bereich mit Fokus auf der Verwendung von Komponenten der FIWARE-Plattform vorgestellt und demonstriert. Matthias Wastian (dwh) und Thomas Schranz (TU Graz) durften dort das gemeinsam mit der TU Wien und der KFU Graz durchgeführte Projekt GameOpSys präsentieren.

Am 20.05.2021 wurden die Projektergebnisse aus GameOpSys zudem beim virtuell abgehaltenen **„Stadt der Zukunft“ Themenworkshop** erfolgreich vorgestellt. Die Vortragsunterlagen sind unter <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/veranstaltungen/2021/20210520-sdz-themenworkshop.php> online verfügbar.

5.6. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“ und Bezug zu den Gesamtzielen des Programms

Programmziele der Stadt der Zukunft, die adressiert wurden sind:

- Ziel 1 **„Beitrag zur Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität“**: Durch bessere Planbarkeit der Energieversorgung können volatile Energieträger besser in das System integriert werden.
- Ziel 2: **„Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz“**: Die ermöglichten Verbesserungen für die Regelungen bringen eine Optimierung der Infrastruktur und der Dienstleistung mit sich.
- Ziel 3: **„Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet intelligenter Energielösungen für Gebäude und Städte“**: Die entwickelte Anwendung ist universal einsetzbar und soll in Folge auch ins Ausland exportiert werden.

6 Schlussfolgerungen

Fachliche Einschätzung

Unterschiedliche Rahmenbedingungen bei der Bereitstellung der Smart-Meter-Daten verstärkten die Tatsache deutlich, dass ein vollständiges Datenbild pro Nutzer:in relativ schwer zu erreichen ist. Als Beispiel seien hier nicht nur die unterschiedlichen, teils etwas veralteten Dateiformate, in denen die Smart-Meter-Daten bereitgestellt werden, genannt, sondern auch die Tatsache, dass manchmal zu Monatsbeginn eine neue Datei begonnen wurde, ohne, dass dies den Nutzer:innen auffiel. Deswegen fehlen bei manchen Nutzer:innen Smart-Meter-Daten vorwiegend gegen Monatsende. Eine **Standardisierung der Bereitstellung von Smart-Meter-Daten**, im Optimalfall auch über eine automatische Schnittstelle, deren Nutzungsfreigabe den mündigen Haushaltsbewohner:innen unterliegt, ist jedenfalls genauso empfehlenswert wie das Sammeln von anonymisierten Daten zur wissenschaftlichen Verwendung.

Weiterverwertung der Projektergebnisse

TUG, KFU und DWH sind Konsortialpartner in dem bereits gestarteten **ERA-Net-Forschungsprojekt I-GReta²⁰** (Lead RWTH Aachen, insgesamt 17 Konsortialpartner). Zudem wurde die Einreichung des Forschungsvorhabens **ESSIC** unter Beteiligung der genannten Partner bei dem **FFG-Programm Energieforschung** im April 2021 durchgeführt, das im Wesentlichen den Use Case aus dem Stakeholder-Workshop – lokaler Energiemarkt – zum Inhalt hatte. Zusätzliche weiterführende F&E-Aktivitäten sind aktuell in Evaluierung bzw. Planung.

Zielgruppe & Relevanz der Projektergebnisse

Neben den Nutzer:innen der App, die als klassische Zielgruppe als Privatpersonen einen Haushalt bewohnen, sind die Projektergebnisse insbesondere für Großstromabnehmer mit stark schwankendem Strombedarf (beispielsweise große Fabriken) und deren Energieversorger von Interesse. Die Ergebnisse der Entwicklung sind zudem auch zumindest teilweise weiterverwendbar für Systeme, die auch Strom produzieren, sowie übergeordnete Systeme.

