STADTQUARTIER 2050

Partner:

Assoziierte Partner:

Abschlussbericht für das Verbundvorhaben STADTQUARTIER 2050

Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Erstellt im Verbundvorhaben STADTQUARTIER 2050 im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“ aus dem 6. Energieforschungs-programm

30.10.2024

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
Landeshauptstadt Stuttgart (Verbundprojektleiter)	03SBE116A
Stadt Überlingen	03SBE116B
Fraunhofer Gesellschaft (Fraunhofer IBP und FIT)	03SBE116C
Universität Stuttgart (IWB)	03SBE116E
Forschungsinstitut für Wärmeschutz (FIW)	03SBE116F
IREES	03SBE116G
Energieagentur Ravensburg	03SBE116H
Stadtwerk am See	03SBE116I / 03SBE116O
Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart (EDS)	03SBE116K / 03SBE116P
Baugenossenschaft Überlingen	03SBE116N / 03SBE116Q
puren	03SBE116M
Assoziierte Partner:	
Saint Gobain Isover G+H	
SWSG	
Vorhabenbezeichnung: STADTQUARTIER 2050: Herausforderungen gemeinsam lösen	
Laufzeit des Vorhabens: 03/2018 - 02/2024	

Autoren:

Heike Erhorn-Kluttig, Johannes Schrade, Herbert Sinnesbichler, Simone Steiger, Katrin Lenz, Daniel Stegmaier, Corin Schray, Micha Illner, Hans Erhorn (Fraunhofer-Institut für Bauphysik)
Dr. Jürgen Görres, René Hahn, Simeon Kühl, Jakob Weinbrenner (Landeshauptstadt Stuttgart)
Prof. Dr. Henner Gimpel (Fraunhofer FIT)
Dieter Ressel, Anneka Werner (BGÜ)
Dr. Karin Schakib-Ekbatan, Dr. Anette Roser (IREES)
Moritz Fakner (Stadtwerk am See)
Michael Maucher, Anna Söder (Energieagentur Ravensburg)
Michael Kamml (FIW München)
Hans Naujocks (EDS)
Thomas Kölschbach, Melissa Siegl (Stadt Überlingen)
Dr. Andreas Huther (puren)

Inhalt

1	**Einleitung**	**5**
1.1	Die Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt	5
1.2	Der Wettbewerbsbeitrag STADTQUARTIER 2050	6
2	**Projektaufgaben, Projektarbeiten und Ergebnisse**	**8**
2.1	Städteplattform	10
2.1.1	Aufgabenstellung	10
2.1.2	Vorgehen	11
2.1.3	Ergebnisse	11
2.2	Demonstrationsquartier Bürgerhospital, Stuttgart	15
2.2.1	Aufgabenstellung	15
2.2.2	Vorgehen	16
2.2.3	Ergebnisse	22
2.3	Demonstrationsquartier Schättlisberg/Hildegardring, Überlingen	31
2.3.1	Aufgabenstellung	31
2.3.2	Vorgehen	32
2.3.3	Ergebnisse	37
2.4	Ermittlung feingranularer Strom- und Wärmebedarfsdaten	44
2.4.1	Aufgabenstellung	44
2.4.2	Vorgehen	45
2.4.3	Ergebnisse	45
2.5	Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung	48
2.5.1	Aufgabenstellung	48
2.5.2	Vorgehen	49
2.5.3	Ergebnisse	55
2.6	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energiekonzepten	82
2.6.1	Aufgabenstellung	82
2.6.2	Vorgehen	83
2.6.3	Ergebnisse	89
2.7	Ökobilanzbewertung von Energiekonzepten	93
2.7.1	Aufgabenstellung	93
2.7.2	Vorgehen	93
2.7.3	Ergebnisse	102
2.8	Modellhafter Abstimmungsprozess bezüglich erhaltenswerter Bausubstanz	115
2.8.1	Aufgabenstellung	116
2.8.2	Vorgehen und Ergebnisse	117
2.9	Motivation / Koordination der Baugesellschaften im Demonstrationsquartier Überlingen	117

2.9.1 Aufgabenstellung 117
2.9.2 Vorgehen 117
2.9.3 Ergebnisse 120
2.10 Entwicklung eines Bonus-Systems zur Unterstützung eines energiebewussten Verhaltens 122
2.10.1 Aufgabenstellung 122
2.10.2 Vorgehen 123
2.10.3 Ergebnisse 125
2.11 Energiegerechtigkeit durch warmmietneutrale und sozialverträgliche Sanierung 130
2.11.1 Aufgabenstellung 130
2.11.2 Vorgehen 131
2.11.3 Ergebnisse 132
2.12 Tool „Quartiers-App zur Verbraucherschulung“ 135
2.12.1 Aufgabenstellung 135
2.12.2 Vorgehen 136
2.12.3 Ergebnisse 147
2.13 Tool „Klimaneutral Easy“ 162
2.13.1 Aufgabenstellung 163
2.13.2 Vorgehen 164
2.13.3 Ergebnisse 168
2.14 Tool „GridOptimizer“ 193
2.14.1 Aufgabenstellung 193
2.14.2 Vorgehen 194
2.14.3 Ergebnisse 201
2.15 Tool „Ökobilanz-Modul für den Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (District ECA)“ 215
2.15.1 Aufgabenstellung 215
2.15.2 Vorgehen 216
2.15.3 Ergebnisse 218
2.16 Messkonzepte 243
2.16.1 Aufgabenstellung 243
2.16.2 Vorgehen 244
2.16.3 Ergebnisse 246
2.17 Mitarbeit im IEA EBC Annex 72 254
2.17.1 Aufgabenstellung 254
2.17.2 Vorgehen 255
2.17.3 Ergebnisse 256

3 Veröffentlichungen 261

4 Zusammenfassung, Lessons Learned und Ausblick 292
4.1 Zusammenfassung 292
4.2 Lessons Learned und Ausblick 296

5 Literaturverzeichnis 301

1 Einleitung

1.1 Die Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt

Im April 2016 veröffentlichten die beiden Bundesministerien für Wirtschaft und Energie (BMWi) und für Bildung und Forschung (BMBF) eine ressortübergreifende Bekanntmachung zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration auf dem Gebiet energieeffizienter Gebäude und Quartiere als Teil des 6. Energieforschungsprogramms. Ziel der Förderbekanntmachung war es „die Energieeffizienzstrategie Gebäude der Bundesregierung umzusetzen und die beiden Zielszenarien „Energieeffizienz“ und „Erneuerbare Energien“ weiterzuentwickeln und zu deren schnelleren und kosteneffizienten Umsetzung beizutragen“ [BMWi/BMBF 2016]. Der Förderaufruf gliederte sich in zwei Module: Modul I „Solares Bauen“ und Modul II „Energieeffiziente Stadt“.

Im Modul II „Energieeffiziente Stadt“ lag der Fokus auf „umfassenden und systemisch angelegten Leuchtturmprojekten auf Quartiersebene“ mit dem Ziel der „Gestaltung von innovativen, energieoptimierten und nachhaltigen Quartieren, die durch Energieeffizienz und die Nutzung von erneuerbaren Energien nahezu ohne fossile Brennstoffe auskommen“ [BMWi/BMBF 2016]. Dabei sollten drei unterschiedliche Themenfelder miteinander vernetzt bearbeitet werden:

- Energieinfrastrukturen: Integration erneuerbarer Energien und Abwärme in bestehende Versorgungsstrukturen, systemische Ansätze zur Transformation von Infrastrukturen, Netzdienlichkeit, Low-Ex-Wärmeversorgungskonzepte

- Datengrundlagen und Planungstools sowie weitere Hilfsmittel: Erstellung und Einsatz von Planungswerkzeugen zur integralen Planung, IKT-Plattformen zur Vernetzung von Stadtsystemen in Echtzeit, Digitalisierung der Energiewende auf Quartiersebene, Bereitstellung und Verfügbarkeit notwendiger Daten, Datensicherheit und Datenschutz, Datenauswertung und Datennutzung, Erstellung und projektbegleitende Lebenszyklusbetrachtungen für Gebäude und Quartiere

- Sozialwissenschaftliche Fragestellungen: Akzeptanz nachhaltiger Technologien unter Berücksichtigung ökonomischer Randbedingungen, soziale und ökonomische Folgen sowie Grenzen der energetischen Sanierung (bezahlbarer Wohnraum, demografischer Wandel), Eigentümer und Nutzer im Transformationsprozess, Auswirkung von Beratungsangeboten, Einfluss von Wissensstand und Sprachbarrieren, Wissensvermittlung.

1.2 Der Wettbewerbsbeitrag STADTQUARTIER 2050

Die Landeshauptstadt Stuttgart hat zusammen mit ihrem langjährigen Forschungspartner Fraunhofer-Institut für Bauphysik basierend auf der Förderbekanntmachung eine Projektidee entwickelt, in deren Zentrum die Konzeption, Planung und Umsetzung eines Konversionsgebiets mit möglichst klimaneutraler Energieversorgung war. Das Forschungsthema klimaneutrale Energieversorgung sollte zusätzlich auch generisch angegangen werden und um eine Lebenszyklusbewertung ergänzt werden. Um den Impact des angedachten Forschungs- und Demonstrationsprojekts zu erhöhen, wurden weitere Städte mit ähnlichen Ansätzen gesucht, die weitere Demonstrationsquartiere beitragen und in Verbindung damit auch zusätzliche technische und soziale Forschungsthemen einbringen könnten. Mit der Landeshauptstadt München und der großen Kreisstadt Überlingen konnten zwei weitere Städte für den Projektantrag gewonnen werden, die zusammen mit weiteren Partnern zusätzliche soziale Themen wie Energiegerechtigkeit und technische Themen wie Wirtschaftlichkeitsberechnungen und die Entwicklung einer Quartiers-App bearbeiten wollten. Ein wichtiger Ansatz war die Idee einer Städteplattform, in der sich die drei Kommunen über die Projektthemen und deren Auswirkung auf weitere städtische Quartiere austauschen wollten.

Die eingereichte Projektskizze war eines von sechs Gewinnerprojekten im Förderwettbewerb und wurde zur Einreichung eines Projektantrags aufgefordert. Der finale Antrag umfasste dann noch zwei Kommunen (Stuttgart und Überlingen), insgesamt 13 Projektpartner (neben den beiden Kommunen die Energieversorger Energiedienste der Stadt Stuttgart EDS und das Stadtwerk am See, die Baugenossenschaft Überlingen, die Forschungspartner Fraunhofer-Gesellschaft mit ihren Instituten Fraunhofer IBP und Fraunhofer FIT, die Universität Stuttgart (Institut für Werkstoffe im Bauwesen), das Forschungsinstitut für Wärmeschutz FIW, das Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien IREES, die Energieagentur Ravensburg und der Dämmstoffhersteller puren. Mit der Stuttgarter Wohnungs- und Städtebaugesellschaft SWSG und dem Industriepartner Saint-Gobain als assoziierte Partner ohne Projektförderung wurde das transdisziplinäre Konsortium komplettiert.

Das Vorhaben „STADTQUARTIER 2050“ nahm sich zum Ziel, die zum damaligen Zeitpunkt für 2050 definierte Aufgabenstellung der Bundesrepublik Deutschland – und somit auch der beiden beteiligten Städte - im Gebäudesektor, nämlich die klimaneutrale Energieversorgung des Gebäudebestands in zwei Quartieren beispielhaft bereits in der Projektlaufzeit anzugehen. Dabei sollte das jeweils vorhandene ambitionierte städtische Energiekonzept konkret in bewusst unterschiedlichen Wohnquartieren unter dem besonderen Aspekt der sozialverträglichen Mietpreisentwicklung umgesetzt werden. In den zwei Quartieren sollten über 960 Wohneinheiten entstehen mit einer Gesamtinvestitionssumme von ca. 190 Mio. Euro. Im Einzelnen handelt es bei den Quartieren sich um ein Konversionsgebiet mit Umnutzung, Sanierung und teilweise Abriss und Neubebauung eines ehemaligen Kranken-

hausareals in Stuttgart und eine Randgebietssanierung mit Baufelderweiterung in Überlingen. Da in beiden Städten ähnliche Aufgaben im Bereich der unterschiedlichen Wohnquartiere anstanden, ermöglichte dieser systematische Ansatz, unterstützt auch durch den direkten Austausch in der geplanten Städteplattform, eine Übertragung und Nutzung der Ergebnisse und Erfahrungen (also einen Multiplikationseffekt) aus den Demonstrationsquartieren, nicht nur innerhalb der jeweiligen Stadt, sondern auch in der jeweils anderen Stadt. Die an den geplanten Aufgaben orientierten technologischen und sozialwissenschaftlichen Arbeitsschwerpunkte sowie die geplanten Tools sollten diesen Ansatz unterstützen. Reale Aufgabenstellungen sollten bearbeitet werden und für beide Städte und somit auch für andere Städte übertragbar gelöst werden.

