

Demonstration und Ausbau eines Anergienetzes als Teil eines ganzheitlichen Energiekonzeptes und Plusenergiequartiers (Anergy2Plus)

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 44/2026

Wien, 2026

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung (interimistisch): DIⁱⁿ (FH) Isabella Warisch

Autorinnen und Autoren:

MSc. Lorenz Leppin, Dr. Ingo Leusbrock (AEE INTEC – Institut für Nachhaltige
Technologien)

Leo Obkircher (Technisches Büro Obkircher)

Jürgen Paar, Roland Wytek (Garten der Generationen e.V.)

Wien, Gleisdorf 2026. Stand: Februar 2024

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an jii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). 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 BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform [nachhaltigwirtschaften.at](https://www.nachhaltigwirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Kurzfassung | 6 |
| 2 | Abstract | 8 |
| 3 | Ausgangslage | 10 |
| 4 | Projekthalt | 14 |
| | 4.1. Analyse und Bewertung des Projektstandes und der geplanten Demonstrationen in Bauphase 1 | 14 |
| | 4.2. Unterstützung Umsetzung und Inbetriebnahme Bauphase 1 | 19 |
| | 4.3. Entwicklung und Implementierung Monitoringkonzept & Durchführung Monitoring | 19 |
| | 4.4. Planung und Szenarienstudien für weitere Bauphasen..... | 20 |
| 5 | Ergebnisse | 21 |
| | 5.1. Energiesystem erster Bauabschnitt und Bewertung | 21 |
| | 5.2. Baubegleitung und Nutzerintegration | 23 |
| | 5.3. Monitoringkonzept & Aufbereitung | 28 |
| | 5.4. Szenarienstudie weitere Bauphase..... | 31 |
| 6 | Schlussfolgerungen | 35 |
| 7 | Ausblick und Empfehlungen | 37 |
| 8 | Verzeichnisse | 38 |

1 Kurzfassung

Das Wohnen und auch die Art und Weise des Zusammenlebens wird sich in den kommenden Jahren und Jahrzehnten stark verändern. Im Zuge der Urbanisierung werden viele Menschen in Ballungszentren ziehen, welche somit zu Hotspots von Energie- und Ressourcenverbrauch werden. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und zunehmender Ressourcenknappheit ist ein Umdenken in unserer Energieversorgung notwendig, besonders im Bereich der Wärme-, Kälte- und Warmwasserversorgung: Hierfür werden 51% des Endenergiebedarfes in der EU verwendet, wobei hier eine signifikante Zunahme des Kältebedarfes in Zukunft erwartet wird. Eine Erreichung jedweder Klimaziele ist somit an eine vollständige Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteversorgung gekoppelt, die jetzt mittels innovativer Konzepte einzuleiten ist. Wärme- und Kältenetze sind hier Schlüsseltechnologien, da sie eine intelligente und nachhaltige Vernetzung von Erneuerbaren, Speichern, Nutzern und Gebäude und Kopplung mit anderen Energieversorgungsnetzen (Strom, Gas) erlauben.

Das Ziel des Projektes „Anergy2Plus“ ist, dass ein gesamtheitlicher Ansatz bei der Auslegung, dem Bau und letztendlich in der Nutzung des Wohnquartiers im Rahmen der Energieversorgung verfolgt werden soll. Besonders im Bereich der thermischen Energieversorgung soll durch die Demonstration des innovativen Versorgungskonzeptes auf Basis eines Anergienetzes ein Projekt mit Leuchtturmcharakter auf dem Weg zum Plusenergiequartier geschaffen werden. Diese Demonstration wird unterstützt mit einem umfassenden Monitoringkonzept. Für die Planung der weiteren Bauphasen werden weitere innovative Maßnahmen auf Komponentenniveau (e.g. PV, PVT, Biomeiler) sowie auf Systemniveau (e.g. Last- und Speichermanagement, Verschränkung von Wärme-, Kälte- und Stromversorgung bis hin zu Microgrids) evaluiert und in Richtung Umsetzung vorangetrieben. Eingebettet in die Demonstration, Betrieb und weitere Planung sind Maßnahmen zur Nutzer:innenintegration.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem umgesetzten Anergienetz ein innovatives und modular erweiterbares Versorgungssystem für ein nachhaltiges Wohnquartier realisiert werden konnte. Im ersten Bauabschnitt wurden drei Gebäude mit einer Bruttogeschoßfläche von rund 3.400 m² an ein gemeinsames Niedertemperatursystem angebunden, das Solarthermie, Wärmepumpen, Fundamentspeicher, Erdsonden und Flächenkollektoren kombiniert. Die energetische Bewertung auf Basis von Systemsimulationen bestätigte die grundsätzliche Funktionsfähigkeit und Effizienz des Konzepts. Besonders hervorzuheben ist, dass in den Sommermonaten der Wärmebedarf vollständig solar gedeckt und überschüssige Wärme saisonal gespeichert werden kann. Die Wärmepumpen erreichen in der Jahressimulation einen SPF von rund 4,1 und leisten insbesondere in den strahlungsarmen Wintermonaten den zentralen Beitrag zur Wärmeversorgung. Die Ergebnisse der Szenarienstudien für weitere Bauphasen zeigen außerdem, dass durch größere Kollektorflächen, Photovoltaik, elektrische Speicher und ein verbessertes Lastmanagement zusätzliche Potenziale zur Erhöhung von solarer Deckung, Eigenverbrauch und Autarkie erschlossen werden können. Insgesamt bestätigt das Projekt die Relevanz von Anergienetzen als zukunftsfähige Quartierslösung, macht aber auch deutlich, dass eine sorgfältige Systemauslegung, kontinuierliches Monitoring und eine adaptive Betriebsführung für die Ausschöpfung des vollen Potenzials entscheidend sind.

In den weiteren Bauphasen soll das Anergienetz schrittweise erweitert und durch zusätzliche erneuerbare Energiequellen, Speichertechnologien sowie eine stärkere Kopplung mit der elektrischen Energieversorgung ergänzt werden. Besonderes Potenzial besteht in der Integration von Photovoltaik, elektrischen Speichern und intelligentem Lastmanagement, um Eigenverbrauch und Autarkiegrad des Quartiers weiter zu erhöhen. Die im ersten Bauabschnitt gewonnenen Monitoringdaten sollen zudem genutzt werden, um den Betrieb laufend zu optimieren und die Übertragbarkeit des Konzepts auf weitere nachhaltige Quartiersentwicklungen zu bewerten.

2 Abstract

The way we live and interact with one another is set to change significantly in the coming years and decades. As a result of urbanisation, many people will move to urban centres, which will consequently become hotspots for energy and resource consumption. Against the backdrop of climate change and increasing resource scarcity, a rethink of our energy supply is necessary, particularly in the areas of heating, cooling and hot water supply: These sectors account for 51% of final energy demand in the EU, with a significant increase in cooling demand expected in the future. Achieving any climate targets is therefore linked to the complete decarbonisation of heating and cooling supply, which must be initiated now through innovative concepts. Heating and cooling networks are key technologies in this context, as they enable the intelligent and sustainable integration of renewables, storage systems, users and buildings, as well as interconnection with other energy supply networks (electricity, gas).

The aim of the “Anergy2Plus” project is to pursue a holistic approach to the design, construction and, ultimately, the use of the residential neighbourhood in the context of energy supply. Particularly in the field of thermal energy supply, the demonstration of this innovative supply concept based on an anergy network aims to create a flagship project on the path to an energy-plus neighbourhood. This demonstration is supported by a comprehensive monitoring concept. For the planning of the subsequent construction phases, further innovative measures at component level (e.g. PV, PVT, biomass boilers) and at system level (e.g. load and storage management, integration of heating, cooling and electricity supply up to microgrids) are being evaluated and driven towards implementation. Measures for user integration are embedded within the demonstration, operation and further planning.

The results show that the implemented anergy network has enabled the realisation of an innovative and modularly expandable supply system for a sustainable residential neighbourhood. In the first construction phase, three buildings with a gross floor area of around 3,400 m² were connected to a shared low-temperature system combining solar thermal, heat pumps, foundation storage, ground probes and flat-plate collectors. The energy assessment based on system simulations confirmed the fundamental functionality and efficiency of the concept. It is particularly noteworthy that during the summer months, the heating demand is met entirely by solar energy and excess heat can be stored seasonally. In the annual simulation, the heat pumps achieve an SPF of around 4.1 and make a key contribution to the heat supply, particularly during the low-radiation winter months. The results of the scenario studies for further construction phases also show that additional potential for increasing solar coverage, self-consumption and self-sufficiency can be tapped through larger collector areas, photovoltaics, electrical storage and improved load management. Overall, the project confirms the relevance of anergy networks as a sustainable neighbourhood solution, but also makes it clear that careful system design, continuous monitoring and adaptive operational management are crucial for realising the full potential.

In the subsequent construction phases, the anergy network is to be gradually expanded and supplemented with additional renewable energy sources, storage technologies and closer integration with the electricity supply. There is particular potential in the integration of photovoltaics, electrical storage and smart load management to further increase the neighbourhood’s self-consumption and

self-sufficiency. The monitoring data obtained during the first construction phase will also be used to continuously optimise operations and assess the transferability of the concept to other sustainable neighbourhood developments.

3 Ausgangslage

Derzeit werden 51% des Endenergiebedarfes (Heizung 26%, Warmwasserbereitung 5%, Kühlung 1%, Rest für Prozesswärme- und Kälte) in der EU für die Versorgung mit Wärme und Kälte verwendet (Fleiter, Steinbach, & Ragwirt, 2016). In Zukunft wird die Kühlung von Gebäuden zunehmend an Bedeutung gewinnen. Steigende Temperaturen infolge des Klimawandels, zunehmende Urbanisierung sowie höhere Anforderungen an thermischen Komfort führen dazu, dass der Bedarf an aktiver Gebäudekühlung und Klimatisierung in Europa weiter steigen wird (Agency, 2022). Da jedwede Klimaziele schlussendlich eine vollständige Dekarbonisierung der Energiebereitstellung innerhalb der nächsten Jahrzehnte bis zum Jahr 2050 erforderlich machen (Union, 2021), müssen intelligente Konzepte für die Raumwärme-, Warmwasser- und Kälteversorgung entwickelt und in ihren späteren Anwendungsfeldern wie Städten und Gemeinden demonstriert werden.

Eine netzgebundene Versorgung über Wärme- und Kältenetze ermöglicht eine intelligente Integration von Erneuerbaren, Lang- und Kurzzeitspeicher sowie den späteren Nutzer:innen und Gebäudefunktionen. Ferner ist die Kopplung mit anderen Infrastrukturen wie Strom, Gas, Abwasser eine naheliegende und vielversprechende Option. Netzgebundene Systeme für Wärme- und Kälteversorgung spielen eine zentrale Rolle für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors und urbaner Energiesysteme. Die Europäische Kommission betont, dass die Dekarbonisierung des Wärme- und Kältesektors wesentlich für die Erreichung der europäischen Energie- und Klimaziele ist. Wärme- und Kältenetze ermöglichen dabei die effiziente Integration erneuerbarer Energien, unvermeidbarer Abwärme und thermischer Speicher und können dadurch einen wichtigen Beitrag zur Transformation der Wärmeversorgung leisten. Auch in der österreichischen Energie- und Klimapolitik sind die Steigerung der Energieeffizienz, der Ausbau erneuerbarer Energien und die Sicherstellung einer resilienten Energieversorgung zentrale Zielsetzungen (Bundesministerium für Klimaschutz, 2024).

Außerdem sind die Lebens- und Wohnbedingungen in Österreich einem stetigen Wandel unterzogen. In den letzten Jahren ist vor allem das Thema der Urbanisierung immer stärker in den Vordergrund gerückt. Es ist zu verzeichnen, dass große Teile der Bevölkerung vermehrt in städtische Ballungszentren ziehen. Diese Zentren werden dadurch immer mehr zu Hotspots für den Ressourcen- und Energieverbrauch. Somit herrscht ein wesentlicher Bedarf für innovative, effiziente und effektive Formen des Zusammenlebens mit nachhaltiger Energie- und Ressourcenversorgung, wie sie zum Beispiel im Rahmen von Plusenergiequartieren später realisiert werden sollen. Die klimatischen Veränderungen in Österreich werden ebenfalls dazu führen, dass in den Städten (Urban Heat Islands) auch vermehrt gekühlt werden muss. Anhängig von der Nutzungsform kann auf eine aktive Kühlung der Gebäude, auch Wohngebäude, meist nicht verzichtet werden, durch eine Begrünung der Innenstädte kann der Energiebedarf dafür verringert werden.