Bisherige Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten & Marktpotenzial

Publikationen:

- Schweiger, Gerald, Lisa V. Eckerstorfer, Irene Hafner, Andreas Fleischhacker, Johannes Radl, Barbara Glock, Matthias Wastian, u. a. „Active Consumer Participation in Smart Energy Systems“. *Energy and Buildings* 227 (November 2020): 110359. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110359>.
- Schranz, T., Schwengler, T., Corocoran, K., Eckerstorfer, L., & Schweiger, G. (2020). Mobile application for active consumer participation in building energy systems. Conference Paper at BauSIM in Graz, Austria. <https://openlib.tugraz.at/download.php?id=6059b4572d6eb&location=browse>.
- Aktuell ist eine weitere Publikation mit den **Ergebnissen der Smart Meter Acceptance Studie** in Vorbereitung. Das Manuskript mit dem vorläufigen Titel "Familiarity, sustainability, impact

²⁰ <https://www.i-greta.eu/>

and risk predicting acceptance and subsequent engagement with smart meters“ wird in Kürze beim *Journal of Environmental Psychology* eingereicht.

Konferenzbesuche:

- TU Graz hat an der **“International Conference on Smart Energy Systems”** in Porto teilgenommen, wobei Gerald Schweiger die Entwicklungen im Bereich der Modellierung von Gebäuden und Quartieren präsentiert hat. In dem Vortrag wurden zentrale Möglichkeiten aber auch Probleme und Barrieren von Modellierungsparadigmen für intelligente Gebäude und Quartiere präsentiert.
- TU Graz hat im April 2019 an dem **IBPSA Project 1 Expert Workshop** in Aachen teilgenommen. Im IBPSA Project 1 werden open source Computational Tools und Methoden für smarte Gebäude und Quartiere entwickelt, die auch für GameOpSys von großer Relevanz sind.
- Bei dem **19ten General Meeting der European Association of Social Psychology 2020** war ein Symposium mit dem Titel **“Transitioning to a Sustainable Energy System – the Role of Social Psychology”** eingereicht und wurde auch akzeptiert. Hier sollten Kontakte mit Kolleg:innen aus der UK (Francesca Tiroto, Sabine Pahl, Hazel Gibson, Iain Stewart, Christopher R. Jones, Roh-Pin Lee) und den Niederlanden (Goda Perlaviciute, Lorenzo Squintani, Lise Jans) vertieft werden. Leider wurde die Konferenz abgesagt.

Abschlussarbeiten:

Betreut von Katja Corcoran an der Universität Graz:

- Voigt, Lea (2021) Ist Umweltverhalten etwas „Persönliches“? Die Vorhersagekraft von Offenheit für Erfahrungen für den Stromverbrauch vermittelt über Werte und Glaubenssätze
- Schneider, Verena (2020) Die Menschheit als Teil des Selbst - Das Potential sozialer Identität in der Umweltkrise

Betreut von Franz Wotawa an der TU Graz:

- Schranz, Thomas (Dissertation) Artificial Intelligence in Smart Energy Systems.

Lehre:

- Relevante Aspekte von GameOpSys werden bei den Partnern auch in der Lehre eingebunden. Prof. Corcoran unterrichtete im WS 19/20 und 20/21 ein Seminar bzw. Übung zum Thema Behavioral Change in dem u.a. psychologische Determinanten von umweltbewussten Verhalten (wie z.B. Energiesparen und Partizipation an intelligenten Energiesystemen) thematisiert werden.

Veranstaltungen:

- Am 20.05.2021 wurden die Projektergebnisse aus GameOpSys beim virtuell abgehaltenen **„Stadt der Zukunft“ Themenworkshop** vorgestellt.
- **Einladung der Digitalisierungsplattform Austrian Digital Value (ADV):** am 20.02.2020, gemeinsam mit der FIWARE Foundation wurde das Projektteam zu einer Tagung an der FH Technikum Wien eingeladen. Dort wurden Best-Practice-Beispiele aus dem kommunalen Bereich mit Fokus auf der Verwendung von Komponenten der FIWARE-Plattform vorgestellt und demonstriert. Matthias Wastian (dwh) und Thomas Schranz (TU Graz) durften dort das gemeinsam mit der TU Wien und der KFU Graz durchgeführte Projekt GameOpSys präsentieren.