Bereits im Projektantrag wurde das Ziel - die klimaneutrale Energieversorgung der Stadtquartiere - folgendermaßen definiert:

Wir verstehen unter klimaneutraler Energieversorgung der beiden Stadtquartiere 2050, dass die freigesetzten Treibhausgase der für den Gebäudebetrieb (Wärme- und Stromversorgung) des Quartiers verwendeten Energieträger in der Jahresbilanz null ergeben. Dafür werden die Treibhausgase in eine der Wirkung entsprechenden Menge CO_2 umgerechnet (CO_2-Äquivalent) und durch technische Kompensation substituiert. Als Kompensationsmaßnahmen können auch kostengünstige Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden, mittels denen die CO_2-äquivalenten Emissionen im Quartier durch Treibhausgas-Einsparungen an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden (z. B. durch Export von im Quartier erzeugter überschüssiger Wärme oder Strom aus erneuerbaren Energiequellen in das regionale oder überregionale Strom- oder Wärmenetz). Die konsequenteste Form klimaneutraler Energienutzung ist die direkte Nutzung treibhausgasfreier Energiequellen wie Sonnen-, Wind- und Wasserenergie. Auch die Nutzung pflanzlicher, nicht-fossiler Brennstoffe (wie Bioethanol, Rapsöl, Holz und Biogas) wird als klimaneutral gewertet [Görres 2018].

2 Projektaufgaben, Projektarbeiten und Ergebnisse

Das Vorhaben „STADTQUARTIER 2050“ gliederte sich in insgesamt 16 Arbeitsbereiche zu dem während der Projektlaufzeit noch eine zusätzliche Aufgabe, die Mitarbeit in einem Projekt der Internationalen Energie Agentur hinzukam. Die Arbeitsbereiche wurden, abgesehen von der Projektkoordination, der Städteplattform zum gezielten Austausch zwischen den beiden beteiligten Städten, den Demonstrationsquartieren und der Entwicklung der Messkonzepte für diese, zu drei Blöcken gruppiert.

Dabei ging es im ersten Block um technologische Fragestellungen. Diese umfassten feingranulare Strom- und Wärmebedarfsdaten, die Übersicht über mögliche Lösungsansätze für die Klimaneutralität von Wohnquartieren, die Wirtschaftlichkeitsbewertung und die Ökobilanzbewertung von Quartierskonzepten. Den hierbei entwickelten Ansätzen ist gemein, dass sie grundsätzliche Themen im Bereich von energetisch, wirtschaftlich und ökologisch nachhaltigen Quartieren bearbeiteten und dabei sowohl eine generelle Übersicht zum Thema ermöglichten, als auch eine konkrete Anwendung auf die beiden Demonstrationsquartiere beinhalteten.

Der zweite Block fokussierte sich auf sozialwissenschaftliche Fragestellungen. Neben der Motivation von Eigentümern weiterer Gebäude zum Anschluss an die möglichst klimaneutralen Wärmenetze in den Demonstrationsquartieren wurde ein Bonussystem zur Unterstützung von energiebewusstem Verhalten der Bewohner der Gebäude entwickelt und Maßnahmen zur Erarbeitung von sozialverträglichen Mietpreismodellen und zugehörigen Handlungsempfehlungen (Energiegerechtigkeit) erarbeitet. Dies wurde vor allem anhand des Demonstrationsquartiers in Überlingen ausgearbeitet, die Erkenntnisse sollen aber auch im Demonstrationsquartier in Stuttgart Anwendung finden. Zusätzlich analysierte das Vorhaben den Einfluss von erhaltenswerter Bausubstanz auf die bauliche Sanierung eines Quartiers am Beispiel des Stuttgarter Quartiers.

Im letzten Block wurden Softwaretools (weiter-)entwickelt und deren Testanwendungen durchgeführt. Dabei wurden die Arbeiten im Block technologische Fragestellungen genutzt und die dort gewonnenen Erkenntnisse in neue Tools eingearbeitet (Quartiers-App, Klimaneutral Easy und GridOptimizer), bzw. ein bereits vorhandenes Tool (Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere) um einen Ökobilanzansatz erweitert werden. Die Testanwendungen erfolgten ebenfalls anhand der beiden Demonstrationsquartiere und schlossen die beteiligten Kommunen ein.

Bild 1 zeigt die unterschiedlichen Arbeitsbereiche, die jedoch alle über die beiden Demonstrationsvorhaben und teils darüber hinaus miteinander vernetzt sind.

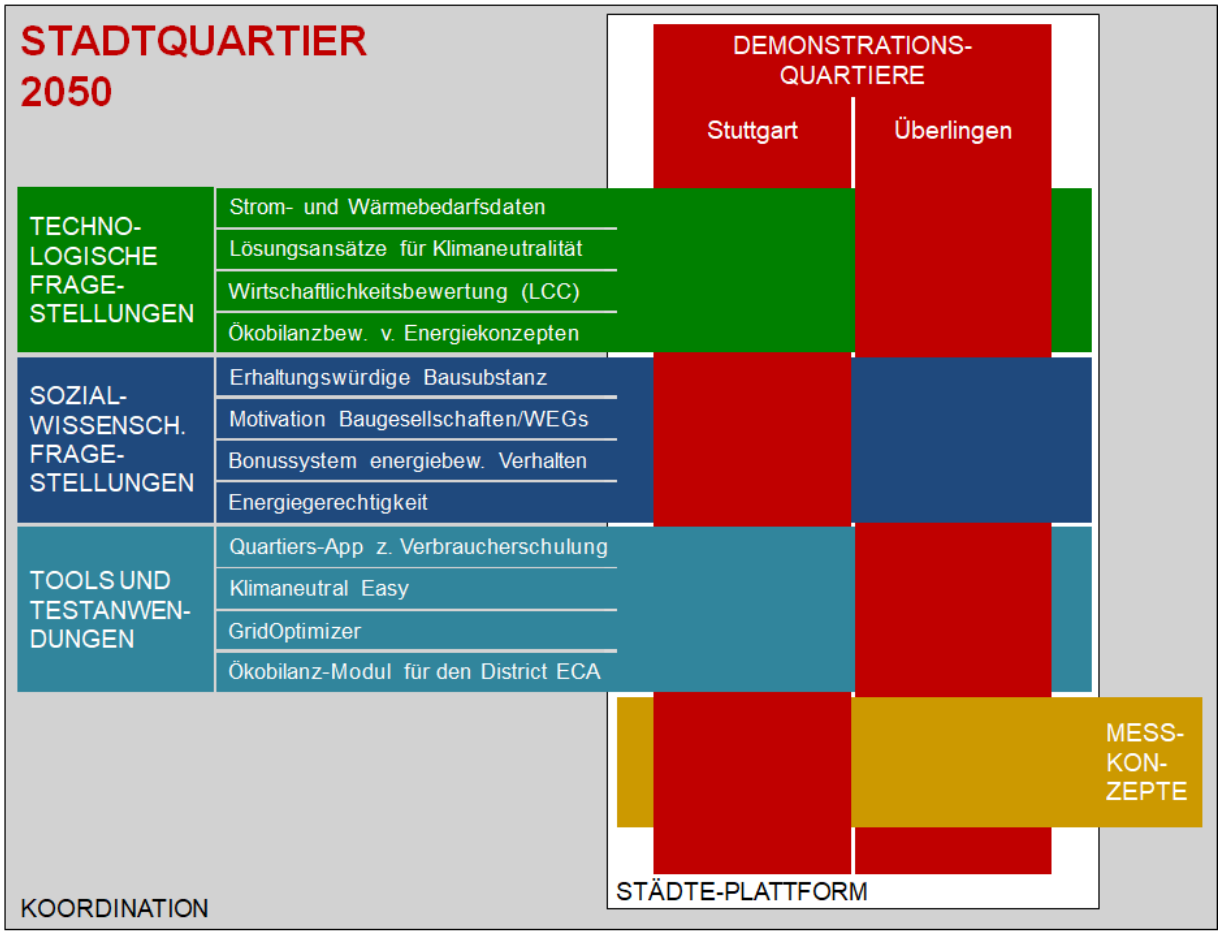


Bild 1:
Verzahnung der Themen und damit auch Aufgabestellungen im Projekt STADTQUARTIER 2050.

Die Aufgaben, das Vorgehen und die Ergebnisse der Arbeitsbereiche (gemäß Projektantrag „Arbeitspakete“) werden im Folgenden jeweils zusammengefasst. Zusätzlich wird auf weitere, detailliertere Informationen zu den Arbeiten verwiesen.

Die Koordination des Vorhabens erfolgte durch die Landeshauptstadt Stuttgart mit Unterstützung durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Abgesehen von der Kommunikation mit den Projektpartnern und dem Projektträger wurden hier die insgesamt 12 Projektmeetings organisiert und dokumentiert, die aufgrund Corona teilweise digital stattfanden. Über die fünf Projektjahre hinweg wurden insgesamt 12 Zwischenberichte und der hier vorliegende Abschlussbericht erarbeitet.

Die sechs Leuchtturmprojekte der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ haben sich inhaltlich vernetzt und in mehreren Treffen fand ein Austausch zu unterschiedlichen Themen wie Bilanzierungsmethoden und Simulationssoftware, Balkon-PV, Wasserstoffelektrolyse und Öffentlichkeitsarbeit statt. Dieser Austausch gipfelte in einem gemeinsam von den

Projekten veröffentlichten Buch mit dem Titel „Innovations and challenges of the energy transition in smart districts“ [Leonhardt 2024].

Weitere Disseminierungsaktionen, wie ein Steckbrief für die FONA, eine Abendveranstaltung auf den Berliner Energietagen, einen Tag der öffentlichen Tür im Demonstrationgebiet in Überlingen sowie die Eröffnungsfeier des thermischen Solarfelds dort, Poster, Newsletter, Zeitschriftenartikel, Flyer, Konferenzbeiträge und die Projektwebseite www.stadtquartier2050.de mit den verfügbaren Projekt-Deliverables sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

2.1 Städteplattform

Leitung des Arbeitsbereichs: Landeshauptstadt Stuttgart

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Stadt Überlingen

2.1.1 Aufgabenstellung

Mit der Städteplattform wurde ein kontinuierlicher und organisierter Austausch zwischen den zwei teilnehmenden Städten und insbesondere zwischen den zwei Pilotprojekten angestrebt, um Synergieeffekte zu nutzen und ähnliche Problemstellungen im Verbund zu lösen. In periodisch stattfindenden Gesprächen sollten sich die Vertreter der Landeshauptstadt Stuttgart und der Stadt Überlingen über die angestrebten Quartierskonzepte, die geplanten technischen Maßnahmen, bereits gemachte Erfahrungen, Hindernisse und deren Lösungen sowie Kommunikationsmaßnahmen austauschen. Da die zwei gewählten Demonstrationsquartiere unterschiedlich strukturiert waren aber gleichzeitig jeweils ähnliche Aufgaben in den Städten zeitnah anstanden und weiterhin anstehen, bestand großes Interesse an diesem Austausch und ein Multiplikationspotenzial.

Der Austausch sollte beide Quartiersentwicklungen von Anfang an befruchten und in die mit dem Projekt verfolgte Zielerreichung lenken. In diesen Prozess sollten ggf. auch weitere Städte, wie z. B. die Landeshauptstadt München eingebunden werden.

Folgende Themen waren dabei vorgesehen:

- Austausch zu den energetischen Quartierskonzepten
- Austausch zum Bauprozess und zu Kommunikationsmaßnahmen
- Austausch zur Übertragbarkeit auf zukünftige Quartiere

2.1.2 Vorgehen

Zu Beginn des Förderprojekts stand der Austausch zwischen den beiden Kommunen primär unter der Prämisse, die noch fehlenden Förderbescheide zu erlangen. Wie in den Zwischenberichten kenntlich gemacht, gab es hier verschiedene Herausforderungen, sodass dies vom Projektbeginn im März 2018 bis zum Jahresende 2020 andauerte.

Ab März 2019 war auf Seiten der Landeshauptstadt Stuttgart und ab dem Herbst 2020 auch auf Seiten der Stadt Überlingen ein/e Sachbearbeiter/in für das Projekt eingestellt, was die Zusammenarbeit wesentlich erleichterte.

Der Austausch erfolgte auf mehreren Ebenen. Neben den halbjährlichen Projekttreffen gab es regelmäßige bilaterale Video- und Telefonbesprechungen zu mehreren Themen. Bei Bedarf wurden auch die BGÜ, IREES oder weitere Projektpartner hinzugezogen, sofern es um Dinge von breiterem Interesse ging, wie beispielsweise die Energiekonzepte, die Quartiers-App, das jeweilige Messkonzept oder den Tag der offenen Tür am 29.9.2021.

Neben den Zwischenberichten wurden die anderen Projektpartner auch in den regelmäßigen Treffen aller Partner im Demonstrationsquartier Überlingen über den Austausch informiert, der zwischen den Städten stattfand.