Mit sich verändernden Energienetzen, welche einen hohen Anteil volatiler erneuerbarer Energien aufweisen, geht auch eine Veränderung der Systeme einher, auf die Gebäude und Quartiere (im Neubau sowie im Bestand) in angemessener Art und Weise reagieren müssen. Derzeit liegt der Fokus bei der Analyse des Energiebedarfs in Quartieren (Stichwort: Plus-Energie-Quartiere) noch vermehrt auf elektrischer Energie, obwohl diese im Vergleich zum thermischen Energiebedarf für Heizen, Kühlen und Warmwasser nur einen verhältnismäßig kleinen Teil ausmacht. Relativ gesehen ist der

Anteil des thermischen Energiebedarfs wesentlich höher, erfährt aber weniger Aufmerksamkeit. Schlussfolgernd gibt es im thermischen Bereich auch weniger Demonstratoren und Referenzprojekte. Hier herrscht also ein dringender Bedarf für repräsentative Projekte und guter Konzepte, welche die Multiplizierbarkeit solcher Systeme erhöhen.

Durch den großen Anteil erneuerbarer Energiequellen am Gesamtenergiesystem von Plus-Energie-Quartieren unterliegen diese einer starken Volatilität und unsteten Leistungsbereitstellungen. Der Begriff des Demand-Side-Managements (DSM) muss deshalb von den elektrischen auch auf die thermischen Systeme übertragen werden. Moderne und effiziente Gebäudetechnik trägt dazu bei, den thermischen Energieverbrauch von Gebäuden geringzuhalten. Ziel ist es, einen möglichst hohen Anteil der lokal produzierten erneuerbaren Energie selbst zu verbrauchen. Um dies zu erreichen, ist es notwendig, dass Einzelgebäude im Netzverbund miteinander kommunizieren können müssen und deren gesamtheitliche Betriebsweise zu einer ausgeglichenen Bilanz führen. Hierfür sind intelligente Regelungsstrategien sowohl auf Gebäude- als auch Systemniveau notwendig.

Im Bereich der Energieversorgung von Quartieren gibt es innovative Konzepte für die nachhaltige energetische Versorgung von urbanen Arealen. Herauszuheben ist dabei das Konzept des Anergienetzes, eine innovative fernwärmeähnliche Niedrigtemperaturlösung für die Wärme- und Kälteversorgung. Durch die niedrigeren Betriebstemperaturen eines solchen lokalen (Anergie-)Netzes ist die Einbindung von regenerativen Energien und andernfalls ungenutzten Abwärmequellen stark begünstigt. Es handelt sich um komplexe Systeme, zu denen erst eine sehr geringe Anzahl von nationalen und internationalen Demonstrationsanlagen und Referenzprojekten existieren. Durch Erfahrungen, welche durch Forschungsprojekte im Bereich kalte Fernwärme gesammelt werden konnten, hat sich aber bereits herausgestellt, dass diese Systeme ein hohes Maß an Ausbauflexibilität und Modularität aufweisen. Damit handelt es sich also um eine zukunftssichere (future-proof) Technologie, welche eine wesentliche Rolle in der zukünftigen urbanen Wärme- und Kälteversorgung spielen wird. Jedoch sind die praktischen Erfahrungen für Integration und Interaktion von verschiedensten Energiequellen (e.g. PVT, PV, Solarthermie, Biomeiler) und Speichertechnologien auf Gebäude- und Systemniveau im Rahmen eines Anergienetzes kaum bis gar nicht vorhanden, so dass trotz des Potentials vielfach Zurückhaltung bei der Umsetzung herrscht. Ein weiterer Aspekt der Modularität und Flexibilität von Anergienetzen ist die mögliche enge Verschränkung mit einer lokalen Elektrizitätsversorgung und -speicherung. Besonders für die Insellösungen erscheint hier die Kombination mit einem MicroGrid-Konzept eine vielversprechende Idee, die bis dato kaum erforscht und noch nicht demonstriert wurde.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und sich ändernder Sozialstrukturen ist nicht nur ein Umdenken in der Energieversorgung, sondern auch in anderen Bereichen des urbanen Lebens notwendig. Um eine klimafreundliche und nachhaltige Lebensweise zu gewährleisten, ist eine gesamtheitliche Betrachtung von Siedlungs- und Wohnungsbauprojekten unabdingbar. Es gilt also neben den energetischen auch die biologischen, stofflichen, sozialen und wirtschaftlichen Kreisläufe zu betrachten und zu bewerten.

Rahmenbedingungen

Der Verein „Garten der Generationen“ plant seit seiner Gründung 2010 die Umsetzung eines nachhaltigen und ganzheitlichen Wohnprojektes in Herzogenburg (Niederösterreich). Dieses Bauprojekt beinhaltet die Errichtung und Inbetriebnahme eines energetischen Gebäudeverbundes

mit teilweise gemischter Nutzungsform auf einer geplanten Bruttogeschoßfläche von ca. 10.000 m². Ziel des Gesamtvorhabens ist es, über mehrere Bauphasen ein nachhaltiges Wohnquartier zu entwickeln, wobei sich die Nachhaltigkeit nicht nur auf Aspekte der energetischen Versorgung bezieht, sondern auch andere Bereiche bspw. des sozialen Lebens mit angedacht werden. Zentrales Element der Energieversorgung soll ein Anergienetz zur Wärme- und Kälteversorgung werden, welches mit den Bauphasen wächst und mehr und mehr lokale Ressourcen einbindet.

Hier sollen nicht nur verschiedene Generationen zusammenleben und wohnen, sondern auch über gemeinschaftliche Infrastruktur und Räume auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der verschiedenen Generationen räumlich und inhaltlich eingegangen werden. Ferner sind Räume für shared home-office sowie Praxen und Seminarräumen vorgesehen. Bei der Planung des Bauvorhabens wurden ganzheitliche Ansätze verfolgt, um biologische, soziale, physikalische und wirtschaftliche Kreislaufprinzipien in diesem Projekt zu verwirklichen. Für die Energieversorgung wird auf einen möglichst hohen Grad an Autarkie und lokalen Ressourcen geachtet. Kernstück dieser Energieversorgung und des Projektes „Anergy2Plus“ soll ein Anergienetz werden, dass mittels Wärmepumpe, Solarthermie und Free Cooling eine nachhaltige und effiziente Wärme-, Kälte- und Warmwasserversorgung ermöglichen soll. Dieses Kernstück soll sukzessive mit dem Umsetzungsschritten erweitert und ergänzt werden. Diese Ergänzung bezieht sich nicht nur auf die Integration weiterer Wärme- und Kältequellen und Speichermöglichkeiten wie Biomeiler und Teichanlagen, sondern auch die intelligente Koppelung mit dem Stromnetz ausgehend von PV und E-Speicher über Lastmanagement bis evtl. hin zur Etablierung eines eigenen MicroGrids.

In einer ersten Bauphase (Baubeginn Q3 / 2020) sollen 3 Mehrfamilienhäuser mit einer jeweiligen Teilnutzung von 15% für e.g. Büroräume, Pflegepraxen entstehen. Parallel dazu soll die Infrastruktur für die nachhaltige Energieversorgung mittels des Anergienetzes installiert werden inklusive u.a. der notwendigen thermischen Speicher (u.a. Erdspeicher), Wärmepumpen auf Gebäudeniveau, der Wärmequellen via Solarkollektoren und des Monitoringequipments für die Auswertung und Optimierung des Betriebs.

Das für das Bauvorhaben vorgesehene Grundstück liegt auf der westlichen Seite der Gemeinde Herzogenburg. Die gesamte Fläche hat 2 Teile mit unterschiedlichen Widmungen (Baufläche von 13.764 m²; landwirtschaftlich gewidmete Fläche von 10.345 m²) und befindet sich im Besitz des Vereins „Garten der Generationen“.

Erfahrung aus anderen Projekten

Dieses Projektvorhaben richtet sich auf die Demonstration eines innovativen und für Österreich einmaligen Energieversorgungskonzeptes. Es vereinigt sowohl langjährige praktische Erfahrungen des industriellen Projektpartners Obkircher Plus auf diesem Gebiet mit den Erfahrungen und Know-How des Forschungspartners AEE INTEC. Hierbei kommen die Resultate und Ergebnisse von aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprojekten zur Anwendung, deren Fokus primär auf die konzeptuelle Entwicklung und Bewertung dieser und ähnlicher Energieversorgungskonzepte gerichtet war.

In dem nationalen Forschungsprojekt *DeStoSimKaFe*¹, arbeitete AEE INTEC zusammen mit *anex* an der Entwicklung von Planungstools für Anergienetze sowie Best Practices abgeleitet aus den Erfahrungen der Projektpartner. Dieses Projektvorhaben ermöglicht nun die praktische Anwendung

¹ <https://projekte.ffg.at/projekt/2926634>

dieser Kenntnisse und Erweiterung und Verbesserung des bestehenden Know-Hows durch die praktischen Erfahrungen aus der Demonstration.

Im Projekt *Urban pv+geotherm*² wurde die Umsetzbarkeit von Anergienetzen für ein konkretes Wiener Stadtentwicklungsgebiet analysiert. Dabei wurden Rahmenbedingungen (Neubau), Identifikation potenzieller Energiequellen, Energiebilanzierung sowie die wirtschaftliche Nutzbarkeit analysiert. Daraus herausgehend wurden Konzepte für Anergienetze und ähnlich geartete Systeme entwickelt, allerdings nicht umgesetzt.

Auch im Projekt *UrbanDH_extended*³ wurden urbaner FW-Systeme unter Einbeziehung von saisonalen Speichern, Großwärmepumpen, Großwasserspeicher sowie Integration Erneuerbarer und Abwärme entwickelt und konkretisiert. Ähnlich geartet zum gegenständlichen Projekt sind hier die Herangehensweise und methodischen Schritte, so dass Erfahrungen zur Systemsimulation übernommen werden können. Hierbei waren Demonstration und Umsetzung nicht Inhalt vom Projekt.

In einem weiteren Stadt-der-Zukunft Projekt *KooWo*⁴ wurde ein Wohnkonzept entwickelt und umgesetzt, in dem der Fokus auf der elektrischen Versorgung der Wohnanlage mittels Photovoltaik untersucht. Obwohl der Schwerpunkt auf einem anders gearteten technischen Konzept beruht, konnten in diesem Projekt viele Erfahrungen in Bezug auf ein nutzerzentriertes Monitoringsystem gewonnen.

² <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/urban-pv-geotherm-innovative-konzepte-zur-versorgung-grossvolumiger-staedtischer-gebaeude-quartiere-mit-pv-und-geothermie.php>

³ <https://projekte.ffg.at/projekt/1697833>

⁴ <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/koo-wo-volkersdorf.php>

4 Projektinhalt

4.1. Analyse und Bewertung des Projektstandes und der geplanten Demonstrationen in Bauphase 1

Es wurde eine umfassende Analyse und Bewertung des aktuellen Projektstandes durchgeführt, um eine fundierte Grundlage für die weiteren Entwicklungen zu schaffen. Diese Analyse umfasste die eingehende Untersuchung verschiedener Aspekte, einschließlich der geplanten Demonstrationen während Bauphase 1. Ein zentraler Fokus lag dabei auf der Erfassung und Bewertung der geplanten energietechnischen Umsetzungen für die Gebäude sowie das Anergienetz. Hierbei wurden nicht nur die technischen Details, sondern auch die strategischen Überlegungen und Zielsetzungen berücksichtigt. Das Ziel war es, einen umfassenden Überblick über die geplanten Maßnahmen zur Energieeffizienz und Nachhaltigkeit zu erhalten.

Die Bewertung der geplanten energietechnischen Umsetzungen erfolgte anhand vordefinierter Kriterien, die die Effektivität, Effizienz und Umweltverträglichkeit der Maßnahmen berücksichtigten - Key Performance Indikatoren (KPIs). Die Bewertung diente dazu, mögliche Optimierungspotenziale zu identifizieren. In Abbildung 1 sind die Bilanzgrenzen der einzelnen Komponenten sowie der zu untersuchenden Energieströme im System dargestellt.