- **Interner Workshop bei den Energieversorgungsunternehmen** Energie AG und Energie Burgenland AG, bei dem das Projekt und dessen Zwischenergebnisse vorgestellt wurden.
- Im Mai 2019 wurde in Graz ein **Stakeholder-Workshop** von den Projektpartnern organisiert und abgehalten, an dem neben Vertreter:innen aller Projektpartner auch diverse Unternehmen wie die Energie Graz und Alpenstrom, aber auch Expert:innen zu Datenvisualisierung und Human Computer Interaction teilgenommen haben. Nach einer Vorstellung der vorab innerhalb des GameOpSys-Konsortiums definierten Use Cases wurde gemeinsam mit den weiteren Stakeholdern eine SWOT-Analyse durchgeführt und Feedback sowie potenzielle andere Use-Case-Ideen gesammelt.

Marktpotenzial:

Dank der im Projekt entwickelten Methoden und durch die Veröffentlichung der App-ready Lösung als Alpha-Version im Google Playstore konnte das Marktpotenzial deutlich gesteigert werden. Ein zukünftiger ergänzender Fokus auf Prosumer und auf Entitäten mit großem und sehr variablem Stromverbrauch sowie einem Ausbau der User-Interaktionen und einer gesteigerten Awareness zu Treibern des eigenen Stromverbrauchs bietet nicht nur gesteigerte Marktchancen für Lösungen zur Vermeidung von Verbrauchsspitzen, sondern auch für User-zentrierte Lösungen zur Verringerung von Stromverbrauch sowie Optimierung der Eigenstromnutzung und damit auch der Kosten.

7 Ausblick und Empfehlungen

Eine Standardisierung der Bereitstellung von Smart-Meter-Daten, im Optimalfall auch über eine automatische Schnittstelle, deren Nutzungsfreigabe den mündigen Haushaltsbewohnern unterliegt, ist jedenfalls eine konkrete Empfehlung aus GameOpSys.

Neben einem ergänzenden Fokus auf Prosumer, der von den Konsortialpartnern des hier beschriebenen Projekts in Zukunft angestrebt wird und eine Erweiterung der Datenplattform erfordert, aber auch neue Potenziale greif- und nutzbar macht, besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Integration weiterer externer Datenquellen sowie der Skalierung auf die Vorhersage des Stromverbrauchs für eine große Anzahl an Haushalten und anderen Entitäten. Zudem liegt ein hohes Innovationspotenzial in der Entwicklung von automatisierten Ansätzen zur Steuerung von Speicher- und Ladevorgängen.