Inhaltlich gab es drei Schwerpunkte: Die Entwicklung der Energiekonzepte, der Austausch zu den Kommunikationsmaßnahmen gegenüber den Bürgern und Bewohnern (siehe hierzu auch die entsprechenden Kapitel) sowie der weiter gefasste Blick, wie die im Projekt gemachten Erfahrungen in anderen Quartieren angewendet werden können.

2.1.3 Ergebnisse

Austausch zu energetischen Quartierskonzepten

Aufgrund der intensiven Diskussionsphase im Demonstrationsquartier Stuttgart verlief die Erarbeitung des Energiekonzepts über mehrere Stufen. Dies spiegelte sich auch im Austausch wieder.

Die ersten Diskussionen und Arbeiten im Demonstrationsquartier Stuttgart mündeten im Sommer 2020 im Meilenstein M2.1.1, erstellt durch das Fraunhofer IBP. Darauf aufbauend wurde die Diskussion zusammen mit den Projektpartnern und der SWSG in mehreren Runden fortgeführt, es wurden im Frühjahr 2023 Probebohrungen durch die Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart beauftragt und ausgewertet. Da das Geothermiepotenzial

nicht so gut nutzbar war wie erhofft, musste das Energiekonzept erneut angepasst werden.

Im Demonstrationsquartier in Überlingen standen die groben Rahmenbedingungen und Bausteine des Energiekonzepts (u.a. Solarthermiefeld, Dreileiternetz) von Anfang an fest, sodass die Umsetzung rascher erfolgen konnte als in Stuttgart.

Es wurde im Laufe des Projekts klar, dass die beiden Energiekonzepte aus verschiedenen Gründen in Teilen nicht vergleichbar sein würden. Dies zeigte sich beispielsweise in zu Beginn unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden, die die jeweiligen Projektpartner bei der Berechnung der Energiekonzepte in den Demonstrationsquartieren anwandten. Diese konnten im Laufe von mehreren Treffen unter Beteiligung des Fraunhofer IBP, der BGÜ und der Energieagentur Ravensburg sowie den beiden Stadtwerken auf eine gemeinsame Basis gestellt werden. Bei den Verbundprojekttreffen wurde mehrmals über den Stand der jeweiligen Planungen berichtet und über die unterschiedlichen Herangehensweisen diskutiert. Aufgrund der Verzögerungen im Demonstrationsquartier Stuttgart und des Weggangs der Sachbearbeiterin in Überlingen im Sommer 2023 erfolgte die abschließende Gegenüberstellung schemenhaft. Für die Details wird auf [Görres 2024-2] verwiesen.

Austausch zum Bauprozess und zu Kommunikationsmaßnahmen

Der oben angesprochene Austausch begleitete auch den Bauprozess und die Maßnahmen, wie die zukünftige Bewohner und die breitere Öffentlichkeit informiert und mit einbezogen wurden. Dazu wurden eine Vielzahl von Treffen und Videokonferenzen z. B. zur Planung des Tags der offenen Tür in Überlingen, zur Unterstützung der BGÜ bei deren Informationstätigkeit sowie der beiden Städte im Rahmen der allgemeinen Information der Bevölkerung durchgeführt.



Bild 2:
150-180 Personen beim Tag der offenen Tür in Überlingen am 29.9.21 (Foto: Stadt Stuttgart).



Bild 3:
Das Projektteam in Überlingen bei Tag der offenen Tür (Foto: Stadt Überlingen).

Die Herausforderungen beim Bauen (z. B. Preissteigerungen, neue gesetzliche Regelungen) sind bundesweit ein Thema und auch in diesem Projekt aufgetreten. Dabei zeigte sich, dass in Stuttgart beim Bauen im Bestand größere Herausforderungen zu bewältigen sind als beim Bauen auf der grünen

Wiese. So mussten in Stuttgart aufgrund von Umplanungen im Bau 2 mehrere Gewerke in nicht optimaler Abfolge ihre Arbeiten erledigen, die Statik des Bestandsgebäudes war herausfordernd und äußere Entscheidungen, wie der Entschluss, einen Teil der Gebäude als Flüchtlingsunterkünfte zu nutzen, machten Umplanungen erforderlich.

Ein großer Vorteil war, dass die Beteiligten aufgrund der guten Zusammenarbeit im Rahmen des Forschungsprojekts einen engeren Draht zueinander fanden. Dadurch konnten einige Probleme frühzeitig antizipiert werden und der Austausch ermöglichte es adäquate Lösungsansätze zu identifizieren. Außerdem wird die gute Zusammenarbeit voraussichtlich in die Zukunft ausstrahlen und auch in weiteren Projekten Früchte tragen.

Aufgrund der verspäteten Umsetzung der Neubautätigkeiten in Stuttgart und durch die herausfordernden Rahmenbedingungen bestand zu den Bautätigkeiten eine verminderte Möglichkeit zum Austausch.

Dennoch konnten beide Kommunen wichtige Erfahrungen sammeln:

- Die frühzeitige und kontinuierliche Information der Bevölkerung ist ein wichtiger Baustein für ein gelungenes Projekt.

- In allen vergleichbaren Projekten sollten die Strukturen so geschaffen werden, dass es klar zuständige Personen gibt, die im besten Fall während der gesamten Planung und Umsetzung als Ansprechperson fungieren

Für die Details wird auf [Görres 2024-3] verwiesen.

Austausch zur Übertragbarkeit

Zum Ende der Projektlaufzeit wurden die Erfahrungen aus beiden Quartieren ausgetauscht („Lessons Learned“) sowie die Übertragbarkeit auf zukünftige Quartiere detailliert diskutiert, siehe [Görres 2024-4].

Dazu wurden in beiden Städten weitere Quartiere identifiziert, auf die die Ergebnisse und Methoden, die im Projekt erarbeitet wurden, übertragen werden können. Bis hin zu den bundesweiten Diskussionen zur kommunalen Wärmeplanung hat sich die Einsicht durchgesetzt, bei der Energieversorgung größere Zusammenhänge und Quartiere zu betrachten. Dies zeigt, dass die Ideen hinter der Förderinitiative weitere Verbreitung gefunden haben.

Die Lessons Learned wurden beim Abschluss-Verbundtreffen gesammelt und diskutiert. Dazu gehören:

- Frühzeitige Einbindung aller Beteiligten
- Eine gemeinsame Vision sollte entwickelt werden und von allen Beteiligten gelebt werden
- Manchmal ändern sich Rahmenbedingungen durch äußere Ereignisse (z. B. mehr Homeoffice in der Corona-Pandemie oder ein größerer Stellenwert der Energieeinsparung durch den Angriff Russlands auf die Ukraine im Jahr 2022) in ungeahnter Weise, doch auch hieraus entstehen wiederum neue Möglichkeiten
- Für die Zukunft in den beiden Städten und darüber hinaus hat sich gezeigt, wie wichtig einheitliche Grundlagen der Bilanzierung sind. Dazu gehören neben der Einigung auf gleiche Randbedingungen / Bilanzgrenzen (z. B. Verbrauchsangaben mit oder ohne Hilfsenergie) auch die Nutzung der selben Berechnungsfaktoren, beispielsweise für die CO_2-Emissionen der Energieträger oder die einheitliche Berücksichtigung des Ökostrom-Anteils im Stromnetz sowie deren prognostizierte Änderungen über die Zeit.

Weiterführende Informationen:

- Dokumentation des Erfahrungsaustausches zu energetischen Quartierskonzepten [Görres 2024-2],
- Dokumentation des Erfahrungsaustausches zum Bauprozess und zu Kommunikationsmaßnahmen – [Görres 2024-3],
- Dokumentation des Erfahrungsaustausches zum Bauprozess und zu Kommunikationsmaßnahmen – [Görres 2024-4]

2.2 Demonstrationsquartier Bürgerhospital, Stuttgart

Leitung des Arbeitsbereichs: Landeshauptstadt Stuttgart

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Fraunhofer IBP, Stadtwerke Stuttgart, Universität Stuttgart IWB

2.2.1 Aufgabenstellung

Für das Stuttgarter Demonstrationsquartier „Bürgerhospital“ sollte das Energiekonzept entwickelt sowie die Planung und Umsetzung des klimaneutralen

Stadtquartiers durchgeführt werden. Neben dem Zielwert Klimaneutralität lag der Fokus auf dem Einsatz innovativer Technologien, der integralen Planung sowie der Optimierung der Bau- und Betriebskosten zur Sicherstellung von bezahlbarem Wohnraum. Die Schwerpunkte des Vorhabens „Bürgerhospital“ in Stuttgart waren:

- die Konversion eines Krankenhausareals zum Innenstadtwohnquartier,
- die Nutzung lokaler regenerativer Energiequellen,
- der Aufbau einer innovativen Niedertemperatur-Nahwärmelösung,
- die Sanierung und Umnutzung von erhaltenswerten Bestandsgebäuden,
- ein hoher Anteil an gefördertem Wohnungsbau.

Die geplanten Arbeitsschritte umfassten die Entwicklung des Gesamtenergiekonzepts, die integrale Planung der innovativen Maßnahmen der Energieversorgung, die Aufarbeitung des Abstimmungsprozesses zum Quartier mit dem Denkmalamt sowie die Dokumentation der bautechnischen Komponenten, die Ausschreibung und Vergabe der innovativen Komponenten, die Ausführung und Bauüberwachung der erhöhten Anforderungen im Gebäudebereich und der innovativen Energieversorgung, die Inbetriebnahme der innovativen Anteile der Energieversorgung und die Dokumentation des Planungs- und Umsetzungsprozesses.

2.2.2 Vorgehen

Ausgangszustand

Das heutige Quartier des ehemaligen Bürgerhospitals wurde seit 1366 als „altes Spital“, später „St. Catharina Hospital“ genannt, als Krankenhaus genutzt. Das Quartier in seiner heutigen Form entstand 1894 und wurde nach Zerstörungen im zweiten Weltkrieg neu aufgebaut, Der heutige Bau 2, auch Bettenbau genannt, wurde in den Jahren 1956 bis 1959 errichtet. Nach dem Beschluss der Landeshauptstadt Stuttgart, mehrere städtische Krankenhäuser am Standort in Bad Cannstatt zu konzentrieren, war im Jahr 2015 das Ende des Krankenhausbetriebs am Standort besiegelt. Die Nachnutzung des Gesamtareals wurde seit 2010 in politischen Gremien und verwaltungsintern beraten. Aufbauend auf Ergebnissen der ersten Untersuchungsphase wurden ab 2016 für das Plangebiet Standortanforderungen in Veranstaltungen mit der Bürgerschaft erörtert. Nachfolgend wurde ein nicht offener städtebaulicher Ideenwettbewerb ausgelobt, bei dem der Beitrag des Büros Pesch & Partner den ersten Preis erhielt, siehe Bild 4. Anschließend bewarb sich die Landeshauptstadt Stuttgart im Rahmen der Förderinitiative „Solares

Bauen/Energieeffiziente Stadt“ im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms – Modul II: Energieeffiziente Stadt für das vorliegende Projekt.



Bild 4:
Visualisierung des Preisträgers Pesch & Partner. © Pesch & Partner / Landeshauptstadt Stuttgart.

Energiekonzept

Die Wärmeversorgung des Krankenhauses basierte auf Gas, Fernwärme und Heißdampf, der im Kesselhaus mit seinem markanten Schornstein aus Backstein erzeugt wurde.

Im Rahmen der Neugestaltung des Quartiers wurde mit den Projektpartnern ein neues Energiekonzept erarbeitet. Das Ziel des Energiekonzepts war es, einen klimaneutralen Betrieb des Quartier zu ermöglichen. Als Definition des Begriffs „Klimaneutralität“ wurde im Antrag folgendes definiert, siehe auch Kapitel 1.2:

Klimaneutrale Energieversorgung
Wir verstehen unter klimaneutraler Energieversorgung der beiden Stadtquartiere 2050, dass die freigesetzten Treibhausgase der für den Gebäudebetrieb (Wärme- und Stromversorgung) des Quartiers verwendeten

Energieträger in der Jahresbilanz null ergeben. Dafür werden die Treibhausgase in eine der Wirkung entsprechenden Menge CO_2 umgerechnet (CO_2-Äquivalent) und durch technische Kompensation substituiert. Als Kompensationsmaßnahmen können auch kostengünstige Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden, mittels denen die CO_2-äquivalenten Emissionen im Quartier durch Treibhausgas-Einsparungen an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden (z.B. durch Export von im Quartier erzeugter überschüssiger Wärme oder Strom aus erneuerbaren Energiequellen in das regionale oder überregionale Strom- oder Wärmenetz). Die konsequenteste Form klimaneutraler Energienutzung ist die direkte Nutzung treibhausgasfreier Energiequellen wie Sonnen-, Wind- und Wasserenergie. Auch die Nutzung pflanzlicher, nicht-fossiler Brennstoffe (wie Bioethanol, Rapsöl, Holz und Biogas) wird als klimaneutral gewertet.