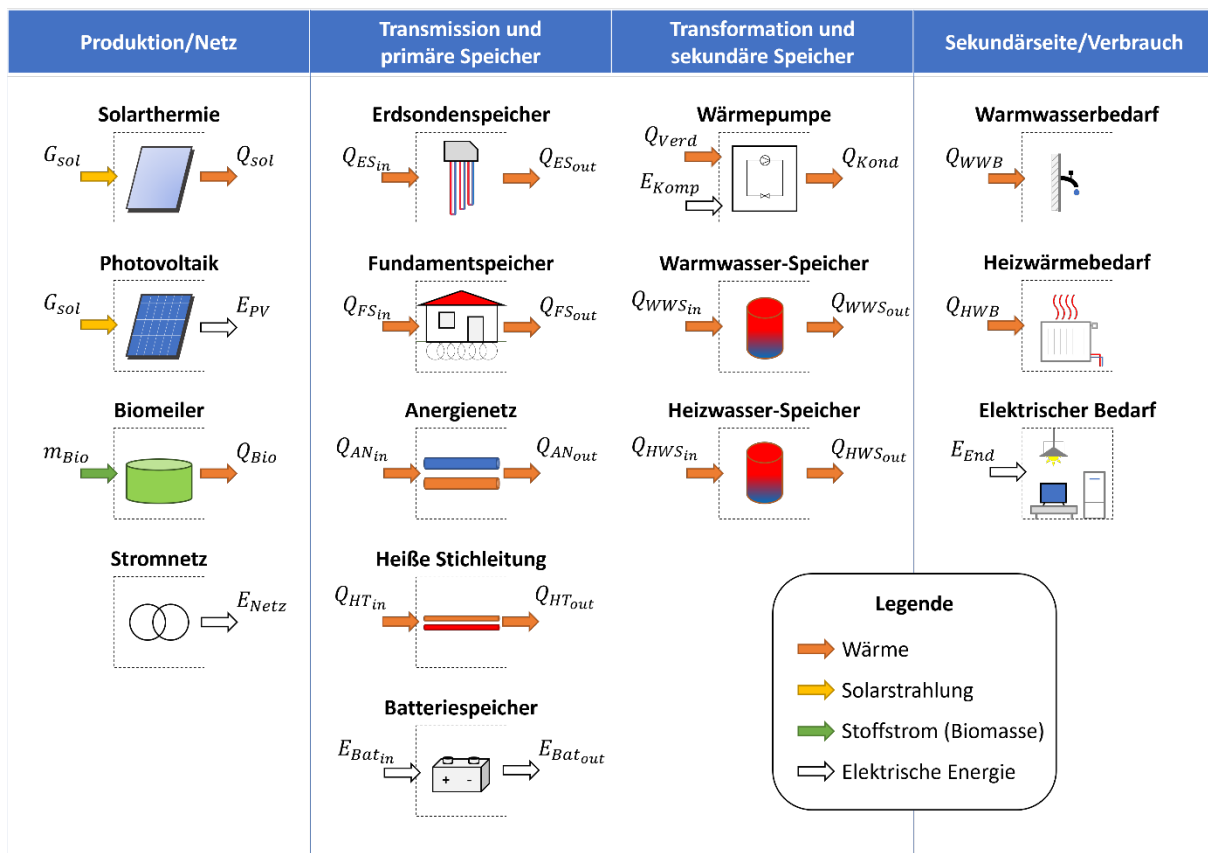


Abbildung 1: Bilanzgrenzen und Energie- bzw. Massenströme der einzelnen im System geplanten Komponenten.

Weiters wurden KPIs bestimmt, welche zur Bewertung des Gesamtsystems herangezogen werden. Die KPIs wurden dazu in thematische Gruppen unterteilt (Energie und Ökologie) und sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Übersicht der betrachteten KPIs.

| | Zeichen | Einheit | Beschreibung |
|---|---------------------------------------|-----------------------|---|
| Energie | | | |
| Gesamtenergieverbrauch | | | |
| Heizwärmebedarf | Q_{SH} | [kWh] | SH: space heating |
| Warmwasserbedarf | Q_{DHW} | [kWh] | DHW: domestic hot water |
| Solarerträge | | | |
| Kollektorfeldertrag | Q_{sol} | [kWh] | |
| Spezifischer Kollektorertrag | q_{sol} | [kWh/m ²] | |
| solare Deckung | f_{sol} | [%] | Teil des Gesamtenergiebedarfs, der solar gedeckt werden kann |
| Eigenverbrauch | SC | [%] | SC: self consumption, Teil der erzeugten Energie, welcher am Standort wieder verbraucht wird |
| Wärmepumpen | | | |
| Energiebilanz (Verdampfer-/Kondensatorenergie, elektrischer Strombedarf Kompressor) | Q_{cond} Q_{eva} E_{comp} | [kWh] | Thermische und elektrische Energieströme um die Wärmepumpe |
| COP/SPF ⁵ | | [-] | Leistungszahl der Wärmepumpe |
| Ökologie | | | |
| Primärenergiebedarf | E_{prim} | [kWh _{PE}] | Energie, die bei der externen Erzeugung benötigt wird, um entsprechend viel Endenergie beim Verbraucher bereit zu stellen |
| CO ₂ -Emissionen | EX_{CO_2} | [kg _{CO2}] | Emissionen die durch nicht-regenerative Quellen erzeugt werden |

Zuerst wurde der Stand der ersten Bauphase im Detail betrachtet. In der ersten Bauphase (Baubeginn Q4/2020) wurden drei Mehrfamilienhäuser mit einer jeweiligen Teilnutzung von 15 Prozent für e.g. Büroräume oder Pflegepraxen errichtet. In Abbildung 2 ist der erste Bauabschnitt mit seinen Gebäuden in einer 3D-Ansicht dargestellt.

⁵ COP: Coefficient of Performance (instantaner Leistungsvergleich); SPF: Seasonal Performance Factor (bilanzierter Energievergleich)

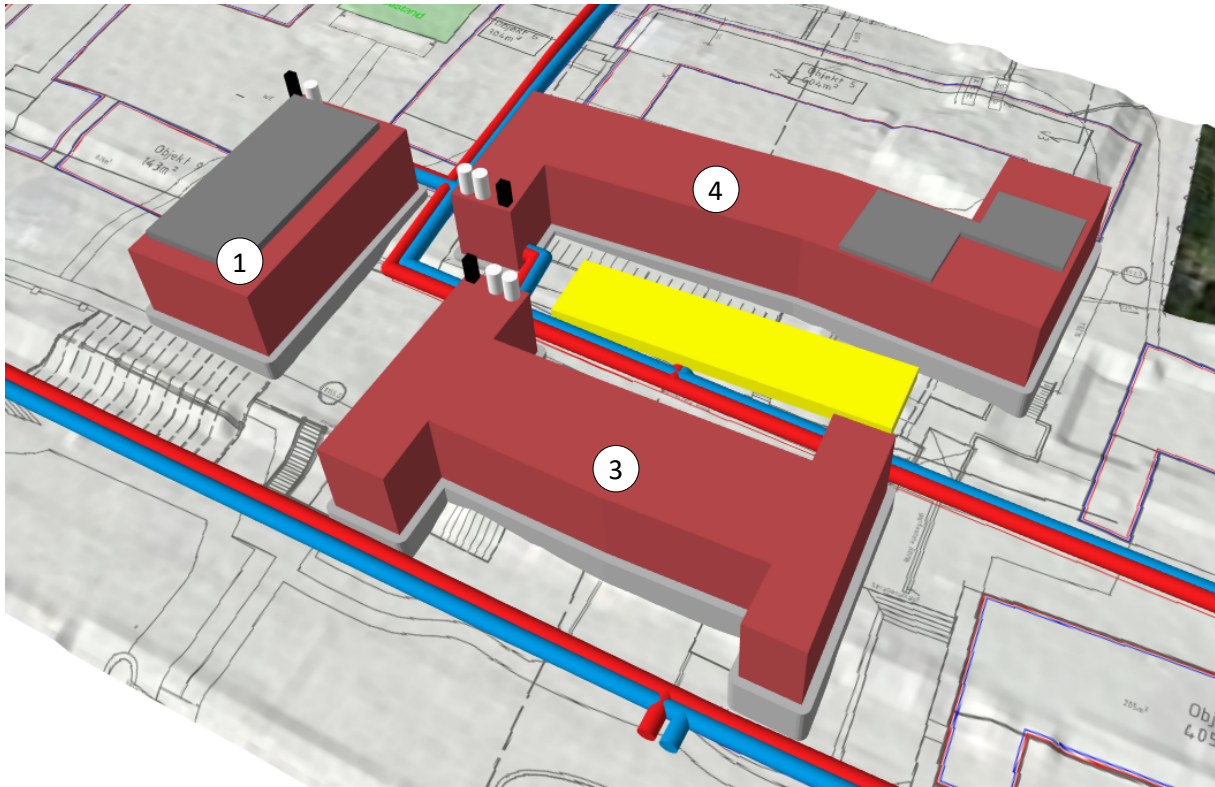


Abbildung 2: 3D-Ansicht des ersten Bauabschnitts.

Auf den Gebäuden 1 und 4 wurden zwei solarthermische Anlagen zu insgesamt 100 m² errichtet (dunkelgrau). Jedes Gebäude verfügt über einen Fundamentspeicher (hellgrau unter den Gebäuden) sowie eine Energiezentrale mit Wärmeübergabestation. Gebäude 3 und 4 verfügen jeweils über Wärmepumpe (schwarz) und thermische Speicher (weiß). Die Gebäude sind über ein Anergienetz hydraulisch miteinander verbunden. Am Anergienetz sind außerdem thermische Langzeitspeicher in Form von Erdsonden (gelb) und Flächenkollektoren angeschlossen.

Im ersten Bauabschnitt wurden folgende bauliche Maßnahmen umgesetzt:

- 3 Gebäude (BGF: ca. 3'400 m²)
 - 2 Wohngebäude mit Mischnutzung (Gebäude 3 und 4)
 - 1 Gemeinschaftshaus/Küche (Gebäude 1)
- Räumlichkeiten
 - 19 Wohneinheiten (davon 4 Betreubares Wohnen WG-Zimmer)
 - 1 Coworking-Space
 - 1 Gästewohnung
- BewohnerInnen
 - 28 Erwachsene
 - 14 Kinder

Tabelle 2: Zusammenfassung der Gebäudedaten aus Bauabschnitt 1.

| Objekt | BGF [m ²] | HWB [kWh/a] | Nutzungsform |
|--------|-----------------------|-------------|---|
| 1 | 528 | 30'419 | Gemeinschaftsräume, Mehrzweckräume, Lager |
| 3 | 1'170 | 43'420 | Mehrfamilien-/Wohnhaus (8 WE), Büroräume, Keller mit Waschküche, Lager, Technik |
| 4 | 1'698 | 61'868 | Mehrfamilien-/Wohnhaus (7 WE), Pflegepraxis, Keller mit Waschküche, Fahrradgarage, zentrale Haustechnik |

Die Lasten des ersten Bauabschnitts setzen sich aus dem Warmwasserbedarf sowie dem Heizwärmebedarf zusammen und sind in Abbildung 3 dargestellt.

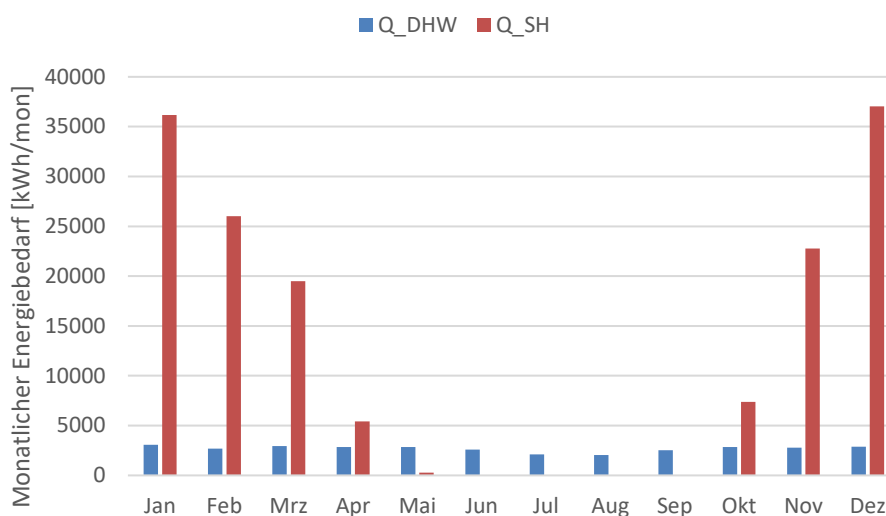


Abbildung 3: Energiebedarf des ersten Bauabschnitts auf Monatsbasis (Warmwasserbedarf DHW und Heizwärmebedarf SH).

Parallel zu den Gebäuden wurde die Infrastruktur für die nachhaltige Energieversorgung durch das Anergienetz errichtet, inklusive der notwendigen thermischen Speicher (Erdspeicher und Fundamentspeicher), Wärmepumpen sowie der Wärmeerzeugung durch Solarkollektoren. Darüber hinaus wird ein Monitoringsystem zur Überwachung, Auswertung und die Optimierung des Anlagenbetriebs installiert. Nachfolgend steht eine Auflistung der (energie-)technischen Maßnahmen, welche im ersten Bauabschnitt umgesetzt wurden.