Explainable AI bietet einen vielversprechenden Ansatz, um Nutzer:innen den eigenen Stromverbrauch oder auch die eigene Stromproduktion in Zukunft erklärbarer aufbereiten zu können.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektübersicht.....	15
Abbildung 2: Identifikation der Geschäftsmodellbetreiber und Akteure	25
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Datenerfassung.....	26
Abbildung 4: Boxplot des Stromverbrauchs über die Monate des Users 13, welcher eine Stromheizung besitzt.....	27
Abbildung 5: Boxplot des Stromverbrauchs pro Tag des Users 01. An Sonntagen ist die Varianz des Stromverbrauchs pro Tag am größten, vermutlich aufgrund der großen Fluktuation hinsichtlich der Anwesenheit und Ausreißer gibt es nur nach oben.....	28
Abbildung 6: Diese Decomposition zeigt eine starke Tagessaisonalität (insbesondere im dritten Plot von oben, dem saisonalen Teil der Decomposition, gut erkennbar) sowie fehlende Daten gegen Monatsende (überall gut erkennbar). Der dargestellte Zeitraum des beobachteten Energieverbrauchs (oberster Plot) ist 01.07. bis 23.07.....	28
Abbildung 7: Boxplot auf Stundenebene von User 13 der durchschnittlichen Verbrauchsspitzen in der Früh, zu Mittag und am Abend.....	29
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Verbesserung der Stromverbrauchsvorhersage über die Zeit. Die schwarzen Striche stellen die wichtigsten Interaktionen der Nutzer:innen mit der GameOpSys-App dar.	30
Abbildung 9: Startmenü – Erfolgsübersicht, Hochladen der Stromverbrauchsdaten vom Smart Meter, Verhaltensvorhersagen, Visualisierung des bisherigen Stromverbrauchs, ein Archiv der bisher abgegebenen Verhaltensvorhersagen, Zugang zu Begleitfragebögen und Konfiguration.	31
Abbildung 10: Übersicht des Stromverbrauchs – Die grünen Balken stellen die tatsächlich vom Smart Meter erfassten Werte dar, die roten Markierungen sind initiale Verbrauchsvorhersagen, die auf Basis der von den Nutzer:innen abgegebenen Verhaltensvorhersagen erstellt wurden.	32
Abbildung 11: Verhaltensvorhersage – Geplante Nutzung elektrischer Geräte und Anwesenheit im Haushalt für den nächsten Tag können in einem Ein-Stunden-Raster angegeben werden. Anzahl und Art der Geräte sowie Anzahl der Haushaltsmitglieder sind anpassbar.....	32
Abbildung 12: Erfolge – Es werden sowohl die angestrebten Erfolge, der persönliche Stand innerhalb der einzelnen Erfolge, als auch die Summe der erreichten Erfolge dargestellt.....	33

Literaturverzeichnis

- [Christiano 2017] Christiano Paul et al.: Deep reinforcement learning from human preferences. <https://arxiv.org/abs/1706.03741>, 2017.
- [Deterding 2011a] Deterding Sebastian et al.: Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts. In CHI'11 extended abstracts on human factors in computing systems 2011.
- [Deterding 2011b] Deterding Sebastian et al.: From game design elements to gamefulness: defining gamification. 15th international academic MindTrek conference, 2011.
- [Engel 2017] Engel Georg et al.: Simulation of a Seasonal, Solar-Driven Sorption Storage Heating System. Journal of Energy Storage, 2017.
- [Fang 2014] Fang Hongqing, Hu Chen: Recognizing human activity in smart home using deep learning algorithm. Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference, 2014.
- [Hafner 2013] Hafner Irene, Rößler Matthias: Development of a Compartment Model for the Simulation of Thermal Processes in Production Halls. Eurosim 2013, 2013.
- [Ho 2016] Ho Jonathan, Ermon Stefano: Generative Adversarial Imitation Learning. <https://arxiv.org/abs/1606.03476>, 2016.
- [Hochreiter 1997] Hochreiter Sepp, Schmidhuber Jürgen. Long short-term memory. Neural Computation, 1997.
- [Köll 2017] Köll R et al.: An experimental investigation of a realistic-scale seasonal solar adsorption storage system for buildings. Solar Energy, 2017.
- [Michie 2011] Michie Susan et al.: The behaviour change wheel: a new method for characterising and designing behaviour change interventions. Implementation science, 2011.
- [Michie 2013] Michie Susan et al.: The behavior change technique taxonomy (v1) of 93 hierarchically clustered techniques: building an international consensus for the reporting of behavior change interventions. Annals of behavioral medicine, 2013.
- [Mnih 2015] Mnih Volodymyr et al.: Human-level control through deep reinforcement learning. Nature, 2015.
- [Park 2016] Park S.U. et al.: A Depth Camera-based Human Activity Recognition via Deep Learning Recurrent Neural Network for Health and Social Care Services. Procedia Computer Science, 2016.
- [Rudkowsky 2017] Rudkowsky Elena et al.: Supervised Sentiment Analysis of Parliamentary Speeches and News Reports. 67th Annual Conference of the International Communication Association (ICA), Panel on 'Automatic Sentiment Analysis', 2017.
- [Schultz 2015] Schultz Paul Wesley et al.: Using in-home displays to provide smart meter feedback about household electricity consumption: A randomized control trial comparing kilowatts, cost, and social norms. Energy, 2015.
- [Schweiger 2017a] Schweiger Gerald et al.: The potential of power-to-heat in Swedish district heating systems. Energy. 2017.
- [Schweiger 2017b] Schweiger Gerald et al.: District heating and cooling systems: Framework for Modelica-based simulation and dynamic optimization. Energy. 2017.