Dieses ambitionierte Ziel erfordert für die Neubauten einen hohen energetischen Standard bei angemessener Berücksichtigung des hohen Anteils an gefördertem Wohnungsbau. Die ambitionierten Pläne machen es erforderlich, dass alle im Projektgebiet verfügbaren erneuerbaren Energien zu betrachten und nach Möglichkeit zu nutzen sind. Dazu gehören

- Nutzung des Bodens über Geothermiesonden und Wärmepumpen
- Nutzung der Dachflächen mit PV oder Solarthermie
- Nutzung weiterer erneuerbarer Quellen wie Abwasserwärme oder Kleinwindkraft

Die zukünftige Versorgung der Gebäude mit Wärme für Heizung und Warmwasser sollte über ein Nahwärmenetz erfolgen. In der ersten Konzeptphase wurde in Zusammenarbeit zwischen der Landeshauptstadt Stuttgart, dem Fraunhofer IBP und der EDS ein erster Entwurf für ein Energiekonzept erarbeitet. Wichtige Schritte dabei waren:

Datensammlung

Zuerst erfolgte eine intensive Datensammlung zu Bestandsgebäuden (Verbräuche, Grundrisse, Gebietspläne) sowie zum zukünftigen Gebiet (Flächen, Planstand zur zeitlichen Entwicklung) und eine Übergabe an die Projektpartner. Die relevanten Gebäudedaten wurden aufbereitet und das Projektgebiet modelliert mit der Fraunhofer IBP Software „District Energy Concept Adviser“ [Fraunhofer IBP 2018]. Daraus ergaben sich die erforderlichen Wärme- und Strom-Bedarfe.

Potenzialanalyse

Es folgte eine Durchführung einer Potenzialanalyse zu den erneuerbaren Potenzialen wie Geothermienutzung (siehe Tabelle 1), PV-Potenzial (siehe Tabelle 2) und Abwasserwärme.

Tabelle 1:
Geothermiepotenzial von Erdwärmesonden im Stadtquartier.

Bauabschnitt	Fläche	Nutzbare Fläche unter Neubauten	Nutzbare Freifläche	Mögliche Bohrtiefen	Vorhandenes Potenzial	Derzeit geplante Entzugsleistung
	[m²]	[m²]	[m²]	[m]	[kW]	[kW]
BA I	10.800	0	1.000	37	34	0
BA IIa	9.500	6.100	3.000	45	324	160
BA IIb	6.000	3.300	4.600	52,5	320	100
BA IIc	6.700	3.000	1.100	45	159	90
BA IV	6.500	3.300	3.200	55	299	210
BA III	10.200	4.300	3.900	55	380	360
Gesamt	49.700	20.000	16.800	-	1.515	920

Tabelle 2:
Theoretisches PV-Potenzial im Stadtquartier auf Südfassaden und Dachflächen.

Bauabschnitt	PV-Fläche [m²]			Leistung [kW_p]	PV-Ertrag [MWh/a]
	Dach	Balkon	Fassade		
BA I	450	65	0	103	90
BA IIa	897	114	114	225	194
BA IIb	674	114	36	165	143
BA IIc	724	118	17	172	150
BA III	1.283	205	258	349	298
BA IV	764	148	91	201	172
Gesamt	4.791	766	516	1.214	1.047

Erarbeitung des Energiekonzepts

Es wurden im ersten Schritt mehrere Optimierungspotenziale zur Steigerung der erneuerbaren Energien im Quartier erarbeitet (z. B. Pultdächer,

Lärmschutzwand am Bahndamm zur PV-Anbringung, Nutzung der Tiefgaragenwände zum weiteren Wärmeentzug, etc.). Auf Basis einer Sensitivitätsanalyse wurde schließlich ein Maßnahmenkatalog zusammengestellt (siehe [Schrade 2020-2]).

Für die Sensitivitätsanalyse wurde die folgende Basisvariante entwickelt:

- Moderate Anforderungen an den Wärmeschutz für Neubau und Sanierung (siehe Tabelle 3)
- Zentrale Abluft-Anlagen ohne Wärmerückgewinnung
- Verzicht auf aktive Kühlung
- Außenliegender Sonnenschutz
- LED Beleuchtung und Ausstattung mit Standardgeräten
- Gebäudeautomation der Klasse C
- Nahwärmeversorgung mit Fernwärmeübergabestation
- Kombinierte, gebäudezentrale Warmwasserbereitung

Abschließend wurden mehrere Varianten für das Energiekonzept entwickelt und anhand eines Kriterienkatalogs gegenübergestellt und bewertet. Dabei wurde das Energiekonzept des Gesamtareals betrachtet mit der Möglichkeit, auch den Bau 2 mitzuversorgen. Teil dessen war auch eine Untersuchung von Kompensationsmaßnahmen außerhalb des Stadtquartiers zur Schließung einer möglichen Deckungslücke beim PV-Strom (z. B. Ökostrombezug für Haushalte, Einbindung klimaneutraler Fernwärme, Teilnahme an Carbon-Trading-Verfahren oder Aufforstung von Bäumen). Zur Optimierung der Eigennutzung von selbsterzeugtem Strom aus den PV-Anlagen des Quartiers sollte ein Mieterstromkonzept umgesetzt werden.

Das favorisierte Energiekonzept besteht aus Erdsonden, Abwasserwärmetauscher als Wärmequellen für die Wärmepumpen des Nahwärmenetzes. PV-Anlagen waren auf allen verfügbaren Dach- und Fassadenflächen vorgesehen. Das Energiekonzept wurde in mehreren Abstimmungsrunden zwischen der LH Stuttgart, der EDS und dem Fraunhofer IBP ausdetailliert und um PVT-Module (Kombi-Kollektoren zur gleichzeitigen Nutzung von solarer Einstrahlung und Luftwärme) ergänzt. Die PVT-Module dienen über Luft-Solewärmetauscher als weitere Wärmequelle für die Wärmepumpen des Nahwärmenetzes.

Geothermie

Die Nutzung der Erdwärme hat besonders im Neubau den Vorteil, dass großflächig Sonden abgeteuft werden können, was im Bestand oftmals nicht so einfach möglich ist. Daher stellte die Geothermie von Anfang an einen wichtigen Baustein des Energiekonzepts dar.

Aus der Geschichte des Quartiers und den vorliegenden Unterlagen über vergangene Bohrungen war ersichtlich, dass eine vertiefte Erkundung der Geologie am Standort durch Probebohrungen erforderlich sein würde. Auf der Basis des weiter oben beschriebenen klimaneutralen Energiekonzepts wurde der Untergrund des Geländes im Auftrag der Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart durch Geothermiebohrungen untersucht (siehe Bild 5).



Bild 5:
Probebohrungen Geothermie im Bauabschnitt IIa (Quelle: EDS).

Eine Voraussetzung der Nutzung von Erdsonden in der angedachten Größe ist die Möglichkeit, das Erdreich zu regenerieren. Als passive und kostengünstige Möglichkeit zur Regeneration wurde durch die EDS die Möglichkeit zur Aufstellung eines Energiezauns im Bereich des Bahndamms geprüft. Das Ergebnis ist aufgrund der dort siedelnden, geschützten Eidechsen negativ ausgefallen. Eine Aufstellung ist artenschutz-rechtlich nicht möglich. Des weiteren wurden „Charger“ geprüft. Diese absorbieren dachaufgelegt Umweltwärme. Der Einsatz der Charger wurde aus verschiedenen Gründen verworfen, insbesondere durch die hohen Kosten für die Statik und durch den Wegfall der stadtklimatologisch wichtigen Dachbegrünung. Darüber hinaus wäre die Funktion bei niedrigen Außentemperaturen nur sehr begrenzt gegeben. Die Möglichkeit einer PVT-Anlage wurde gleichfalls betrachtet. Die auf dem Markt verfügbaren Modelle sind aktuell gegen konventionelle PV-Module nicht wettbewerbsfähig.

Es wurde als Vergleichsvariante zur Geothermie (Erdspeicher) die Anwendbarkeit eines Eisspeichers untersucht. Näher betrachtet wurden Eisspeichervolumen von 500 m³ und 1000 m³. Um die Umsetzbarkeit eines Eisspeichers

in dem Quartier zu prüfen, wurden ein Architekt und ein Statiker mit einer detaillierten Untersuchung beauftragt. Die Untersuchung hat ergeben, dass aufgrund der schwierigen Untergrundverhältnisse zur sicheren Gründung des Speicherbehälters eine aufwändige Pfahlbauweise erforderlich wäre. Die Kosten für Behälter und insbesondere Gründung lägen damit je nach Größe zwischen 700 T€ und 1.250 T€ und damit deutlich über den Kosten für die Geothermie. Auch bei einem Eisspeicher wäre eine Regeneration durch zum Beispiel einen Energiezaun oder „Charger“ erforderlich. Zur energetischen Betrachtung wurde auch das Eisspeichersystem simuliert. Die Versorgung des Quartiers kann mittels eines Eisspeichers sehr vergleichbar zur Geothermie sichergestellt werden, beide Systeme weisen in der energetischen Betrachtung hohe Ähnlichkeiten auf.

Die EDS hat für die Leistungsphasen 1 und 2 einen Fachplaner beauftragt. Dieser hat die Untersuchungen der verschiedenen Varianten mit begleitet. Die technische Umsetzbarkeit sowohl der Geothermie als auch des Eisspeichers sind gegeben. Folgende Gründe führten dann dazu, von der Geothermie als Quelle der Wärmepumpen Abstand zu nehmen:

- Mangelnde Möglichkeit der Regeneration
- Kosten der Umsetzung
- Geringe nutzbare Tiefe erfordert eine höhere Sondenzahl
- Die Untersuchung der geologische Qualität des Bodens ergab eine schlechte Wärmeleitfähigkeit (ca. 1,3 W/(m²K)

Die im Unterkapitel „Geothermie“ beschriebenen Untersuchungen beinhalten die Wärmeversorgung der Bauabschnitte IIa und IIb. Die konzeptionellen Überlegungen sollen anschließend auf das Gesamtquartier erweitert und die gesamte Energieversorgung (Wärme, Strom inkl. Nutzerstrom) auf die Erreichbarkeit der im Projekt angestrebten klimaneutralen Energieversorgung durch das Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart geprüft werden. Die Anlage wird von vornherein so errichtet werden, dass die Erweiterung jederzeit möglich ist.

2.2.3 Ergebnisse

Energiekonzept

Es war bereits zu Projektbeginn klar, dass während der Projektlaufzeit nicht das ganze Quartier komplett entwickelt und bebaut werden kann. Das erarbeitete Energiekonzept ist daher modular und erweiterbar und umfasst das Gesamtquartier. Bild 6 zeigt die ursprünglich favorisierte Variante mit Erdsonden, Abwasserwärmetauscher und PVT-Modulen mit Luft-Solewärme-

tauschern als Wärmequellen für die Wärmepumpen des Nahwärmenetzes. Zusätzlich zur notwendigen PVT sind auf allen verfügbaren Dachflächen und Balkonbrüstungen PV-Anlagen vorgesehen.

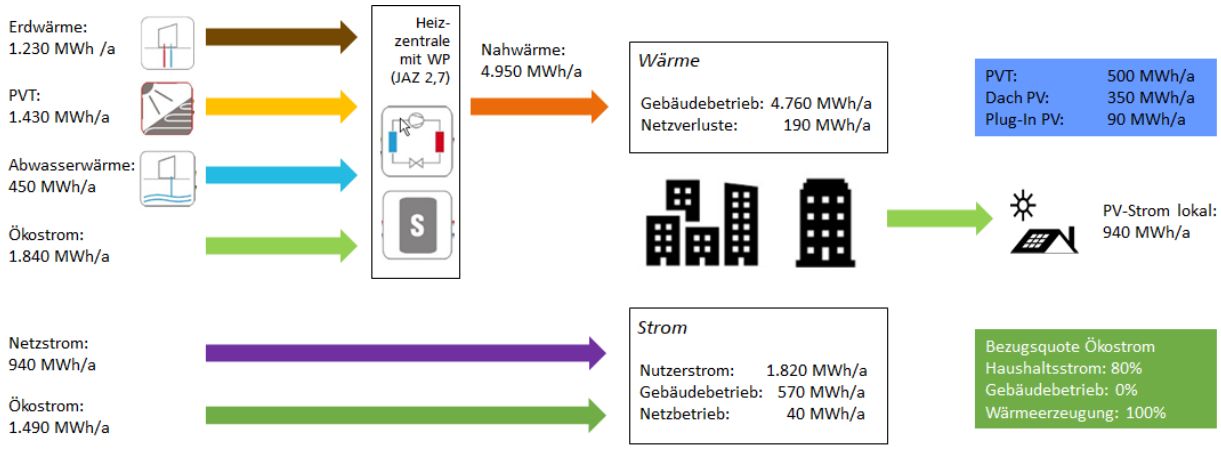


Bild 6:
Energieflussbild des favorisierten Energiekonzepts für die klimaneutrale Energieversorgung des Stadtquartiers Bürgerhospital in Stuttgart.