Energieversorgungssystem

- Sole/Wasser-Wärmepumpen
- Solarthermie
- Wärmeverteilung über Stichleitungen und Anergienetz

Primärenergiequellen

- Erdspeicher: 4'000 lfm Rohrleitung wurde unter dem Erdhügel verlegt (keine außernatürlichen Grabarbeiten notwendig - Ressourcenschonung)
- Fundamentspeicher: Es wurden ca. 400 lfm Fundamentstreifen mit Wärmetauscher ausgestattet

- Tiefensonden: Es wurden 6 Tiefensonden zu je 140 m errichtet
- Anergienetz: verbindet alle Primärenergiequellen mit den Technikräumen und kann solare Überschüsse aus dem Sommer verteilen und saisonal speichern

Die Bewertung der energetischen Umsetzungen im ersten Bauabschnitt wurde mittels simulationstechnischer Methoden durchgeführt. In der Simulationsumgebung DYMOLA⁶ wurde dazu ein detailliertes Modell des Energiesystems erstellt (s. Abbildung 4). Der Aufbau dieser Simulation zielt darauf ab die späteren Bauphasen und mögliche Maßnahmen detailliert abbilden zu können und sowohl technische Schlussfolgerungen daraus ableiten zu können als auch Planungsmaßnahmen vorzubereiten. Mit Hilfe des Modells lassen sich Aussagen über das energetische Langzeitverhalten sowohl des aktuellen Systems sowie zukünftige Systemvarianten, durch bspw. Ausbau des Quartiers und Erweiterung des Energiesystems um weitere Quellen, Senken und Speicher, treffen.

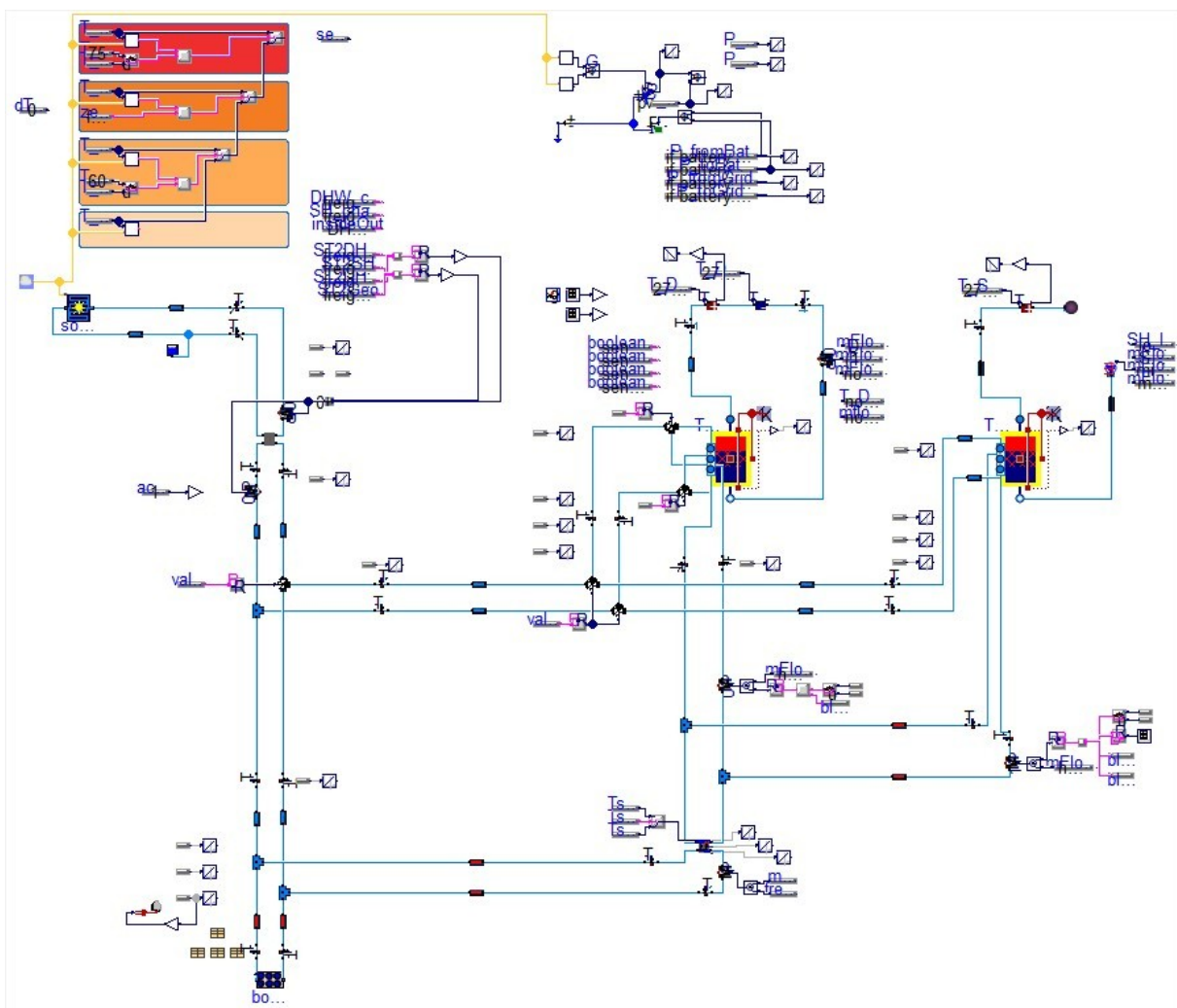


Abbildung 4: Schema des Simulationsmodells für das Gesamtsystem in DYMOLA.

⁶ DYMOLA – Dynamic Modelling Laboratory: <https://www.3ds.com/products/catia/dymola>

4.2. Unterstützung Umsetzung und Inbetriebnahme Bauphase 1

Die erfolgreiche Umsetzung des Energieversorgungskonzepts wurde von Anfang an sorgfältig begleitet. Ein Bestandteil dieses Begleitprozesses war die Entwicklung eines detaillierten Umsetzungsplans, der als Leitfaden für alle Schritte und Maßnahmen diente. Dieser Plan wurde kontinuierlich aktualisiert und angepasst, um den sich verändernden Anforderungen und Gegebenheiten gerecht zu werden.

Die Dokumentation des Baufortschritts spielte eine entscheidende Rolle, um Transparenz und Nachvollziehbarkeit sicherzustellen. Durch regelmäßige Statusberichte, Fotodokumentationen und Fortschrittsanalysen wurde sichergestellt, dass alle Beteiligten stets über den aktuellen Stand informiert waren. Dies trug nicht nur zur Qualitätssicherung bei, sondern ermöglichte auch zeitnahe Anpassungen, falls unvorhergesehene Herausforderungen auftraten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Begleitung war die frühzeitige Einbindung und Integration der späteren Nutzer:innen bzw. Bewohner:innen in den Entwicklungsprozess. Durch partizipative Ansätze wurden deren Bedürfnisse, Anregungen und Wünsche aufgenommen und in die Planung integriert. Dies trug nicht nur zur Akzeptanz des Energieversorgungskonzepts bei, sondern schuf auch eine engere Verbindung zwischen den Bewohner:innen und ihrem zukünftigen Quartier. Die Kommunikation mit den Nutzer:innen erfolgte in verschiedenen Formaten, wie Workshops, Informationsveranstaltungen und regelmäßigen Austauschforen. Dies förderte nicht nur das Verständnis für die nachhaltige Energieversorgung, sondern ermöglichte den Bewohner:innen auch, aktiv am Gestaltungsprozess teilzunehmen.

Insgesamt bildeten die Entwicklung des Umsetzungsplans, die fortlaufende Dokumentation des Baufortschritts und die frühzeitige Integration der Nutzer:innen wesentliche Säulen der begleitenden Maßnahmen. Diese ganzheitliche Herangehensweise gewährleistete nicht nur den reibungslosen Ablauf der Umsetzung, sondern schuf auch eine nachhaltige Basis für eine zukunftsorientierte und lebenswerte Wohn- und Lebensumgebung.

4.3. Entwicklung und Implementierung Monitoringkonzept & Durchführung Monitoring

Es wurde ein umfassendes Monitoringkonzept entworfen, das sicherstellt, dass sämtliche relevanten Energieflüsse innerhalb des Systems erfasst werden. Dies beinhaltete die genaue Definition der zu überwachenden Parameter sowie die Festlegung der geeigneten Methoden zur Erfassung und Auswertung dieser Daten. Die Auswahl und Abstimmung des benötigten messtechnischen Equipments war ein zentraler Schritt, um die Präzision und Zuverlässigkeit der Datenerfassung sicherzustellen. Dies umfasste die sorgfältige Auswahl von Sensoren, Messgeräten und anderem technischen Equipment, das für die geplante Überwachung der Energieflüsse notwendig war. Gleichzeitig wurde die Art der Datenaufzeichnung definiert, um eine effiziente Datenverarbeitung zu gewährleisten. Dieser Schritt beinhaltete auch die physische Implementierung der ausgewählten messtechnischen Ausrüstung in den relevanten Bereichen des Systems.

4.4. Planung und Szenarienstudien für weitere Bauphasen

Die Planung der konsekutiven Bauphasen wurde im Bauplan skizziert und wird im Folgenden näher erläutert. In Abbildung 5 ist der revidierte Ausbauplan des Quartiers dargestellt. In ihm sind sowohl die Gebäude der jeweiligen Bauphase als auch den dazugehörigen Erweiterungen des Gesamtenergiesystems aufgezeigt. Nachdem die Errichtung der ersten Bauphase deutlich länger gedauert hat als ursprünglich anberaunt, wurde der Plan entsprechend angepasst. Das heißt konkret, dass der Start der weiterführenden Bauphasen zeitlich nach hinten verschoben wurde.

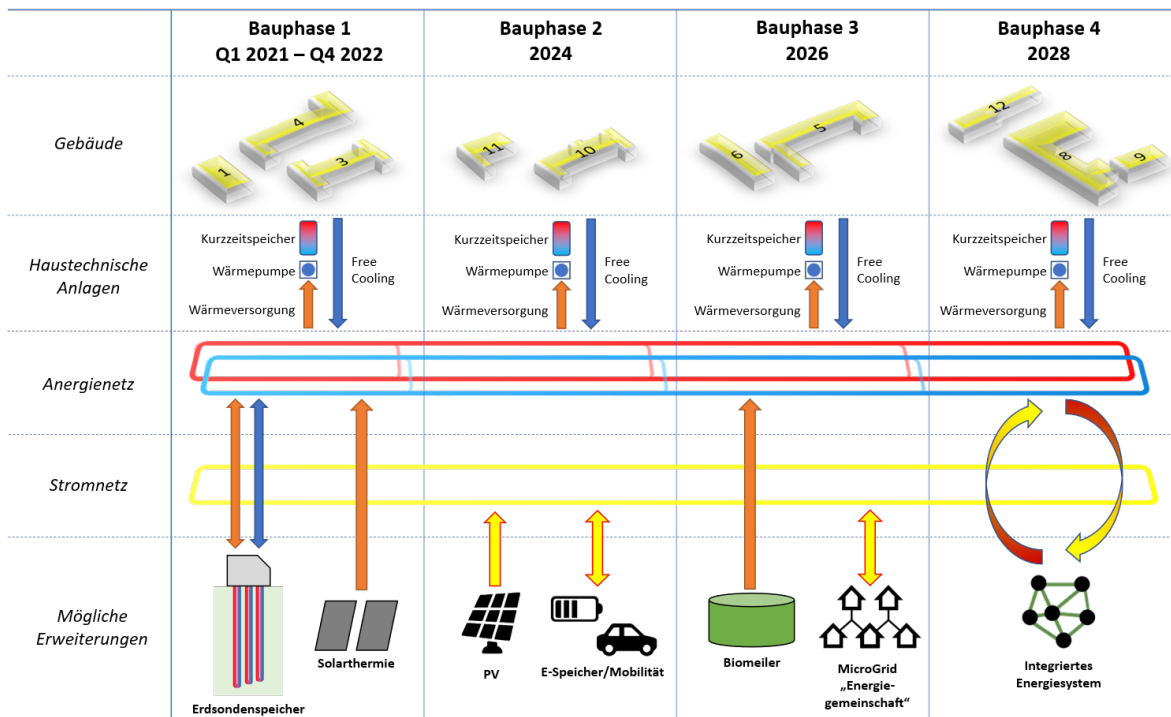


Abbildung 5: Revidierter Plan der geplanten Bauphasen.

Mit Hilfe des entwickelten Simulationsmodells konnten diverse neue Systemkombinationen untersucht werden, welche zum einen die steigenden Lasten der folgenden Bauphasen als auch diverse Systemkomponenten in Kombination darstellt.

5 Ergebnisse

5.1. Energiesystem erster Bauabschnitt und Bewertung

In Abbildung 6 ist das Energieflussdiagramm des ersten Bauabschnittes dargestellt. Dabei wurden die thermischen Ströme der Erzeuger und Verbraucher sowie der elektrische Energiebedarf für die Wärmepumpe berücksichtigt.