- [Schweiger 2017c]: Schweiger Gerald et al.: Framework for dynamic optimization of district heating systems using Optimica Compiler Toolkit. 12th International Modelica Conference, 2017.
- [Schweiger 2018] Schweiger Gerald et al.: Co-Simulation: Leveraging the Potential of Urban Energy System Simulation. Euro Heat Power, 2018.
- [Sherman 2006] Sherman David K et al.: Approach/avoidance motivation, message framing, and health behavior: Understanding the congruency effect. Motivation and Emotion, 2006.
- [Sobottka 2017] Sobottka Thomas et al.: Increasing Energy Efficiency in Production Environments Through an Optimized, Hybrid Simulation-based Planning of Production and Its Periphery. Procedia CIRP, 2017.
- [Sobottka 2018] Sobottka Thomas et al.: Hybrid simulation-based optimization of discrete parts manufacturing to increase energy efficiency and productivity. 15th Global Conference on Sustainable Manufacturing, 2018.
- [Vredenburg 2002] Vredenburg Karel et al.: A survey of user-centered design practice. SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 2002.
- [Wastian 2013] Wastian Matthias et al.: Using Data Mining and Machine Learning Methods for Server Outage Prediction - Modelling Normality and Anomalies. International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconference. 2013.
- [Wastian 2017] Wastian Matthias et al.: How Modelling and Simulation Can Benefit the Most from Machine Learning. SNE Simulation Notes Europe, 2017.
- [Wastian 2018] Wastian Matthias et al.: DEXHELPP HEALTH CARE ATLAS OF AUSTRIA. In Proceedings of the 7th International Workshop on Innovative Simulation for Health Care, 57–62. Budapest, Hungary, 2018.
- [West 2016] West Robert, Michie Susan: A Guide to Development and Evaluation of Digital Behaviour Change Interventions in Healthcare. Silverback Publishing, 2016.
- [Zeigler 2000] Zeigler Bernard P et al.: Theory of modeling and simulation: integrating discrete event and continuous complex dynamic systems. Academic Press, 2000.

Abkürzungsverzeichnis

DL	Deep Learning
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
F&E	Forschung und Entwicklung
HLK	Heizung, Lüftung und Klimatechnik
ML	Machine Learning

9 Anhang

9.1. Datenverarbeitungsvereinbarung

Vereinbarung gemäß Art. 26 DSGVO betreffend die gemeinsame Verantwortung im Rahmen des FFG-Forschungsprojekts GameOpSys (FFG Projektnummer 867358)

Die **Universität Graz** (im Folgenden Universität Graz oder Uni Graz), Universitätsplatz 3, 8010 Graz, vertreten durch Univ.-Prof. Dr. Katja Corcoran, Institut für Psychologie,

die **Technische Universität Graz** (im Folgenden TU Graz), Rechbauerstraße 12/I, 8010 Graz, Institut für Softwaretechnologie, vertreten durch Dr. Mag. Gerald Schweiger MA MA, und

die **dwh GmbH** (Firmenbuchnummer 341557s), Neustiftgasse 57-59, 1070 Wien, vertreten durch CSO Dr. Niki Popper

sind im Rahmen des **kooperativen Forschungsprojekts „Gamification für die Optimierung des Energieverbrauchs von Gebäuden und übergeordneten Systemen (GameOpSys)“** gemeinsam Verantwortliche für die **Verarbeitung personenbezogener Daten** und treffen als solche die folgende Vereinbarung:

Präambel

Entscheiden zwei oder mehrere Verantwortliche gemeinsam über die Zwecke und Mittel der Datenverarbeitung, ist gemäß Art 26 DSGVO der Abschluss einer Vereinbarung erforderlich, in welcher die gemeinsam Verantwortlichen in transparenter Form die bestehenden Verpflichtungen nach der DSGVO festlegen und verteilen.