Wie in Bild 6 dargestellt, können im Projektgebiet rund 940 MWh/a PV-Strom lokal erzeugt werden. Dem gegenüber steht ein Strombedarf für die Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen in der Heizzentrale von 1.840 MWh/a, für den Gebäudebetrieb (Lüftung, Kühlung, Hilfsenergien) von 570 MWh, für den Nutzerstrom (Beleuchtung, Haushaltsgeräte) von 1.820 MWh/a und für den Betrieb des Wärmenetzes von 40 MWh/a. Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, muss ein Teil des Strombedarfs als Ökostrom bezogen werden. Im grünen Kasten in Bild 6 ist eine mögliche Variante dargestellt, wie das Quartierskonzept klimaneutral gestellt werden kann. Hierfür müsste der Energieversorger für die Wärmeerzeugung und den Betrieb der Wärmenetzpumpen Ökostrom einsetzen, zudem müssten 80 % der Haushalte Ökostrom beziehen. Dieser Aufteilung liegt die Annahme zugrunde, dass für den Gebäudebetrieb kein Ökostrom eingesetzt wird.

Ohne die Berücksichtigung des Nutzerstroms ist das Energiekonzept klimaneutral (auch ohne Plug-in PV und ohne 1.490 MWh zusätzlichen Ökostrom). Der Ökostrombezug für die Energiezentrale müsste jedoch zu großen Teilen beibehalten werden.

Ein Vorläufer des oben dargestellten Energiekonzepts ohne Einbindung von Abwasserwärme wurde durch das Fraunhofer IBP in einem Kurzbericht (Exposé) dokumentiert und den weiteren Planungsbeteiligten zur Verfügung gestellt. Der Kurzbericht beinhaltet zwei Varianten, wobei mit der ambitionierten Variante das Projektziel Klimaneutralität erreicht werden kann, während die Standardvarianten den derzeitigen Trend im Neubau und der Bestandssanierung abbildet. Die Ergebnisse der energetischen Bewertung können Tabelle 3 entnommen werden. Es zeigt sich, dass für die Klimaneutralität

insgesamt 2.203 MWh/a PV-Strom im Quartier erzeugt werden müssten. Vergleicht man diesen PV-Strombedarf mit dem vorhandenen Potenzial, so besteht auch im Fall der klimaneutralen Variante eine Deckungslücke. Diese müsste durch Ökostrombezug oder Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden.

Tabelle 3:
Gegenüberstellung des Energiebedarfs im Quartier für die Standardausführung (Neubau BEG 55, Sanierung BEG 100) und ein ambitioniertes Wärmeschutzniveau (Neubau BEG 40, Sanierung BEG 70).

		Wärmeschutzniveau	
		Standard	Ambitioniert
Wärme [MWh/a]	Gebäudebedarf	5.572	3.626
	Netzverluste	317	147
	Gesamt	5.888	3.773
Strom [MWh/a]	Strom Gebäudebetrieb	508	526
	Strom Netzbetrieb	59	38
	Nutzerstrom	2.125	1.678
	Gesamt	2.692	2.241
Treibhausgasemissionen [t/a]		2.923	1.212
Benötigter PV-Ertrag [MWh/a]		5.315	2.203

Zusätzlich zum Kurzbericht wurde vom Fraunhofer IBP ein wissenschaftliches Hintergrunddokument [Schrade 2020-1] erstellt, welches das methodische Vorgehen bei der Entwicklung eines klimaneutralen Energiekonzepts detailliert beschreibt und neben Sensitivitätsanalyse und Variantenrechnung auch eine Grobdimensionierung der Anlagentechnik, eine Kostenschätzung und eine Wirtschaftlichkeitsanalyse umfasst.

Bausteine der Energieversorgung im Quartier

Aus den oben genannten Arbeiten und den noch andauernden Gesprächen mit dem Bauträger SWSG ergibt sich zum Abschluss des Projekts folgender Stand der einzelnen erneuerbaren Potenziale:

Photovoltaik

Wie schon weiter vorne beschrieben, sollen alle Gebäudedächer soweit möglich mit Photovoltaik belegt werden. Dies ergibt sich aus der PV-Pflicht des Landes-Baden-Württemberg, den Vorgaben der Stadt aus den Kaufverträgen und nicht zuletzt aus dem Projektziel einer klimaneutralen Wärme- und Stromversorgung des Quartiers. Auf den Dächern des Bau 2 und auch auf den aktuell in Planung befindlichen Neubauten ist die Belegung mit Photovoltaik eingeplant, siehe Bild 7. Erste Gespräche über Umsetzungsmöglichkeiten von Mieterstrom im Quartier fanden statt. Durch die Änderung der gesetzlichen Rahmenbedingungen im Laufe des Jahres 2024 (Solarpaket 1) wird die Möglichkeit, Balkon-PV anzubringen, wesentlich erleichtert. Dadurch erhöht sich auch die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Potenzial hier genutzt wird.

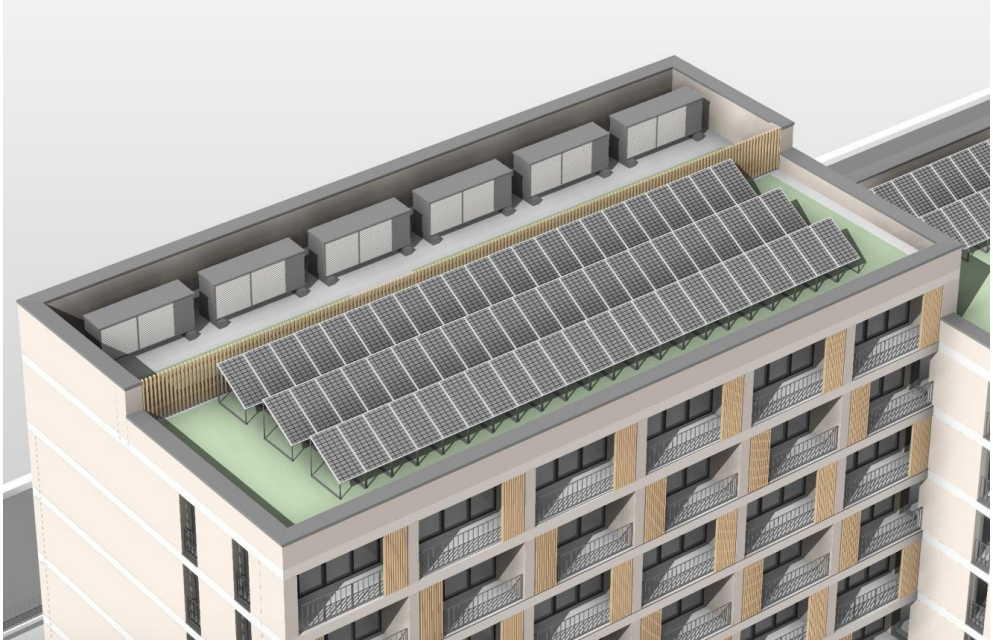


Bild 7:
Visualisierung des Daches von Bau 11 inkl. PV und Außengeräte der Wärmepumpen. © Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart GmbH.

Abwasserwärme

Die angedachte Nutzung der Abwasserwärme stellte sich bei der detaillierteren Betrachtung als kompliziert heraus, da die aus den Abwasserkanalgeometrien zu erwartenden Durchflüsse im Kanal bei einer Messung nicht erreicht wurden. Damit werden die theoretisch erwarteten Potenziale zur Abwärmenutzung auch nicht erreicht. Die Nutzung weiter entfernter Kanäle in der Wolframstraße wurde geprüft, musste aber leider verworfen werden, da für die Nutzung die vierspurige Heilbronner Straße hätte unterquert werden

müssen, was sich aufgrund des dort verlaufenden U-Bahn-Tunnels als nicht machbar erwies. Außerdem hätte das erwärmte Wasser über ca. 500 m bergauf gepumpt werden müssen, wodurch auch eine Nutzung bei der Regeneration der Geothermiesonden nicht durchführbar ist.

Geothermie

Für ein besseres Verständnis der geologischen Gegebenheiten wurden im Frühjahr 2023 Probebohrungen (Thermal Response Tests) durchgeführt. Dabei ergab sich, dass der geologische Untergrund aufgrund einer Schicht-Verwerfung und der bereits im Energiekonzept berücksichtigten geringen nutzbaren Tiefe sowie wegen der fehlenden Möglichkeiten, für eine Regeneration des Bodens zu sorgen, sich nur sehr schlecht für die Nutzung von Geothermie eignet.

Weitere konzeptionelle Überlegungen zur Umsetzung

Das Energiekonzept wurde im Herbst 2023 stadtintern und der SWSG vorgestellt. Dabei wurde klar, dass im Hinblick auf die zu erwartenden Wärmepreise noch weiterer Abstimmungsbedarf bestand, da z. B. die aktuell zu beobachtende Volatilität und Steigerung der Energiepreise einen Vergleich mit anderen Energiequellen erschwert. Außerdem musste für die Versorgung des Quartiers aus den oben genannten Gründen eine Alternative ohne Geothermie gefunden werden.

Dazu wurde als weitere Variante die Versorgung des Quartiers mittels Luft-Wasser-Wärmepumpen betrachtet. Diese haben im Variantenvergleich, d.h. in der Simulation, etwas schlechtere Jahresarbeitszahlen als das System mit Geothermie. Als gewichtiger Unterschied sind hier jedoch die Kosten zu betrachten. In Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der EDS und des Fachplaners ergibt dieses System deutlich geringere Wärmegestehungskosten.

Die Systeme stehen als Alternative zur Fernwärmenutzung der EnBW. Als Schwachpunkt erweist sich hierbei, dass der erreichbare Primärenergiefaktor bei allen untersuchten Varianten etwas über dem Primärenergiefaktor der EnBW-Fernwärme liegt.

Ebenfalls betrachtet in den Untersuchungen wurde die Warmwasserbereitung. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine zentrale Warmwasserbereitung mit Booster-Wärmepumpe das beste Ergebnis erbringt. Die jetzt laufenden Betrachtungen werden mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer modernen CO_2-Wärmepumpe führen. Diese kann eine etwas höhere Temperatur auskoppeln.

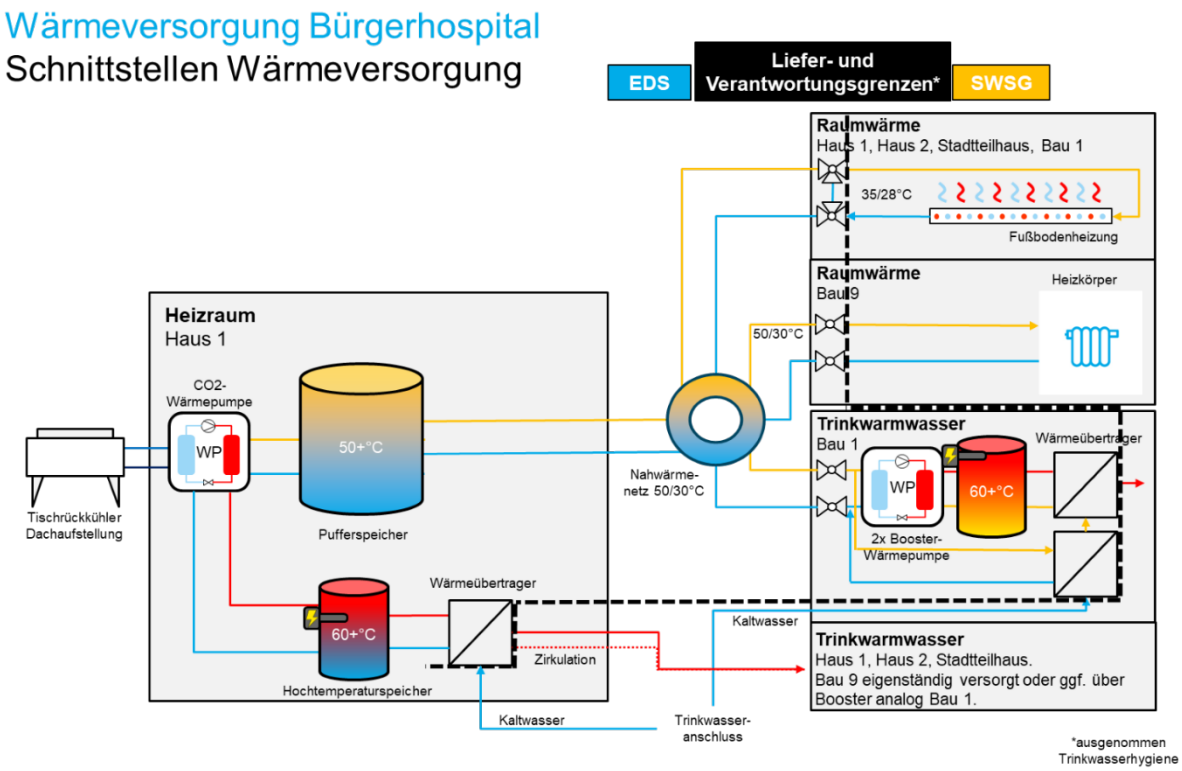


Bild 8:
Schematische Darstellung der derzeit geplanten Energieversorgung der Bauabschnitte IIa und IIb. © Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart.