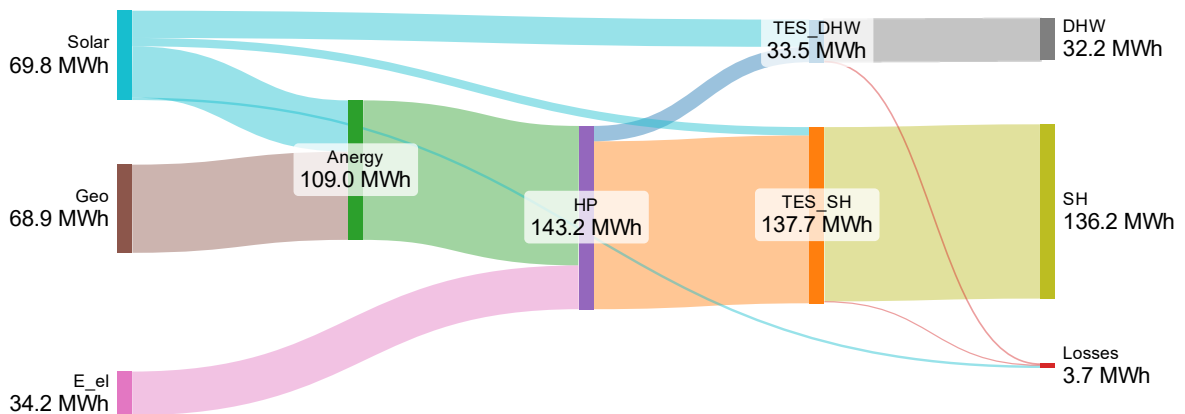


Abbildung 6: Energieflussdiagramm des ersten Bauabschnittes (Jahressimulation).

Um eine Systembilanz der Energieströme zu erstellen, wurden die in das System eintretenden und die aus dem System austretenden Energieströme untersucht. In Abbildung 7 ist der Bilanzraum für die Systemanalyse dargestellt.

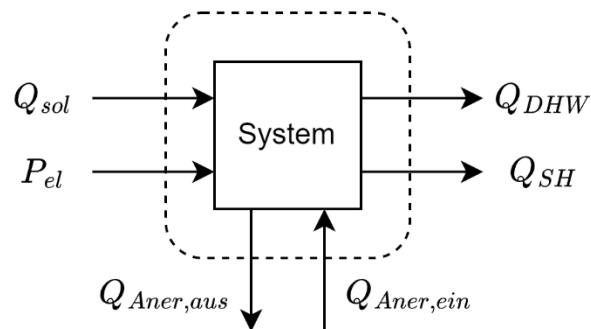


Abbildung 7: Bilanzgrenzen zur Analyse des Gesamtsystems.

Bei den eintretenden Energieströmen handelt es sich zum einen um die solarthermisch erzeugte Energie (Q_{sol}) und die von der Wärmepumpe verbrauchten elektrischen Energie (P_{el}). Die austretenden Wärmemengen sind die für den Warmwasser- und Heizwärmebedarf (Q_{DHW} , Q_{SH}). Außerdem werden die überschüssigen Solarerträge, welche in das Anergienetz und dann respektive in die erdgebunden thermischen Speicher geladen werden ($Q_{Aner,aus}$), sowie die aus den

Erdspeichern entnommene Wärme zur Versorgung der Wärmepumpenverdampferseite ($Q_{Aner, ein}$) bilanziert.

In Abbildung 8 ist die Energiebilanz des ersten Bauabschnittes dargestellt. Die Aufteilung erfolgte hierbei auf die Quellenseite (input) und Senkenseite (output). $Q_{Aner, ein}$ ist dabei als Energiequelle und $Q_{Aner, aus}$ als Energiesenke zu verstehen. Es ist zu erkennen, dass der Wärmebedarf in den kalten und strahlungsarmen Monaten (Nov-März) zum Großteil über die Wärmepumpe bereitgestellt wird. In der Übergangszeit (Apr, Okt) liegt eine Mischversorgung aus noch solarthermischer Wärme und bereits über die Wärmepumpe produzierte Wärme vor. In der warmen Jahreszeit (Mai-Sept) wird der Wärmebedarf zu 100% solar versorgt. Überschüsse aus der solarthermischen Produktion werden dann über das Anergienetz in die erdgebundenen Speicher geladen, $Q_{Aner, aus}$ ist dann entsprechend hoch.

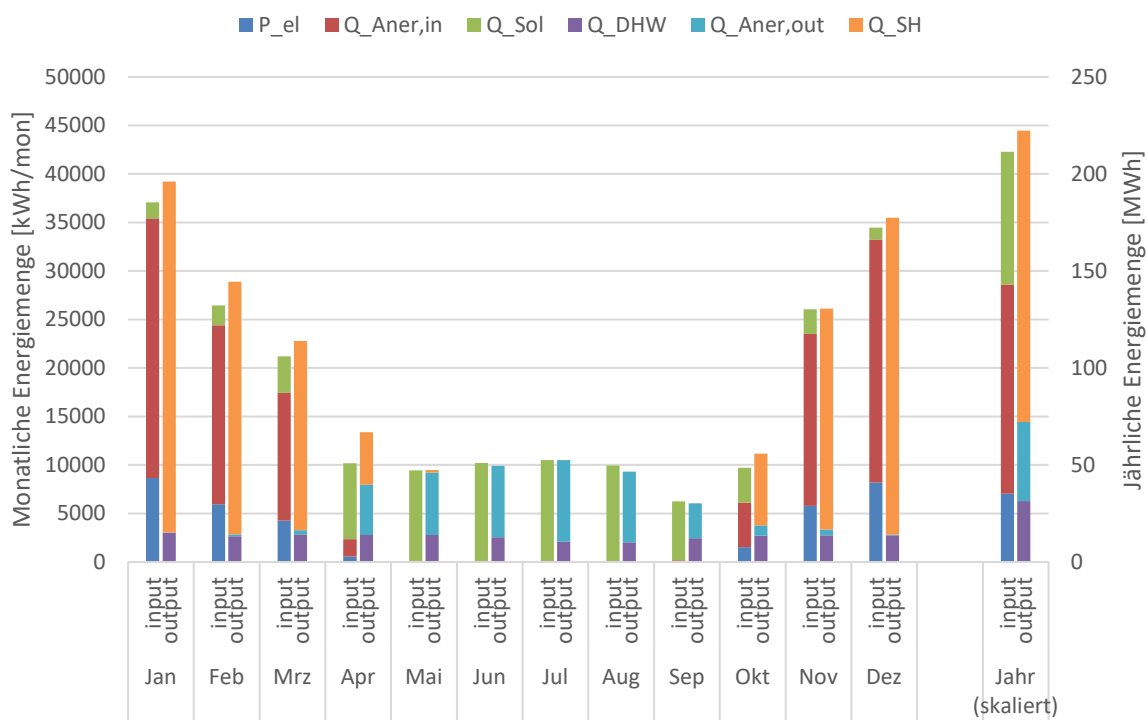


Abbildung 8: Energiebilanz des ersten Bauabschnittes auf Monatsbasis.

| Tabelle 3: KPIs erster Bauabschnitt Energie | | | |
|--|-------------|--------|-----------------------|
| <i>Gesamtenergieverbrauch</i> | | | |
| Heizwärmebedarf | Q_{SH} | 136,1 | MWh |
| Warmwasserbedarf | Q_{DHW} | 31,4 | MWh |
| Strombedarf | E_{use} | 35,25 | MWh |
| <i>Solarerträge</i> | | | |
| Kollektorfeldertrag | Q_{sol} | 68,5 | MWh |
| Spezifischer Kollektorertrag | q_{sol} | 685,5 | kWh/m ² /a |
| solare Deckung | f_{sol} | 14,6 | [%] |
| <i>Wärmepumpen</i> | | | |
| Verdampferenergie | Q_{eva} | 110,35 | MWh |
| Kondensatorenergie | Q_{cond} | 145,6 | MWh |
| Strombedarf | E_{comp} | 35,25 | MWh |
| COP/SPF | | 4,1305 | [-] |
| Ökologie⁷ | | | |
| Primärenergiebedarf | E_{prim} | 62,04 | MWh _{PE} |
| CO ₂ -Emissionen | EX_{CO_2} | 5499 | kg _{CO2} |

5.2. Baubegleitung und Nutzerintegration

Im Zuge der Umsetzung wurden regelmäßige Abstimmungstreffen mit sowohl involvierten Partnern und Firmen also auch intern im Leitungskreis des Garten der Generation akkordiert. In den (zwei-) wöchentlichen Jour-Fixes wurden die Baufortschritte dokumentiert und aktuelle Geschehnisse in Zusammenhang mit der Umsetzung im Projektteam diskutiert. Der Baufortschritt wurde auf der Baustelle außerdem über eine Web Cam, welche in regelmäßigen Abständen Aufnahmen anfertigte sowie mit Hilfe einer Flugdrohne für Luftaufnahmen dokumentiert.

Der Spatenstich wurde am 18. Dezember 2020 durchgeführt.

⁷ Mit Konversationsfaktoren aus OIB-Richtlinie 6: OIB-330.6-036/23



Abbildung 9: Spatenstich mit (v.l.n.r.) Bürgermeister Christoph Artner, Dir. Hermine Dangl, Vizebürgermeister Richard Waringer und Initiator Markus Distelberger, 18.12.2020. [Quelle: Garten der Generationen]

Timeline Baufortschritt

Januar 2021:

- Erster GU-Vertrag unterschrieben für ersten Bauabschnitt
- Erste Baggerarbeiten und Erdbewegungen starten

Februar:

- Kollektorleitungen für die Fundamentkollektoren werden verlegt
- Pufferspeicherleitungen in den Objekten 1, 3 und 4 verlegt
- Fundamentkollektoren wurden in Bodenplatte einbetoniert

März:

- Fundamentkollektoren sind abgeschlossen und werden von der Gebäudeaußenseite her hinterfüllt
- Der Ausbau der Kellergeschosse hat begonnen
- Rohbau Objekte 1, 3 und 4 gestartet

April:

- Objekt 1 Untergeschoss abgeschlossen
- Objekt 3 Unter- und erstes Obergeschoss abgeschlossen
- Objekt 4 Unter- und erstes Obergeschoss abgeschlossen
- Teiche wurden gegraben, thermische Aktivierung ist geplant

Juni:

- Leichte Verzögerung im Bauzeitplan, da es zu Lieferengpässen bei Fertigteilen kam
- Auftrag der Bohrungen für den Erdsondenspeicher vergeben
- Beauftragung externe Planerin für Freiraumplanung nächste Bauabschnitte

Juli:

- HKLS und Elektrische Leitungen in Objekt 1, 3 und 4 verlegt
- Verlegeplan für Anergienetzleitungen wird finalisiert
- 15.07.2021: Gleichenfeier (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

August:

- Objekte 3 und 4 mit Dach, Verputzen der Innenräume hat begonnen

September:

- Beginn der Bohrungen für den Erdsondenspeicher zwischen Gebäude 3 und 4 (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)
- HKLS und Elektrik in Objekt 3 und 4 abgeschlossen
- Solarkollektoren auf Objekt 1 und 4 installiert

Mai 2022:

- Auftrag für Kläranlage an Firma Gleixner vergeben

Juni:

- Umsetzung erste Bauphase abgeschlossen
- Einregelung des Energiesystems hat begonnen

September:

- Bezug des Quartiers durch die Bewohner:innen



Abbildung 10: Gleichenfest 15.07.2021. [Quelle: Garten der Generationen]



Abbildung 11: Einbringen der Erdsonden. [Quelle: AEE INTEC - 30.09.2021]



Abbildung 12: Südwestansicht des Areals mit dem Gemeinschaftshaus Objekt 1 (links) und Objekt 3 (rechts). [Quelle: AEE INTEC - 30.09.2021]

Im Folgenden ist eine Fotoreihe mit den einzelnen Etappen der baulichen Umsetzung dargestellt.

1



2



3



4



5



6



7



8



9



Abbildung 13: Fotoserie über den Baufortschritt der Bauphase 1 von Januar 2021 bis Juni 2022. [Quelle: DI Prehm]



Abbildung 14: Arealansicht mit den fertiggestellten Gebäuden des ersten Bauabschnittes. Auf den Dächern der Gebäude 1 und 4 ist eine Solaranlage mit Gesamtfläche von 100m² installiert worden. Im Vordergrund ist ein thermisch aktivierbarer Schwimmteich situiert. [Quelle: DI Prehm]



Abbildung 15: Impression vom Schwimmteich Vollmondnacht August 2022. [Quelle: Garten der Generationen]

Der damit abgeschlossene Bauabschnitt 1 ist mit dem parallel errichteten Energiesystem verbunden. Das Energiesystem ist in Übersicht in Abbildung 16 dargestellt. Ein systemübergreifendes Monitoringsystem wurde installiert und dient zur späteren Auswertung des Systembetriebs.