§ 1 Gegenstand der Datenverarbeitung

(1) Der Gegenstand der gemeinsamen Datenverarbeitung und somit auch der Zweck, die Art und der Umfang der Erhebung, Verarbeitung und Nutzung der personenbezogenen Daten ergibt sich aus dem Konsortialvertrag vom 23.1.2019 (Anhang A: Förderansuchen) sowie dem Ethikantrag bei der Ethikkommission der Uni Graz vom 16.3.2020. Demnach führt die Uni Graz die Erhebung der Daten für das Gesamtprojekt aus. Die Daten werden auf einem Server der Uni Graz gespeichert, wo auch Projektmitarbeiter der TUGraz (zuständig für die App-Entwicklung und Wartung der Systeme) und der dwh-GmbH (zuständig für Modellerstellung) Zugriff auf die Daten erhalten.

(2) Etwaige nachträgliche Änderungen der Aufgabenverteilung sind schriftlich zu dokumentieren.

§ 2 Ansprechpartnerin für die betroffenen Personen

- (1) Ansprechpartnerin für die betroffenen Personen, hinsichtlich der Wahrung der Betroffenenrechte und sonstiger Rückfragen ist die **Universität Graz, Institut für Psychologie**. Längens bei der TU Graz oder der dwh-GmbH Anfragen von Betroffenen ein, werden diese umgehend an die Uni Graz, Institut für Psychologie weitergeleitet. Die Uni Graz informiert alle übrigen Verantwortlichen über etwaige datenschutzrechtliche Anfragen von betroffenen Personen (Geltendmachung von Betroffenenrechten).
- (2) Ungeachtet der bezüglich der gemeinsamen Ansprechpartnerin getroffenen Vereinbarung sind sich die Vertragspartien einig, dass betroffene Personen ihre Rechte bei und gegenüber jeder einzelnen der Verantwortlichen geltend machen können.

§ 3 Dauer und Kündigung der gemeinsam verantworteten Datenverarbeitung

- (1) Diese Vereinbarung wird angelehnt an den zugrundeliegenden Konsortialvertrag geschlossen und endet mit diesem.
- (2) Wird der Konsortialvertrag durch eine neue Vereinbarung ersetzt, ist die hier vorliegende Vereinbarung zur gemeinsamen Verantwortung über die Datenverarbeitung auf den neuen Hauptvertrag anzuwenden.
- (3) Die Vertragsparteien sind verpflichtet, auch über das Ende des Vertrags hinaus die ihnen im Zusammenhang mit dem Vertrag bekannt gewordenen Daten vertraulich zu behandeln.

§ 4 Art und Kategorien der personenbezogenen Daten

Im Rahmen des Projekts GameOpSys werden folgende **nicht-sensible** personenbezogene Daten von **Studienteilnehmern** verarbeitet:

- Kontaktdaten: E-Mail
- soziodemographische Variablen
- Stromverbrauchsdaten
- Angaben aus dem Userfeedback

Die Kontaktdaten werden von den sonstigen Daten getrennt aufbewahrt und sind nur über ein Pseudonym verbunden. Kontaktdaten und Pseudonym werden spätestens nach Ende der Untersuchung gelöscht. Nach diesem Zeitpunkt liegen nur noch vollständig anonymisierte Daten vor.