Als Anlagentechnik ist vorgesehen, eine CO_2-Wärmepumpe mit Tischkühlern einzusetzen. Bei dieser Anlagentechnik wird mit CO_2 nicht nur ein besonders umweltgerechtes Kältemittel eingesetzt, sondern es erlaubt höhere Temperaturen auszusteuern. Damit wird die Trinkwarmwasserbereitung unterstützt. Die einzusetzenden Tischkühler sind auch von den zu erwartenden Schallemissionen vorteilhaft.

In den Gebäuden werden für die Trinkwasserversorgung Booster-Wärmepumpen zum Einsatz kommen, welche die für die Trinkwasserhygiene erforderlichen höheren Temperaturen bereitstellen. Als Wärmequelle für diese Wärmepumpen dient das Wärmenetz.

Bewertung der Klimaneutralität des entwickelten Energiekonzepts

Das in Bild 8 dargestellte Energiekonzept, das mit Stand Februar 2024 die geplante Umsetzung darstellt, weicht in einigen Punkten vom ursprünglich entwickelten Konzept ab. Zentral ist dabei der Wegfall der Geothermie und deren Ersatz durch die Umgebungsluft als Quelle der Wärmepumpen.

Die geplanten Außenluft-Wärmepumpen, die Regelungen in der Heizzentrale und die Pumpen für das Nahwärmenetz werden von der EDS mit Ökostrom betrieben. Zusätzlich ist die EDS verantwortlich für die Booster-Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden für die Trinkwarmwasserbereitung sowie die Heizungsregelung und Heizungspumpen in den Gebäuden (siehe Bild 8) und betreibt diese mit Ökostrom. Daraus ergibt sich eine bilanzielle Klimaneutralität der Wärmeversorgung im Quartier.

Die Beleuchtung der Nichtwohngebäude und der Nutzerstrom der Bewohner sowie der Nichtwohngebäude werden dabei im Gegensatz zum ursprünglichen Energiekonzept nicht berücksichtigt. Allerdings können zumindest Teile davon in der Bilanz über die geplante Photovoltaik auf den Gebäudedächern ausgeglichen werden.

Wie schon in [Schrade 2020-1] herausgearbeitet, steht das Quartier in Stuttgart energetisch vor besonderen Herausforderungen aufgrund der dichten Innenstadtbebauung. Diese führt dazu, dass im Verhältnis die für PV verfügbaren Dachflächen zu gering sind, um den benötigten Nutzerstrom der darunterliegenden Nutzfläche inkl. der Restemissionen zu kompensieren.

Eine in diesem Dokument schon angesprochene Möglichkeit, die Restemissionen zu verringern, ist der Bau der Neubauten im Standard KfW 40, was auch so umgesetzt werden soll. Im Bestand ist aufgrund der Versorgung durch Wärmepumpen ebenfalls eine Wärmeversorgung mit VL 55°C und RL 30 °C geplant, wenngleich ein Gebäudestandard von KfW 70 nicht überall erreicht werden kann. Eine ebenfalls in diesem Dokument geforderte weitergehende Solarisierung der Dächer konnte in Abstimmung mit den anderen Ämter der Landeshauptstadt Stuttgart leider nicht vereinbart werden.

Stand jetzt ist keine Redundanz durch den Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz geplant. Sollte dies erforderlich werden, so bestehen auch hier konkrete Pläne der EnBW, die Fernwärme in Stuttgart in den nächsten Jahren komplett klimaneutral zu erzeugen.

Somit können hier innerhalb des Stadtkonzerns Erfahrungen gesammelt werden, unter welchen Rahmenbedingungen ein vollständig klimaneutrales, leitungsgebundenes Wärmeversorgungskonzept zu gleichen Preiskonditionen wie ein fossiles Bestands-Fernwärmesystem wirtschaftlich erfolgreich umgesetzt werden kann.

Baufortschritt

Bauabschnitt IIa

Leider hat sich die Entwicklung des Bauabschnitts IIa aufgrund der Unterbringung von Flüchtlingen in den ehemaligen Krankenhausgebäuden verzögert.

Der schon geplante Abriss der Gebäude wurde dadurch um drei Jahre verschoben, was in der Folge auch die Planung und den Bau der neuen Gebäude verzögerte.

Nach dem eingangs erwähnten städtebaulichen Ideenwettbewerb konnte im Herbst 2021 ein Architektenwettbewerb begonnen werden, nachdem der weitere stadtinternen Abstimmungs- sowie Klärungsbedarf bezüglich Bau 10, der ins Wettbewerbsgebiet aufgenommen wurde, erledigt war. Wichtig aus der Sicht des Projekts war insbesondere die Fixierung der energetischen Bausteine (mindestens KfW 55 oder besser) und Vorgaben für Dach- und Fassaden-PV.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein ist der Bebauungsplan, der für den Bauabschnitt IIa und den Rest des Quartiers außer Bau 2 neu aufgestellt wird. Dabei ist aus Sicht des Projekts u. a. die Solarisierung der Dachflächen wichtig, was unter der Berücksichtigung der Dachbegrünung im B-Plan verankert werden konnte. Gleiches gilt für den Kaufvertrag an den Bauträger, an dem ebenfalls mit den anderen Ämtern der Stadt gearbeitet wurde. Zu erwähnen ist weiter die Fixierung eines Anschluss- und Benutzungszwangs und der Berechnung des Wärmepreises, der sich aufgrund der aktuellen Lage an den Energiemärkten merklich komplizierter gestaltet.

Aufgrund von rechtlichen Verzögerungen konnte der Bebauungsplan leider nicht während der Projektlaufzeit beschlossen werden. Dies wird im Laufe des Jahres 2024 geschehen. Danach wird auch der Kaufvertrag für die Grundstücke mit der SWSG geschlossen.

Bau 2

Der Bau 2 stellt aufgrund seiner Größe und der Tatsache, dass das Gebäude von Grund auf saniert wird, eine Besonderheit im Quartier dar. Im Rahmen der Entwicklung des Energiekonzeptes für das Gesamtquartier wurden Optimierungsmaßnahmen für den Bau 2 identifiziert und mit der SWSG diskutiert. Aufgrund der Abschätzung, dass der Bau 2 einen hohen Anteil (ca. 25 %) am gesamten Energieverbrauch des Areals haben wird, sind hier insbesondere Energieeinsparmaßnahmen umzusetzen, die die Klimaneutralität des Gesamtquartiers ermöglichen. Zu den ausgeschriebenen Optimierungsmaßnahmen, gehört neben wohnungsweisen Frischwasserstationen auch der Umstieg auf eine Fußbodenheizung.



Bild 9:
Fußbodenheizung im Bau 2. Quelle: LH Stuttgart.

Aufgrund von Bauverzögerungen musste der Bezugstermin für den Bau 2 mehrmals verschoben werden, sodass leider im Rahme der Projektlaufzeit keine Bewohner einziehen konnten. Dies führte dazu, dass anders als in Überlingen auch keine vergleichende Befragung der Bewohner durchgeführt werden konnte. Stand heute wird der Bau 2 aufgrund der zeitlich nicht anders möglichen Versorgung mit Fernwärme beheizt. Die Eingliederung in das in diesem Projekt erarbeitete Konzept ist allerdings möglich.

Gesamtquartier

Aufgrund der Verzögerungen im Bauabschnitt IIa verschoben sich auch die restlichen Bauabschnitte nach hinten. Den Projektpartnern und der SWSG liegt aber sehr viel daran, das ursprünglich geplante Ziel eines klimaneutral versorgten Quartiers auch nach Projektende weiter zu verfolgen, da die zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels, die städtischen Klimaziele (Klimaneutralität bis 2035) und die gesetzlichen Rahmenbedingungen (z. B. Gebäude-Energie-Gesetz) uns alle dazu verpflichten.

Die im Projektantrag geplanten Arbeiten zur Ausschreibungen, Vergabe, Bauüberwachung und Inbetriebnahme der Komponenten der Energieversorgung konnte aufgrund der zeitlichen Verschiebungen leider nicht im Rahmen des Projekts umgesetzt werden.

Weiterführende Informationen:

- Dokumentation des Planungs- und Umsetzungsprozesses [Görres 2024-5]
- Entwicklung eines klimaneutralen Versorgungskonzepts für das Bürgerhospital Stuttgart. Wissenschaftliches Hintergrunddokument. [Schrade 2020-1]
- Bausteine des Energiekonzepts für das klimaneutrale Quartier Bürgerhospital in Stuttgart. Exposé zum wissenschaftlichen Hintergrunddokument [Schrade 2020-2]

2.3 Demonstrationsquartier Schättlisberg/Hildegardring, Überlingen

Leitung des Arbeitsbereichs: Baugenossenschaft Überlingen

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Stadtwerk am See, Fraunhofer FIT, Stadt Überlingen, Energieagentur Ravensburg, puren, FIW

2.3.1 Aufgabenstellung

Für das Überlinger Demonstrationsquartier „Schättlisberg“ besteht aus dem Bestandsgebiet im Hildegardring und dem Neubaugebiet in der Anna-Zentgraf-Straße. Hierfür sollte ein Energiekonzept entwickelt sowie die Planung und Umsetzung des klimaneutralen Stadtquartiers durchgeführt werden. Neben dem Zielwert Klimaneutralität lag der Fokus auf nachhaltigen Technologien sowie innovativen und effizienten Wärmeschutzkonzepten, der integralen Planung und der Optimierung der Bau- und Betriebskosten zur Sicherstellung von bezahlbarem Wohnraum. Die Schwerpunkte des Vorhabens „Schättlisberg“ in Überlingen waren:

- Die Verschmelzung von Bestands- und Neubauquartier zu einer sozialen und identitätsstiftenden Einheit
- Der Neubau hocheffizienter Low-Tech-Gebäude, u.a. mit innovativen Hochleistungs- und Konstruktionsdämmstoffen
- Das Nahwärmenetz mit Einbindung von Solarwärme, städtische Biomasse und Power-to-Heat
- Die hohe Stromeigennutzung durch Quartiersspeicher

- Die Nutzung energetischer Synergieeffekte zwischen Bestands- und Neubauquartier

- Die Anleitung zum energiesparenden Wohnen und Vermeidung von Reboundeffekten durch Anreizsysteme und integrierter Informations- und Kommunikationstechnik (Quartiers-App)

Die geplanten Arbeitsschritte umfassten entsprechend die Entwicklung des Gesamtenergiekonzepts für das Bestands- und Neubauquartier, die integrale Planung der innovativen Maßnahmen im Gebäudebereich, der Energieversorgung und der Informations- und Kommunikationstechnik, die Entwicklung eines innovativen Wärmeschutzkonzepts für die Low-Tech-Gebäudehülle im Neubauquartier, die Ausschreibung und Vergabe der innovativen Maßnahmen im Gebäudebereich und der Energieversorgung, die Ausführung und Bauüberwachung der innovativen Maßnahmen im Gebäudebereich und der Energieversorgung, die Inbetriebnahme der innovativen Anteile im Gebäudebereich und der Energieversorgung und die Dokumentation des Planungs- und Umsetzungsprozesses.

2.3.2 Vorgehen

Ausgangszustand

Im Bestandsgebiet „Hildegardring“ standen zu Projektbeginn 12 Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 240 Wohneinheiten zur energetischen Ertüchtigung an, wovon je die Hälfte in genossenschaftlichen und privaten Eigentumsverhältnissen stehen. Am Bestandsquartier angrenzend befindet sich das Neubaugebiet in der neuen Anna-Zentgraf-Straße, in dem die Baugenossenschaft Überlingen (BGÜ) während der Projektlaufzeit 14 Gebäude im genossenschaftlichen Kontext errichtet hat. Darüber hinaus wurden dort während der Projektlaufzeit vier weitere Gebäude von einem privaten Bauträger errichtet. Der Fokus des Demonstrationsquartiers lag auf den Neubauten der BGÜ sowie auf dem Solarfeld, das im Zuge der Errichtung des 3-Leiter-Netzes für das Betrachtungsgebiets gebaut wurde und die vorhandene Energieerzeugung der Nahwärme bestehend aus Biomassekesseln, Gas-BHKW und Gas-Spitzenlastkessel ergänzt hat.