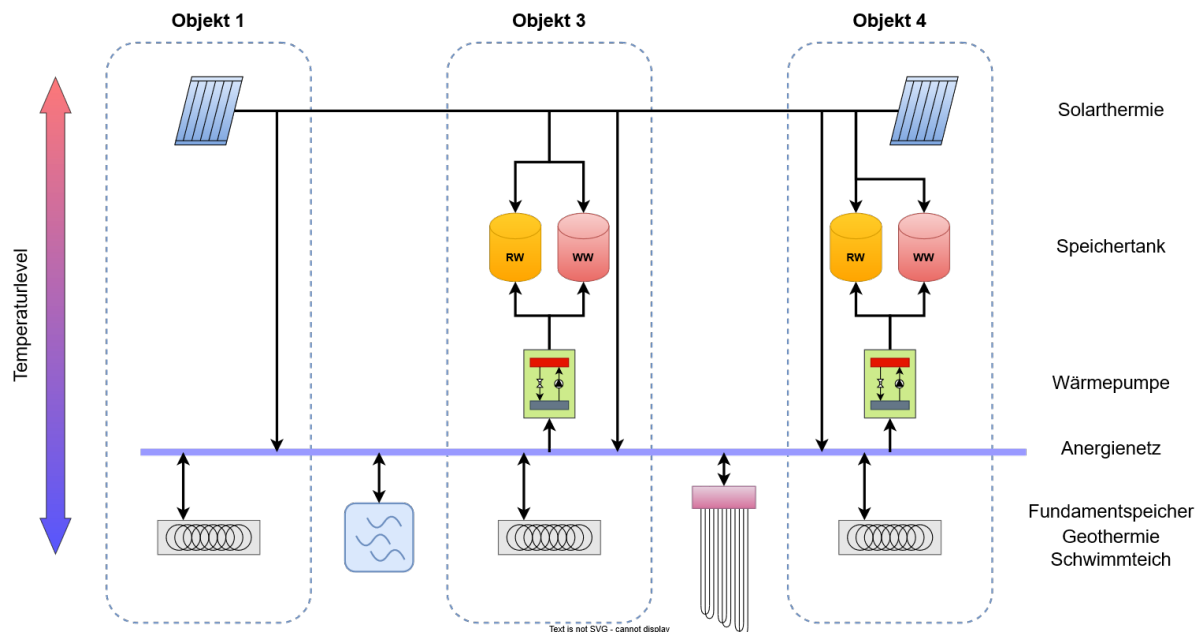


Abbildung 16: Schema des Energiesystems nach Abschluss Bauphase 1. Die Pfeile repräsentieren Wärmeströme. (Die Bedarfe für Raumwärme und Warmwasser werden aus den jeweiligen Speichertanks entzogen, sind aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in der Abbildung verzeichnet. RW: Raumwärme, WW: Warmwasser)

Einbindung und Integration der Nutzer:innen

Die vorgesehene Integration von Nutzer:innen und Bewohner:innen, in sowohl das Gesamtkonzept „Garten der Generationen“ als auch in das Energiesystem im speziellen, wurde durch den Garten der Generationen im Rahmen von Workshop- und Infoveranstaltungen auf dem Areal durchgeführt. Dazu wurden in regelmäßigen Abständen Veranstaltungen auf dem Areal und zugehörigem Gemüsegarten veranstaltet. Dabei wurden relevante Themen im Zusammenhang mit dem Bauvorhaben selbst und dem Energiesystem erörtert und gemeinsam diskutiert.

5.3. Monitoringkonzept & Aufbereitung

Es wurde ein umfassendes Konzept entworfen, das sicherstellt, dass sämtliche relevanten Energieflüsse innerhalb des Systems erfasst werden. Dies beinhaltet die genaue Definition der zu überwachenden Parameter sowie die Festlegung der geeigneten Methoden zur Erfassung und Auswertung dieser Daten. Die Auswahl und Abstimmung des benötigten messtechnischen Equipments war ein zentraler Schritt, um die Präzision und Zuverlässigkeit der Datenerfassung sicherzustellen. Dies umfasste die sorgfältige Auswahl von Sensoren, Messgeräten und anderem technischen Equipment, das für die geplante Überwachung der Energieflüsse notwendig war. Gleichzeitig wurde die Art der Datenaufzeichnung definiert, um eine effiziente Datenverarbeitung zu gewährleisten. Dieser Schritt beinhaltet auch die physische Implementierung der ausgewählten messtechnischen Ausrüstung in den relevanten Bereichen des Systems.

In Abbildung 17 und Abbildung 18 ist das Monitoringkonzept mit Verortung der jeweiligen Mess-Sensorik dargestellt.

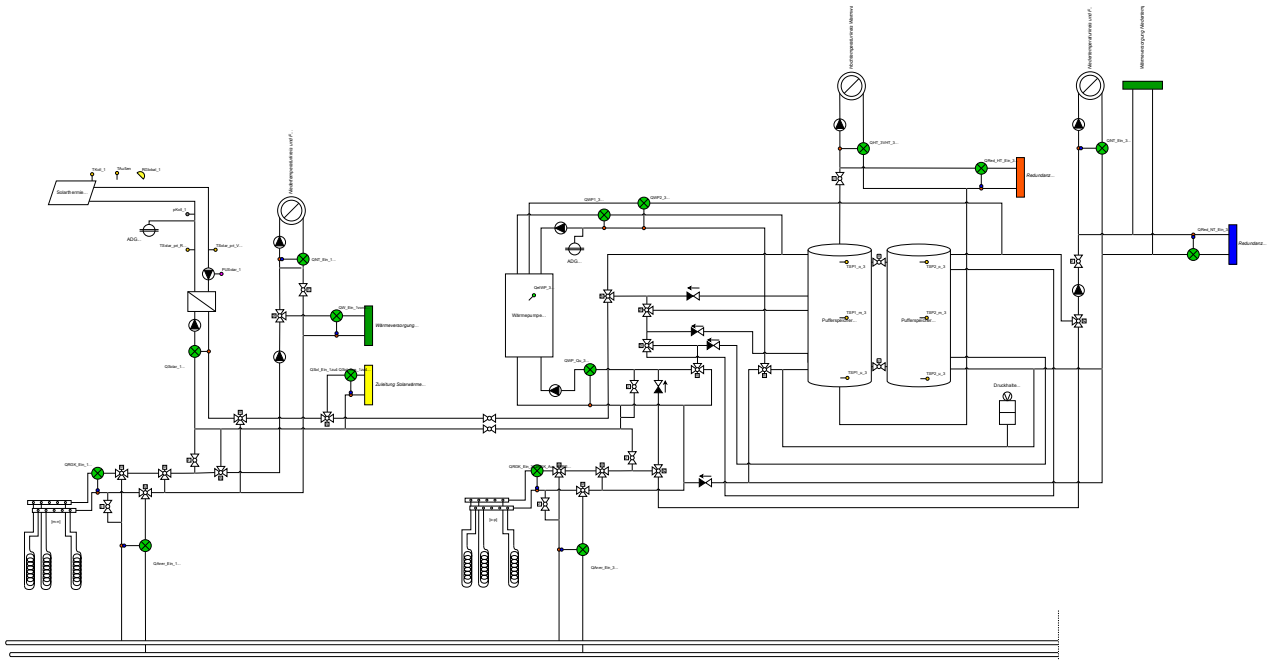


Abbildung 17: Mess- und Instrumentierungsschema Energiesystem Garten der Generationen. (Teil 1 – Gebäude 1 und 3)

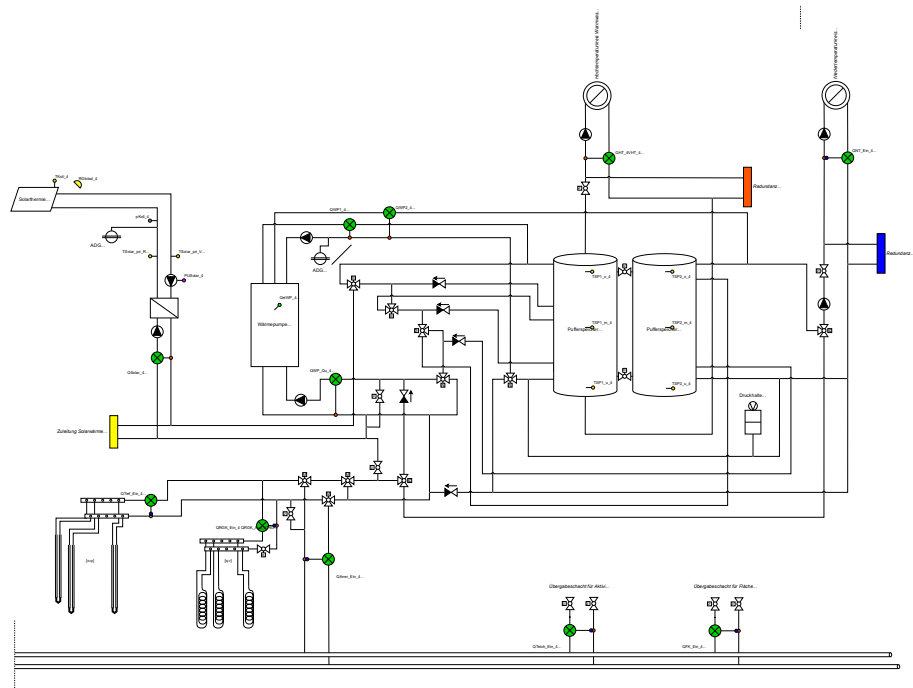


Abbildung 18: Mess- und Instrumentierungsschema Energiesystem Garten der Generationen. (Teil 2 – Gebäude 4)

Für die Messtechnik wurden folgende Sensoren installiert:

- 19 Temperaturfühler
- 10 Wärmemengenzähler
- 16 Wärmemengenzähler, bidirektional
- 2 Drucksensoren
- 2 Globalstrahlungssensoren
- 2 Stromzähler

Ein zentraler Punkt war die Monitoringdaten auf effektive Weise zu präsentieren und zu verbreiten, wobei besondere Beachtung auf die Bewusstseinsbildung bei den Nutzer:innen und Bewohner:innen gelegt wurde. Dies schloss die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Website bzw. App ein, die es den Nutzer:innen und Bewohner:innen ermöglicht, die Energieflussdaten in leicht verständlicher Form zu konsumieren. Der Zweck dieser Maßnahme bestand darin, das Bewusstsein für den Energieverbrauch und die Nachhaltigkeitsziele des Projekts zu schärfen und die aktive Beteiligung der Zielgruppen zu fördern. Für die Datenaufzeichnung, -speicherung und -darstellung wurde das Tool ThingsBoard⁸ verwendet.

In Abbildung 19 ist ein Screenshot aus dem ThingsBoard Tool dargestellt. In diesem Ausschnitt sind bspw. eine Systemskizze (inkl. Messtellen), Außentemperatur und Strahlung, Solarerträge, Speichertemperaturen sowie die Energiemengen der Wärmepumpen der letzten 7 Tage dargestellt.

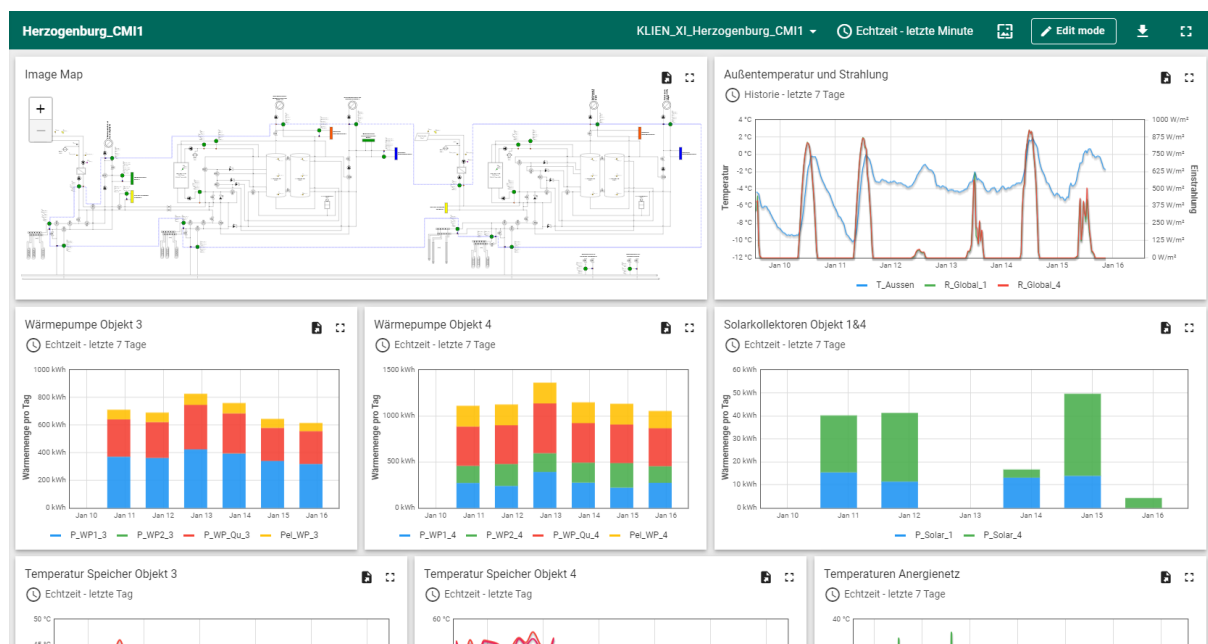


Abbildung 19: Ausschnitt aus dem für die Bewohner bereiteten Dashboard im ThingsBoard. [Quelle: AEE INTEC]

Die Monitoringdaten wurden so aufbereiten, dass sie für eine breitere Veröffentlichung und die Betonung von "Lessons learnt" (gemachten Erfahrungen und Lehren) geeignet sind. Hierbei wurde nicht nur auf die Verständlichkeit der Daten, sondern auch auf Datensicherheitsaspekte Wert gelegt.