§ 5 Wahrung der Rechte der Betroffenen

- (1) Im Zuge der Datenverarbeitung kommen nach der DSGVO betroffenen Personen umfassende Rechte zu. Hiervon umfasst ist unter anderem das Auskunftsrecht der betroffenen Person, das Recht auf Berichtigung und auf Löschung, das Recht auf Datenübertragbarkeit sowie das Recht auf allgemeinen Widerspruch.
- (2) Für die Wahrung der Betroffenenrechte ist die **Universität Graz, Institut für Psychologie** zuständig (siehe Anlaufstelle gem. § 2). Die Universität Graz wird von den Vertragspartnerinnen bei der Erfüllung dieser Aufgabe, soweit dies erforderlich ist, unterstützt.

§ 6 Pflicht zur Information über die Datenverarbeitung

Um betroffenen Personen alle Informationen über die Verarbeitung der personenbezogenen Daten und alle Mitteilungen, die sich auf die Verarbeitung beziehen, in präziser, transparenter, verständlicher und leicht zugänglicher Form in einer klaren und einfachen Sprache zu übermitteln, wird die Universität Graz den Studienteilnehmern vor Erhebung der Daten eine mit den Projektpartnern abgestimmte Datenschutzerklärung (schriftlich, gegebenenfalls elektronisch) zur Verfügung stellen.

§ 7 Melde- und Benachrichtigungspflichten

(1) Die Verpflichtungen zur Benachrichtigung der von einer Verletzung des Schutzes personenbezogener Daten betroffenen Person gemäß Art 34 DSGVO sind von jenem Verantwortlichen vorzunehmen, bei welchem die Verletzung aufgetreten ist. Dies gilt auch für die unverzügliche Meldung des Verstoßes gegenüber der Datenschutz-Aufsichtsbehörde gemäß Art 33 DSGVO.

(2) Jeder Verantwortliche verpflichtet sich, nach Kenntnisnahme von einer Verletzung alle anderen Verantwortlichen unverzüglich zu informieren und sich gegebenenfalls mit diesen abzustimmen.

(3) Liegt für eine Form der Verarbeitung voraussichtlich ein hohes Risiko für Rechte und Freiheiten der Betroffenen vor, so ist eine Datenschutz-Folgenabschätzung durchzuführen. Sofern sich durch diese Folgenabschätzung ein entsprechend hohes Risiko bestätigt und durch Maßnahmen nicht verringern lässt, haben die Verantwortlichen vor Beginn der Verarbeitung die Datenschutz-Aufsichtsbehörde zu konsultieren.

§ 8 Beiderseitige, nicht aufteilbare Verpflichtungen aus der DSGVO

(1) Alle für die Verarbeitung personenbezogener Daten Verantwortlichen haben entsprechende geeignete technische u. organisatorische Maßnahmen zu ergreifen, welche ein dem Risiko angemessenes Schutzniveau gewährleisten. Wesentlich hierbei ist die dauerhafte Sicherung der Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit und Belastbarkeit. Die Herstellung eines angemessenen Sicherheitsniveaus ist Aufgabe jedes einzelnen für die Datenverarbeitung Verantwortlichen. Alle Verantwortlichen verpflichten sich in ihrem Bereich dazu, die technisch-organisatorischen Maßnahmen entsprechend umzusetzen.

(2) Die Wahrung des Datengeheimnisses ist in jedem Fall sicherzustellen. Alle für die Verantwortlichen handelnden Personen, die auf personenbezogene Daten der Betroffenen zugreifen können, müssen über das Datengeheimnis belehrt und zur Vertraulichkeit verpflichtet werden. Außerdem sind diese Personen über die sich aus dieser Vereinbarung ergebenden besonderen Datenschutzpflichten sowie die bestehende Zweckbindung eingehend zu informieren.

(3) Die in gemeinsamer Verantwortung erfolgende Verarbeitung ist im Verzeichnis über die Verarbeitungstätigkeiten jedes Verantwortlichen zu erfassen.