Die Möglichkeiten zur Integration der Bestandsgebäude wurden auf sozialwissenschaftlicher Ebene in anderen Arbeitsbereichen eruiert. Für die Sanierung und energetische Ertüchtigung des Bestandsquartiers im Hildegardring wurde für die Gebäude, die im Eigentum der Baugenossenschaft Überlingen stehen, eine Grundlagenermittlung beauftragt, auf deren Basis eine Vorstudie für ein Entwicklungskonzept erarbeitet werden konnte. Das Konzept umfasst neben energetischen Aspekten auch die optische Verschmelzung zwischen den Bestands- und Neubaugebäuden, um eine soziale und identitätsstiftende Verbindung zu fördern.



Bild 10:
Übersicht über die im Demonstrationsquartier enthaltenen Gebäude, bestehend aus Neubauten und Bestandsgebäuden.

Energiekonzept und Planung

Mit Erteilung der Baugenehmigung für die 14 Neubauten im Juni 2018 wurde mit der Werk- und Detailplanung begonnen, inklusive der Energie- und Haustechnik für die Wohnhäuser. Zur Optimierung der Details der hocheffizienten Gebäudehülle wurden Dach- und Fensteranschlüsse erarbeitet [Ressel 2024].

Parallel zur Bauplanung wurde auf Grundlage der im Projektantrag anvisierten Zielstellung zum Jahresbeginn 2019 eine schematische Darstellung des Energiekonzepts erarbeitet und in einer ganzheitlichen Beschreibung erläutert [Maucher 2023]. Die in der Aufgabenstellung erwähnte Power-to-Heat-Lösung wurde verworfen, da aufgrund der solarthermischen Anlage bereits Sonnenenergie für die Wärmeerzeugung genutzt wird. Des Weiteren war das lokal verfügbare Angebot an erneuerbarem Strom begrenzt, so dass die vorhandene Menge nicht einmal für die Versorgung mit Haushaltsstrom

ausreichend ist. Außerdem wurde der ursprüngliche Ansatz eines Quartiersspeichers verworfen zugunsten dezentraler Speichermöglichkeiten.

Für die Erstellung des Energiekonzepts wurden für das Bestandsgebiet reale Wärmeverbrauchsdaten und für den Neubaubereich Bedarfsrechnungen der Planungsphase herangezogen. Elektrische Energiebedarfe wurden in beiden Gebieten mithilfe eines flächenbezogenen Ansatzes abgeschätzt. Auf der Erzeugerseite konnte der Anteil der verschiedenen Energieerzeuger durch Flächenschätzungen, statistische Daten von Solarertrag sowie über Leistung und zu erwartende Volllaststunden abgeschätzt werden. Für die Berechnung der Emissionen wurden Faktoren gemäß DIN V 18599-1 (2018) herangezogen.

Im Rahmen der Erarbeitung des Energiekonzepts wurden Anschlussmöglichkeiten an die Wärmeversorgung sowie ein Mieterstromkonzept berücksichtigt und darüber hinausgehend Ideen für E-Ladestationen und ein E-Car-Sharing diskutiert. Des Weiteren fand eine Detailabstimmung der Konzepte von Stuttgart und Überlingen statt, um beide Projekte mit der gleichen Bilanzierungsmethode und den gleichen Ausgangsvoraussetzungen zu bewerten.



Bild 11:
Photovoltaikmodule auf den Neubauten im Gebiet Schättlisberg. © René Lamb Fotodesign/Baugenossenschaft Überlingen eG.

Wärmeschutz der Neubauten

Zur Optimierung des Wärmeschutzes der gesamten Gebäudehülle (Dach, Wand, Tiefgaragendecken) kamen innovative Neuentwicklungen aus Polyurethan-Hartschaum zum Einsatz, die eine verbesserte Wärmeleitfähigkeit bei gleichzeitig gute Brandschutzeigenschaften vereinen. Für die wissenschaftliche Begleitung der Gebäudehülle wurden zum einen vier konstruktive Details hinsichtlich ihrer Wärmebrückenwirkung betrachtet. Vom Istzustand ausgehend wurden dann jeweils zwei Variationen der Konstruktion simuliert und bewertet, um zukünftig für das Bausystem aus PU Hartschaum noch weiter optimierte Konstruktionsdetails auszuarbeiten. Zum anderen wurde die Ökobilanz für die Außenwand erstellt und optimiert. Hier wurden zu der ausgeführten Schichtenfolge ebenfalls zwei zusätzliche Varianten gerechnet, die Expandiertes Polystyrol bzw. Mineralwolle als Dämmschicht verwenden. Des Weiteren wurde ein Vergleich der Außenwandstärke bei gleichem Wärmedurchlasswiderstand, aber Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe vorgenommen. Dabei wurden die Wohn- und Nutzflächen betrachtet, welche bei Einsatz unterschiedlicher Dämmstärken variieren.



Bild 12:
Tiefgaragendämmung, die zur effizienten Verlegung direkt in die Schalung eingelegt werden kann. © puren.

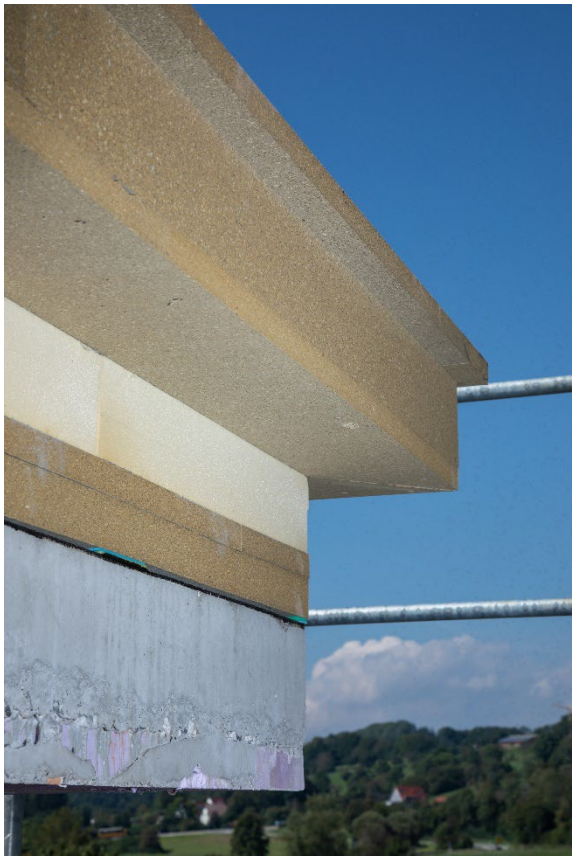


Bild 13:
Innovative Attikaausprägung für einen wärmebrückenfreien Dachrandabschluss. © puren.



Bild 14:
Fassadendämmung mit besonders schlanker Ausführung. © puren.

3-Leiter-Nahwärmenetz

Zum Jahreswechsel 2018/2019 hat das Stadtwerk am See ein ganzheitliches Konzept der Wärmeversorgung des Neubau- und Bestandsgebiets ausgearbeitet und ist in die Ausführungsplanung eingestiegen. Zur Erhöhung der Nutzung lokaler erneuerbarer Energien wurde Solarwärme und städtische Biomasse als Wärmequelle für das Nahwärmenetz eingebunden. In der ersten Jahreshälfte 2020 hat das Stadtwerk am See mit dem Bau des innovativen 3-Leiter-Nahwärmenetzes und der Umsetzung erster Arbeiten in der Energiezentrale begonnen. Das 3-Leiter-Netz ermöglicht den Rücklauf des Bestandsgebiets als Vorlauf im Neubaugebiet zu nutzen.

Für die Umsetzung einer integrierten Informations- und Kommunikationstechnik (siehe Kapitel 2.12 „Quartiers-App“) wurde in engem Austausch zwischen Fachplanern und anderen Arbeitsbereichen ein feingranulares Messkonzept ausgearbeitet und in die Bauplanung integriert, siehe Kapitel 2.16.

2.3.3 Ergebnisse

Alle geplanten Neubaugebäude und der Bau des Solarfelds sowie die Biomasse- und Spitzenlastkessel und die MSR-Technik wurden erfolgreich während der Projektlaufzeit umgesetzt. Low-Tech-Ansätze wurden wo möglich sinnvoll angewandt. Alle Neubauten wurden während der Projektlaufzeit an die technischen Anlagen sowie das 3-Leiter-System angeschlossen. Beim Anschluss der Bestandsgebäude gab es aufgrund fehlender Angebote für die Ausschreibung eine zeitliche Verschiebung, die durch die Verlängerung der Projektlaufzeit um ein Jahr jedoch aufgefangen werden konnte. Die Hausanschlüsse zu den Bestandsgebäuden der Baugenossenschaft Überlingen wurden verlegt und mit Ausnahme eines Hauses alle Gebäude während der Projektlaufzeit angeschlossen. Der Anschluss des verbleibenden Gebäudes befindet sich in der Umsetzungsphase. Bei den verbleibenden fünf Objekten wurde, mit Ausnahme eines Hauses, bei allen mindestens Hausanschlussstutzen verlegt, sodass ein späterer Anschluss vorbereitet wurde. Mit dem verbleibenden Objekt laufen die Gespräche weiter. Darüber hinaus konnten zwei zusätzliche Objekte bereits angeschlossen und versorgt werden.

Nach dem ersten Betriebsjahr kann als Ergebnis festgehalten werden, dass die Solarthermie-Anlage bereits die prognostizierte Wärmemenge geliefert hat und das obwohl es nicht um ein vollständiges Betriebsjahr handelt. Es wird erwartet, dass die Anlage beim vollständige Betrieb über ein Jahr die geplante Jahresmenge übertrifft. Konkret bedeutet dies, dass ca. 20 % der jährlich erzeugten Wärmemenge in der Energiezentrale aus der Sonne

gewonnen wird, in den Monaten Juni, Juli und August sind es über 85 % Deckungsanteil.



Bild 15:
Foto der Neubauten im Gebiet Schättlisberg. © René Lamb Fotodesign/Baugenossenschaft Überlingen eG.



Bild 16:
Foto der Energiezentrale mit Solarfeld zur Versorgung des Nahwärmegebiets Schättlisberg und Hildegardring. © Stadtwerk am See.



Bild 17:
Foto des 3-Leiter-Nahwärmenetzes zur Versorgung des Gebiets Schättlisberg und Hildegardring: Abzweig von der Hauptverteilungsleitung. © Stadtwerk am See.

Das Energiekonzept (vgl. Bild 18) sieht zur Versorgung des Nahwärmenetzes vier verschiedene Wärmequellen vor: Holzhackschnitzel (60 %ige Abdeckung des Wärmebedarfs), Solarthermie (20 %), BHKW (5 %) und Erdgas-Spitzenlast (15 %). Daraus resultiert ein kombinierter Emissionsfaktor von 0,058 kg $CO_{2Äq.}$ pro kWh.

Wärmespeicher in der Heizzentrale und in den zu versorgenden Gebäuden ermöglichen die zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und -nutzung sowie die Abdeckung von Spitzenlasten. Im Neubaubereich kommt ein 3-Leiter-Netz zum Einsatz, welches die Nutzung der noch relativ hohen Temperatur des Rücklaufs des Bestandsbereichs als Vorlauf für den Neubaubereich ermöglicht. Dies führt zu geringeren Leitungsverlusten und steigert die Nutzungsgrade von Solarthermie und Gas-Brennwertgeräten.

Elektrische Energie wird einerseits durch quartierseigene Photovoltaikanlagen (43 %-ige Abdeckung des Strombedarfs) und das BHKW (8 %), andererseits durch Netzbezug (49 %) bereitgestellt. Der resultierende kombinierte Emissionsfaktor liegt bei 0,012 kg $CO_{2Äq.}$ pro kWh.