⁸ ThingsBoard - Open-source IoT Plattform: <https://thingsboard.io/>

Die Informationen wurden so präsentiert, dass externe Interessengruppen, Forschungspartner oder die Öffentlichkeit die Erkenntnisse des Monitorings nutzen konnten, um das Verständnis für nachhaltige Energiepraktiken zu vertiefen.

5.4. Szenarienstudie weitere Bauphase

Für den zweiten Bauabschnitt wurden vier unterschiedliche Systemvarianten untersucht, um den Einfluss verschiedener Ausbaustufen zentraler Energiekomponenten auf die energetische Performance des Quartiers zu bewerten. Die Varianten unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der Größe der solarthermischen Kollektorfläche und Speicher, der Dimensionierung der Photovoltaikanlage sowie der Anzahl bzw. Kapazität der elektrischen Batteriespeicher. Die Wärmepumpenleistung wurden in allen Varianten konstant gehalten, um die Wirkung der zusätzlich integrierten erneuerbaren Erzeugungs- und Speicherkomponenten vergleichbar bewerten zu können.

In Tabelle 4 sind die Systemkombinationen, die mittels Simulationen analysiert wurden, aufgeführt.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Systemkombinationen für Bauabschnitt 2.

| BA 2 | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| $A_{sol} [m^2]$ | 100 | 200 | 200 | 300 |
| $V_{store} [m^3]$ | 2 x 3 | 2 x 6 | 2 x 9 | 2 x 9 |
| $n_{Bor} [-]$ | 30 | 30 | 30 | 30 |
| $P_{HP} [kW]$ | 3 x 42 | 3 x 42 | 3 x 42 | 3 x 42 |
| $A_{PV} [m^2]$ | 100 | 200 | 300 | 400 |
| $C_{bat} [kWh]$ | 10 | 20 | 30 | 40 |

Variante 1 stellt eine vergleichsweise moderate Ausbaustufe dar. Sie umfasst eine solarthermische Kollektorfläche von 100 m², eine Photovoltaikanlage mit 30 kWp sowie einen elektrischen Speicher mit 10 kWh Speicherkapazität. Diese Variante dient als Referenz für eine zurückhaltende Erweiterung des bestehenden Systems und zeigt, welche energetische Performance bei begrenztem zusätzlichem Ausbau erneuerbarer Erzeugung und elektrischer Speicherung erreicht werden kann.

Variante 2 beschreibt eine erweiterte Systemkonfiguration mit einer Verdopplung der solarthermischen Kollektorfläche auf 200 m² und einer Erhöhung der elektrischen Speicherkapazität auf 20 kWh. Die installierte Photovoltaikleistung bleibt mit 30 kWp gegenüber Variante 1 unverändert. Mit dieser Variante wird insbesondere untersucht, in welchem Ausmaß eine größere solarthermische Erzeugung in Kombination mit zusätzlicher elektrischer Speicherkapazität zur Reduktion des externen Energiebezugs und zur Verbesserung der Systemeffizienz beitragen kann.

Variante 3 baut auf Variante 2 auf und erhöht zusätzlich die elektrische Speicherkapazität auf 30 kWh. Die solarthermische Kollektorfläche bleibt mit 200 m² konstant, ebenso die Photovoltaikleistung mit 30 kWp. Diese Variante dient dazu, den Einfluss eines größeren Batteriespeichers auf Eigenverbrauch, Autarkie und elektrische Versorgung der Wärmepumpen zu analysieren. Dadurch kann bewertet werden, ob eine stärkere elektrische Speicherintegration gegenüber einer reinen Erhöhung der erneuerbaren Erzeugungsleistung zusätzliche Vorteile bietet.

Variante 4 stellt die umfangreichste Ausbaustufe dar. Sie umfasst eine solarthermische Kollektorfläche von 300 m², eine Photovoltaikanlage mit 30 kWp sowie eine elektrische Speicherkapazität von 40 kWh. Zusätzlich wird auch die Leistung der elektrischen Heizstäbe gegenüber den vorangegangenen Varianten erhöht. Ziel dieser Variante ist es, das Potenzial eines stärker integrierten Systems mit größerer solarthermischer Erzeugung, erhöhter elektrischer Speicherkapazität und zusätzlicher Power-to-Heat-Nutzung zu untersuchen. Damit wird analysiert, inwieweit lokale erneuerbare Energieüberschüsse besser genutzt und der Autarkiegrad des Quartiers weiter gesteigert werden können.

Ergebnisse der Systemsimulationen

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass alle untersuchten Varianten den Wärmebedarf des zweiten Bauabschnitts grundsätzlich decken können. Der Heizwärmebedarf liegt in allen Varianten bei rund 203,4 MWh/a, der Warmwasserbedarf bei rund 45,8 MWh/a. Unterschiede zwischen den Varianten ergeben sich daher nicht aus veränderten Nutzenergiebedarfen, sondern aus der jeweiligen Dimensionierung der Erzeugungs-, Speicher- und Eigenverbrauchskomponenten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 und in Abbildung 20 zusammengefasst.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für Bauabschnitt 2.

| | | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 | |
|-------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
| <i>Gesamtenergieverbrauch</i> | | | | | | |
| Heizwärmebedarf | Q_{SH} | 203.4 | 203.4 | 203.4 | 203.4 | MWh |
| Warmwasserbedarf | Q_{DHW} | 45.8 | 45.8 | 45.8 | 45.8 | MWh |
| <i>Solarerträge</i> | | | | | | |
| Kollektorfeldertrag | Q_{Sol} | 66.0 | 131.4 | 130.4 | 191.2 | MWh |
| Spez. Kollektorertrag | q_{sol} | 659.8 | 657.1 | 652.2 | 637.4 | kWh/m ² |
| solare Deckung | f_{sol} | 11.94% | 16.77% | 17.33% | 20.42% | |
| <i>PV-System</i> | | | | | | |
| Eigenbezug | E_{self} | 2998.8 | 4753.0 | 6733.1 | 7903.5 | kWh |
| Selbstverbrauch | SC | 21.1% | 16.7% | 15.8% | 13.9% | |
| Autarkie | SS | 5.9% | 9.7% | 13.7% | 16.7% | |
| <i>Wärmepumpen</i> | | | | | | |
| Verdampferenergie | Q_{eva} | 162.2 | 157.4 | 159.0 | 154.6 | MWh |
| Kondensatorenergie | Q_{con} | 213.3 | 206.7 | 208.3 | 201.9 | MWh |
| Strombedarf | E_{komp} | 51.1 | 49.3 | 49.3 | 47.3 | MWh |
| COP/SPF | SPF | 4.17 | 4.22 | 4.23 | 4.27 | |
| | | | | | | |
| <i>Ökologie</i> | | | | | | |
| Primärenergiebedarf | E_{prim} | 90.0 | 86.2 | 86.7 | 83.3 | MWh |
| CO ₂ -Emissionen | EX_{CO_2} | 7.98 | 7.64 | 7.69 | 7.39 | t_CO ₂ |

Mit zunehmender solarthermischer Kollektorfläche steigen die jährlichen Solarerträge deutlich an. Während Variante 1 mit 100 m² Kollektorfläche einen Kollektorfeldertrag von rund 66,0 MWh/a erreicht, werden in Variante 2 und 3 mit jeweils 200 m² rund 131,4 MWh/a bzw. 130,4 MWh/a

erzielt. In Variante 4 steigt der Solarertrag durch die Erweiterung auf 300 m² auf rund 191,2 MWh/a. Gleichzeitig nimmt der spezifische Kollektorsertrag mit steigender Kollektorfläche leicht ab. Dies weist darauf hin, dass zusätzliche Kollektorflächen zwar die absolute solare Wärmeerzeugung erhöhen, jedoch nicht vollständig proportional genutzt werden können. Die solare Deckung steigt dennoch von rund 11,9 % in Variante 1 auf rund 20,4 % in Variante 4.

Auch auf der elektrischen Ebene zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Varianten. Der Eigenbezug aus der PV-Anlage steigt mit zunehmender elektrischer Speicherkapazität von rund 3,0 MWh/a in Variante 1 auf rund 7,9 MWh/a in Variante 4. Gleichzeitig sinkt der relative Selbstverbrauchsanteil von 21,1 % auf 13,9 %. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit zunehmender Systemgröße zwar absolut mehr lokal erzeugter Strom genutzt werden kann, der Anteil des direkt selbst verbrauchten PV-Stroms im Verhältnis zur gesamten PV-Erzeugung jedoch abnimmt. Der Autarkiegrad erhöht sich hingegen kontinuierlich von 5,9 % in Variante 1 auf 16,7 % in Variante 4. Damit zeigt sich, dass größere elektrische Speicher und eine stärkere Integration der PV-Erzeugung zur Reduktion des externen Strombezugs beitragen können.

Die Wärmepumpen weisen in allen Varianten eine hohe Effizienz auf. Der Strombedarf der Wärmepumpen sinkt von 51,1 MWh/a in Variante 1 auf 47,3 MWh/a in Variante 4. Gleichzeitig verbessert sich der saisonale Wirkungsgrad von 4,17 auf 4,27. Dies zeigt, dass eine höhere solare Einbindung und eine verbesserte Systemintegration günstige Quellentemperaturen bzw. Betriebsbedingungen für die Wärmepumpen unterstützen können. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind zwar moderat, bestätigen jedoch den positiven Einfluss einer erweiterten erneuerbaren Einbindung auf die Gesamtsystemeffizienz.

Die ökologischen Kennwerte verbessern sich ebenfalls mit zunehmendem Ausbaugrad. Der Primärenergiebedarf reduziert sich von rund 90,0 MWh in Variante 1 auf rund 83,3 MWh in Variante 4. Auch die CO₂-Emissionen sinken von rund 8,0 t CO₂/a auf rund 7,4 t CO₂/a. Die niedrigsten Werte werden damit in Variante 4 erreicht, die zugleich die höchste solare Deckung und den höchsten Autarkiegrad aufweist.

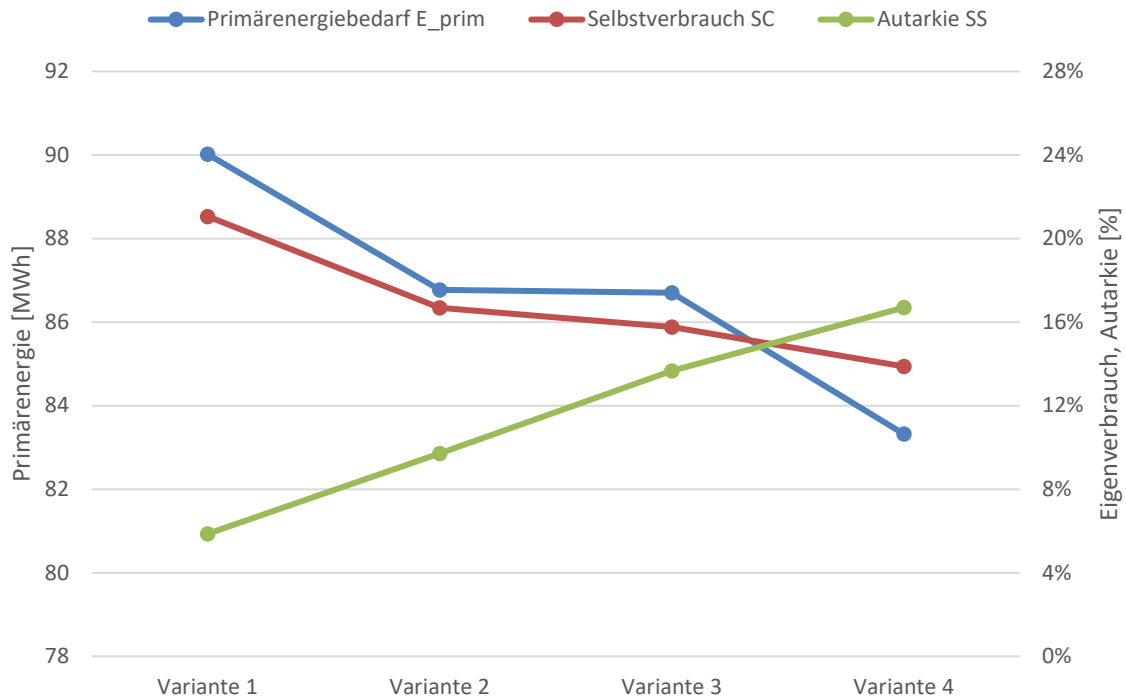


Abbildung 20: Primärenergieverbrauch, Eigenverbrauch und Autarkie der Varianten 1-4 für den 2. Bauabschnitt.