(4) Die Vertragsparteien im Rahmen dieser Vereinbarung sind im Hinblick auf ihre Verpflichtungen aus den Regelungen der Datenschutzgrundverordnung und anderer Vorschriften über den Datenschutz selbst verantwortlich.

§ 9 Auftragsverhältnisse

Die Einschaltung von Auftragsverarbeitern ist nur mit schriftlicher Zustimmung aller Verantwortlichen gestattet. Vertragliche Vereinbarungen mit Auftragsverarbeitern sind so zu gestalten, dass sie den Datenschutzbestimmungen entsprechen.

Werden Auftragsverarbeiter eingesetzt, sind den Mitverantwortlichen Kontroll- und Überprüfungsrechte entsprechend dieser Vereinbarung beim Auftragnehmer einzuräumen.

§ 10 Prüfungsrechte

Die Verantwortlichen im Rahmen dieser Vereinbarung haben das Recht, die Kontrolle der Einhaltung der vertraglich vereinbarten Datenschutz- und Datensicherungsmaßnahmen bezüglich der im Rahmen dieser Vereinbarung überlassenen personenbezogenen Daten im Einvernehmen mit der Vertragspartnerin durchzuführen oder durch im Einzelfall zu benennende Prüfer/innen durchführen zu lassen. Jeder Verantwortliche hat das Recht, sich durch Stichprobenkontrollen, die rechtzeitig anzumelden sind, von der Einhaltung dieser Vereinbarung zu überzeugen.

§ 11 Haftung gegenüber Betroffenen

(1) Ungeachtet der im Rahmen dieser Vereinbarung getroffenen Abmachungen hinsichtlich der Aufteilung der Verpflichtungen können betroffene Personen ihre Rechte bei und gegenüber jedem einzelnen der Verantwortlichen geltend machen. Die Weiterleitung der Geltendmachung eines Betroffenenrechts im Rahmen dieser Vereinbarung an die Universität Graz, Institut für Psychologie ist zulässig.

(2) Jeder Verantwortliche haftet gem. Art 82 DSGVO für den gesamten durch eine nicht DSGVO konforme Datenverarbeitung entstandenen Schaden zur Sicherstellung eines wirksamen Schadensersatzes für die betroffenen Personen.

(3) Jeder Verantwortliche, durch dessen unrichtige oder unzulässige Datenverarbeitung ein Schaden entstanden ist, haftet gegenüber den Vertragspartnerinnen im Sinne dieser Vereinbarung im Innenverhältnis. Die Haftung im Innenverhältnis hat sich am jeweiligen Verschulden für den etwaigen entstandenen Schaden zu orientieren.

§ 12 Salvatorische Klausel

Sollten einzelne Bestimmungen dieser Vereinbarung unwirksam oder undurchführbar sein oder nach Vertragsschluss unwirksam oder undurchführbar werden, bleibt davon die Wirksamkeit dieser Vereinbarung im Übrigen unberührt. An die Stelle der unwirksamen oder undurchführbaren Bestimmung soll diejenige wirksame und durchführbare Regelung treten, deren Wirkungen der (datenschutz-)rechtlichen Zielsetzung am nächsten kommen, welche die Vertragsparteien mit der unwirksamen bzw. undurchführbaren Bestimmung verfolgt haben. Die vorstehenden Bestimmungen gelten entsprechend für den Fall, dass sich der Vertrag als lückenhaft erweist.

§ 13 Allgemeine Vertragsbestimmungen

(1) Sämtliche im Vertrag erwähnten Anlagen gelten als integrierende Bestandteile der Vereinbarung.

(2) Änderungen und Ergänzungen zu dieser Vereinbarung bedürfen der Schriftlichkeit. Mündliche Nebenabreden bestehen nicht und gelten als nicht getroffen. Von diesem Vertragspunkt kann auch künftig nur schriftlich abgegangen werden.

(3) Diese Vereinbarung unterliegt österreichischem Recht. Gerichtsstand ist das sachlich zuständige Gericht in Graz.

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

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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