Insgesamt zeigen die Simulationen, dass insbesondere eine Vergrößerung der solarthermischen Kollektorfläche, ergänzt durch PV, elektrische Speicher und eine optimierte Eigenverbrauchsnutzung, die energetische und ökologische Performance des Quartiers verbessern kann. Variante 4 stellt unter den untersuchten Konfigurationen die energetisch vorteilhafteste Ausbaustufe dar. Gleichzeitig zeigen die abnehmenden spezifischen Kollektorerträge und sinkenden relativen Selbstverbrauchsanteile, dass größere Komponenten nicht automatisch proportional höhere Nutzen bringen. Für die weitere Planung ist daher eine abgestimmte Dimensionierung von Erzeugung, Speicher, Lastmanagement und Betriebsstrategie entscheidend.

6 Schlussfolgerungen

Die steigende Nachfrage nach kalter Fernwärme signalisiert eine wachsende Sensibilität für nachhaltige Energieversorgungskonzepte. Dieser Trend geht einher mit der Erkenntnis, dass kalte Fernwärme nicht nur umweltfreundlich ist, sondern auch energetische Vorteile bietet. Die Einbindung erneuerbarer Energiequellen ist hierbei besonders hervorzuheben, da sie einen bedeutenden Beitrag zur Reduzierung von CO₂-Emissionen leistet. Ein weiterer Pluspunkt von kalter Fernwärme liegt in den geringen thermischen Verlusten im Netz. Dies ermöglicht eine effiziente Energieübertragung und trägt zur Wirtschaftlichkeit des Systems bei. Diese Vorteile machen kalte Fernwärme zu einer übertragbaren Lösung, die sich auch auf andere Bauvorhaben anwenden lässt.

Quartierslösungen rücken weiter in den Fokus. Durch die gemeinsame Nutzung von Energiequellen und Infrastruktur können Synergieeffekte genutzt werden, was nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch sinnvoll ist. Diese Entwicklung fördert zudem die Entstehung von nachhaltigen Quartieren, die den steigenden Ansprüchen an umweltbewusstes und sozial verträgliches Wohnen gerecht werden. Ein ganzheitlicher Ansatz in der Energieversorgung gewinnt zunehmend an Bedeutung, insbesondere im Hinblick auf die Lebensformen der Zukunft. Die Integration von kalter Fernwärme in gemeinschaftliche Wohnkonzepte passt sich den sich verändernden Bedürfnissen der Gesellschaft an. Diese zukunftsorientierte Ausrichtung schafft nicht nur eine nachhaltige Energieversorgung, sondern fördert auch ein gemeinschaftliches Miteinander, was den sozialen Aspekt des Wohnens stärkt.

Insgesamt zeigt die steigende Nachfrage nach kalter Fernwärme, dass dieses Energieversorgungskonzept nicht nur aufgrund seiner energetischen Vorteile, sondern auch im Kontext von Quartierslösungen und gemeinschaftlichen Wohnkonzepten auf andere Bauvorhaben übertragbar ist. Die ganzheitliche Betrachtung von Energieeffizienz, Umweltverträglichkeit und sozialer Integration macht kalte Fernwärme zu einer vielversprechenden Option für die zukünftige Gestaltung nachhaltiger Bauvorhaben.

Disseminationsaktivitäten

Im Rahmen der Disseminationsaktivitäten wurden diverse Veröffentlichungen erstellt. Es konnten Vorträge bei nationalen und internationalen Konferenzen gehalten und Artikel in verschiedenen Fachmagazinen veröffentlicht werden. Darüber hinaus wurde von Ezekiel Sharma eine Masterarbeit zum Thema „Simulation und Bewertung verschiedener Systemvarianten/Szenarien zur Versorgung eines neuen Wohnquartiers mit Niedertemperatur-Fernwärme“ verfasst. Zusätzlich wurden diverse Workshops und Infoveranstaltungen im Garten der Generationen veranstaltet. Im Folgenden ist eine Liste der Disseminationen aufgeführt.

Konferenzbeiträge und Vorträge

- IBA Wien 2022: Baugemeinschaftsforum 25.06.2022 Wien (AT)
- 33. Symposium Solarthermie, 09.-11.02.2023 Bad Staffelstein (D)
- IEWT 2023, 15.-17.02.2023 Wien (AT)

IEA Task/Annex Meetings

- IEA EBC TCP Annex 83 "Positive Energy Districts", 10.10.2023 Graz (AT)

Masterarbeit

- Ezekiel Sharma: „Simulation and evaluation of different system variants/scenarios for the supply of a new residential quarter with low-temperature district heating“, 2021

Artikel

- Nachhaltige Technologien 01/2022: „Vom gemeinschaftlichen Wohnen hin zum zukunftsfähigen Quartier“
- Energy Innovation Austria 04/2022: „ANERGY2PLUS – Complete concept for a pioneering residential neighbourhood“
- Nachhaltige Technologien 01/2023: „Stadt der Zukunft-Auszeichnung für Demoprojekt Anergy2Plus“

Weitere Events/Disseminationen

- Stadt der Zukunft Vernetzungstreffen – FFG-organisiertes Event zur Vernetzung der Stadt der Zukunft Projekte
- Stadt der Zukunft-Award – Überreichung Urkunde durch VertreterInnen des BMK an den Garten der Generationen
- Einweihungsfeier GdG – Feier mit öffentlichem Publikum und geladenen Gästen
- Ö1 Radiokolleg – Interview mit Margit Atzler am 27.02.2023
- Interne Workshops im Garten der Generationen – Im Rahmen von (Info-)Veranstaltungen und Workshops im Garten der Generationen werden die BewohnerInnen über das Gesamt- und das Energiesystem im Speziellen informiert
- Im Rahmen der AEE INTEC-internen Weiterbildung wurde das Projekt vorgestellt und Ergebnisse mit fachkundigem Publikum diskutiert

7 Ausblick und Empfehlungen

Anerkennung auf Quartiersebene stellen eine vielversprechende Möglichkeit dar, Energie effizient zwischen verschiedenen Verbrauchern zu verteilen. Durch die Vernetzung von Quartieren können überschüssige Energiequellen genutzt und Mangelzustände ausgeglichen werden. Es ist jedoch entscheidend, eine ausgewogene Bilanz zwischen erzeugter und verbrauchter Energie zu wahren. Nur durch eine sorgfältige Abstimmung und Überwachung kann ein nachhaltiges und effizientes Energiesystem gewährleistet werden.

Die Erweiterung der Bilanzierung eines Quartierverbundes um die elektrische Ebene eröffnet zahlreiche Vorteile in Bezug auf Energieeinsparung und Steigerung der Autarkie. Durch die Integration verschiedener Energiequellen wie Photovoltaik, Windkraft oder auch Speichertechnologien kann die Versorgungssicherheit verbessert und gleichzeitig der Bedarf an extern zugeführter Energie reduziert werden. Die elektrische Ebene ermöglicht zudem eine präzisere Kontrolle und Anpassung an den aktuellen Energiebedarf, was zu einer effizienteren Nutzung führt.

Insgesamt bieten Quartiere eine vielversprechende Plattform, um eine nachhaltige Energieinfrastruktur zu schaffen. Die Berücksichtigung der elektrischen Ebene in der Bilanzierung eröffnet neue Wege für eine intelligente und ressourceneffiziente Energieversorgung auf Quartiersebene.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Bilanzgrenzen und Energie- bzw. Massenströme der einzelnen im System geplanten Komponenten..... | 14 |
| Abbildung 2: 3D-Ansicht des ersten Bauabschnitts. | 16 |
| Abbildung 3: Energiebedarf des ersten Bauabschnitts auf Monatsbasis (Warmwasserbedarf DHW und Heizwärmebedarf SH). | 17 |
| Abbildung 4: Schema des Simulationsmodells für das Gesamtsystem in DYMOLA..... | 18 |
| Abbildung 5: Revidierter Plan der geplanten Bauphasen. | 20 |
| Abbildung 6: Energieflussdiagramm des ersten Bauabschnittes (Jahressimulation)..... | 21 |
| Abbildung 7: Bilanzgrenzen zur Analyse des Gesamtsystems..... | 21 |
| Abbildung 8: Energiebilanz des ersten Bauabschnittes auf Monatsbasis..... | 22 |
| Abbildung 9: Spatenstich mit (v.l.n.r.) Bürgermeister Christoph Artner, Dir. Hermine Dangl, Vizebürgermeister Richard Waringer und Initiator Markus Distelberger, 18.12.2020. [Quelle: Garten der Generationen]..... | 24 |
| Abbildung 10: Gleichenfest 15.07.2021. [Quelle: Garten der Generationen] | 25 |
| Abbildung 11: Einbringen der Erdsonden. [Quelle: AEE INTEC - 30.09.2021]..... | 25 |
| Abbildung 12: Südwestansicht des Areals mit dem Gemeinschaftshaus Objekt 1 (links) und Objekt 3 (rechts). [Quelle: AEE INTEC - 30.09.2021]..... | 26 |
| Abbildung 13: Fotoserie über den Baufortschritt der Bauphase 1 von Januar 2021 bis Juni 2022. [Quelle: DI Prehm]..... | 26 |
| Abbildung 14: Arealansicht mit den fertiggestellten Gebäuden des ersten Bauabschnittes. Auf den Dächern der Gebäude 1 und 4 ist eine Solaranlage mit Gesamtfläche von 100m ² installiert worden. Im Vordergrund ist ein thermisch aktivierbarer Schwimmteich situiert. [Quelle: DI Prehm] | 27 |
| Abbildung 15: Impression vom Schwimmteich Vollmondnacht August 2022. [Quelle: Garten der Generationen] | 27 |
| Abbildung 16: Schema des Energiesystems nach Abschluss Bauphase 1. Die Pfeile repräsentieren Wärmeströme. (Die Bedarfe für Raumwärme und Warmwasser werden aus den jeweiligen Speichertanks entzogen, sind aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in der Abbildung verzeichnet. RW: Raumwärme, WW: Warmwasser) | 28 |
| Abbildung 17: Mess- und Instrumentierungsschema Energiesystem Garten der Generationen. (Teil 1 – Gebäude 1 und 3)..... | 29 |
| Abbildung 18: Mess- und Instrumentierungsschema Energiesystem Garten der Generationen. (Teil 2 – Gebäude 4) | 29 |
| Abbildung 19: Ausschnitt aus dem für die Bewohner bereiteten Dashboard im ThingsBoard. [Quelle: AEE INTEC] | 30 |
| Abbildung 20: Primärenergieverbrauch, Eigenverbrauch und Autarkie der Varianten 1-4 für den 2. Bauabschnitt..... | 34 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Übersicht der betrachteten KPIs..... | 15 |
| Tabelle 2: Zusammenfassung der Gebäudedaten aus Bauabschnitt 1. | 17 |
| Tabelle 3: KPIs erster Bauabschnitt..... | 23 |
| Tabelle 4: Zusammenfassung der Systemkombinationen für Bauabschnitt 2..... | 31 |
| Tabelle 5: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für Bauabschnitt 2..... | 32 |

Literaturverzeichnis

- Agency, E. E. (2022). *Cooling buildings sustainably in Europe: exploring the links between climate change mitigation and adaptation and their social impacts*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Bundesministerium für Klimaschutz, U. E. (2024). *Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.
- Fleiter, T., Steinbach, J., & Ragwirt, M. (2016). *Mapping and analyses for the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel development (fossil/renewables) – Executive Summary*. Brüssel: European Commission.
- Union, E. (2021). Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 — European Climate Law. *Official Journal of the European Union*.