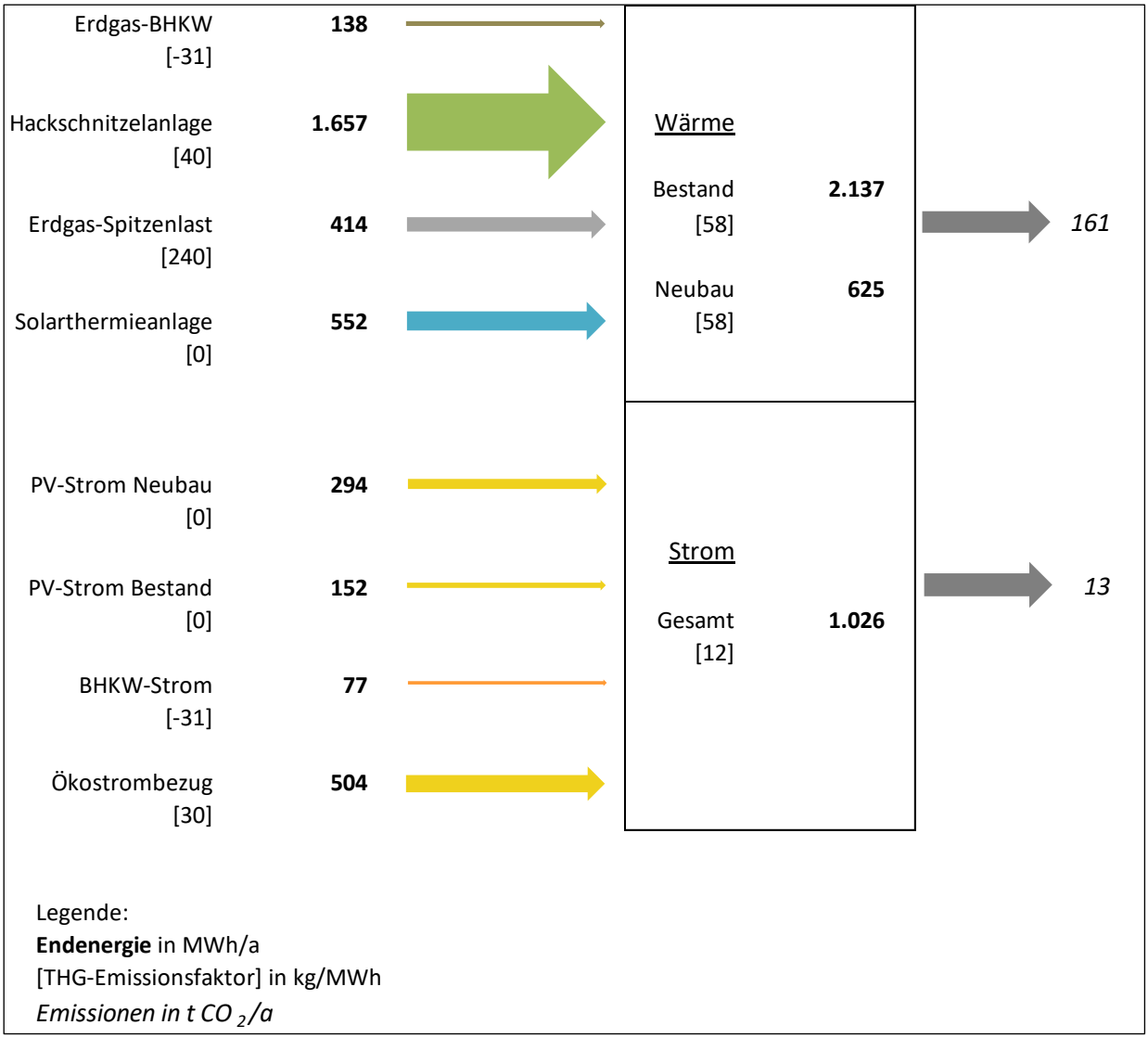


Bild 18:
Schematische Darstellung des Energiekonzepts für das Demonstrationsquartier Schättlisberg in Überlingen. © Energieagentur Ravensburg.

Potential zur Kompensation der trotz aller Bemühungen entstehenden Treibhausgasemissionen liegt innerhalb des Quartiers, z.B. durch die Installation von PV-Anlagen auf den Bestandsgebäuden des Hildegardrings. Alle im Energiekonzept genannten Energieanteile und Wirkungen sollen im Realbetrieb durch ein umfangreiches Messkonzept überprüft werden.

Auf der Gebäudeebene sind durch das Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München vier Details des Gebäudes einer genauen Analyse unterzogen worden. Dabei zeigte sich, dass die entstehende Wärmebrücke im Bereich des Anschlusses der Fenster an die Stahlbetondecke optimiert werden kann. Nach FEM-Berechnung kann eine Reduzierung des linearen Wärmebrückenkoeffizienten (Psi-Wert) von ψ = 0,312 W/(m·K) auf ψ = 0,048 W/(m·K) erzielt werden. Im Bereich der Attika kommt bereits eine sehr gute

Konstruktion zum Einsatz. Die Kombination aus PUR und purenit C erreicht bereits einen sehr geringen Psi-Wert von ψ = 0,041 W/(m·K). Ein weiteres Detail ist der Anschluss von Wohnraum an Keller, Tiefgarage und Außenraum. In der Ausführung wurde eine Flankendämmung verwendet, was zu einem Psi-Wert von ψ = 0,213 W/(m·K) führt. Durch den Einsatz von tragenden Wärmedämmelementen kann dieser Wert auf ψ = 0,146 W/(m·K) reduziert werden. Neben der etwas verbesserten Wärmebrücke ist vor allem ein geringerer Aufwand beim Anbringen der Dämmung hervorzuheben, da die Flankendämmung entfallen kann. Das letzte Detail sind die Stützen der Tiefgarage, welche ebenfalls mit einer Flankendämmung ausgestattet wurden. Diese haben einen punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten in der ausgeführten Variante von χ = 0,0176 W/K. Der Einsatz von tragenden Wärmedämmelementen kann hier nur eine kleine Verbesserung auf χ = 0,0156 W/K erreichen. Aber auch hier besteht ein geringerer Aufwand bei den Dämmarbeiten, da das Einpacken der Stütze nicht notwendig ist. Zudem wird etwas mehr Platz in der Tiefgarage geschaffen. Die genauen Analysen inklusive Darstellungen der Wärmeströme und Temperaturverteilungen finden sich in [Ressel 2024].

Der sehr niedrige Energieverbrauch der Gebäude in Überlingen resultiert aus einem sehr hohen Dämmstandard mit den sehr leistungsfähigen Dämmstoffen aus Polyurethan mit 180 mm Stärke. Der daraus resultierende hohe Materialbedarf und dessen Umweltwirkungen wurden in einer vergleichenden Ökobilanz berechnet. Für diesen Vergleich wurde die Konstruktion der Gebäude aus Überlingen auf ein Beispielgebäude übertragen und anschließend sind davon ausgehend zwei Varianten mit anderen Dämmstoffen bei gleichem Wärmedurchlasswiderstand berechnet worden. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Konstruktion sich an der Grenze des sinnvoll Machbaren bewegt. Zwischen den berechneten Dämmstoffvarianten lässt sich bei der gesamten Betrachtung des Gebäudes nur ein geringer Unterschied feststellen.

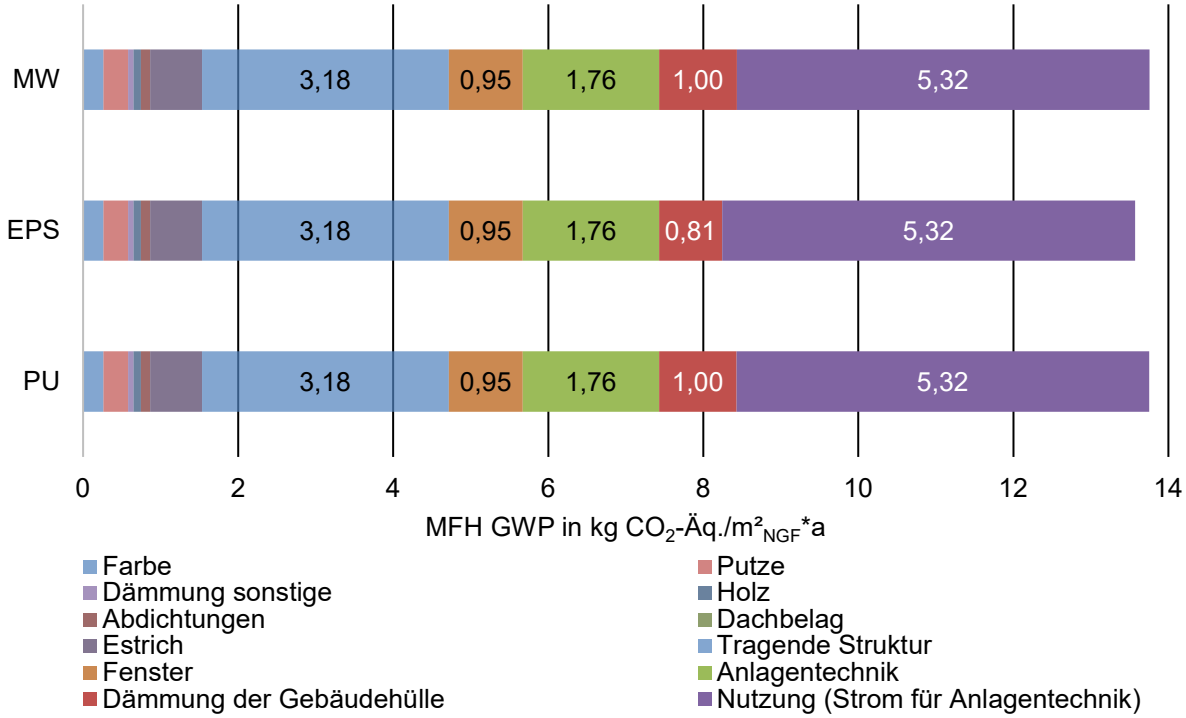


Bild 19:
Global Warming Potential (GWP) der gewählten Konstruktion der Gebäude in Überlingen im Vergleich mit alternativen Dämmstoffvarianten. Das Balkendiagramm zeigt das GWP der Konstruktion in kg CO_2-Äquivalente pro Quadratmeter Netto-Grundfläche und Jahr. Dargestellt ist je ein Balken für Polyurethan (PU), Expandiertes Polystyrol (EPS) und Mineralwolle (MW). Die verwendeten Baumaterialien sind detailliert aufgeschlüsselt und die fünf größten Positionen sind mit Werten versehen.

Das mit Polyurethan gedämmte Gebäude hat ein Gesamt-Global Warming Potential (GWP) von 13,75 kg CO_2-Äq./(m^2_{NGF}·a). Das mit Expandiertem Polystyrol gedämmte Gebäude liegt bei 13,57 kg CO_2-Äq./(m^2_{NGF}·a) und die Konstruktion mit Mineralwolle liegt bei 13,76 kg CO_2-Äq./(m^2_{NGF}·a). Eine Aufteilung zwischen Errichtung der Gebäude und des Betriebs zeigt, dass das GWP der Konstruktion mit rund 60 % bereits mehr als die Hälfte der Gesamtemissionen ausmacht. Bei einer weitergehenden Unterteilung ist zu sehen, dass die Konstruktion aus Stahlbeton rund 23 % des GWPs verursacht.
13 % stammen von der Herstellung der Anlagentechnik und 7 % von den Fenstern sowie weitere 6-7 % von den Dämmstoffen. Die thermische Gebäudehülle (Fenster/Dämmung) beeinflusst direkt den Energieverbrauch der Anlagentechnik in der Nutzungsphase. Bei den opaken Bauteilen sind die Dämmstoffe für über 95 % des Wärmedurchlasswiderstands und damit auch für den Großteil der Energieeinsparung verantwortlich. Zum Vergleich: Der Wärmedurchlasswiderstand der Fenster ist um 80 % geringer als der der Außenwand, die Fenster sind aber ebenfalls für 7 % des gesamten GWPs verantwortlich. Große Fensterflächen erhöhen damit einerseits das GWP des Gebäudelebenszyklus und andererseits sind diese für erhöhte

Wärmeverluste verantwortlich. Auch die Problematik der sommerlichen Überhitzung des Gebäudes erhöht sich mit steigendem Fensteranteil, was erhöhte Anforderungen an die Anlagentechnik zur Folge haben kann. Daraus lässt sich ableiten, dass der Anteil an Fensterflächen am Gebäude sorgfältig geplant und ausgewählt werden muss. Eine genaue Aufschlüsselung aller Rahmenbedingungen für die Berechnungen findet sich in [Ressel 2024].

Für das Gebäude 9 in Überlingen wurde für verschiedene Dämmstoffe mit unterschiedlichen Wärmeleitstufen (WLS) ein Vergleich der Konstruktionsfläche berechnet. Dafür wurden die Dämmstoffstärken auf einen einheitlichen R-Wert umgerechnet, um eine gute Vergleichbarkeit zu erhalten. Es zeigte sich, dass für eine gleiche Dämmleistung von 180 mm purenotherm S mit der WLS 024 ein Dämmstoff mit WLS 035 rund 45 % stärker ausgeführt werden muss. Für einen Dämmstoff der WLS 040 ist die Dämmstärke um rund 67 % zu erhöhen. Diese großen Unterschiede ergeben sich aus der Hyperbelfunktion des U-Werts. Mit sinkendem U-Wert steigt die benötigte Dämmstoffstärke überproportional an. Für eine Abschätzung zum Mehrbedarf an Konstruktionsfläche werden diese Dämmstoffstärken auf den Gebäudeumfang in Überlingen übertragen. Hier zeigt sich, dass für einen Dämmstoff mit der WLS 035 rund 33 m² mehr Fläche pro Gebäude für die Dämmung benötigt würden. Im Falle eines Dämmstoffs mit WLS 040 sind es ca. 48 m² pro Gebäude. Die hohe Dämmleistung des Polyurethandämmstoffs in Kombination mit dem sehr hohen Dämmstandard führt bei diesen Gebäuden zu einem nennenswerten Flächengewinn. Die Berechnungen finden sich ebenfalls in [Ressel 2024].

Die detaillierten Informationen zum Energiekonzept sowie die Beschreibung des Planungs- und Umsetzungsprozesses sind im Meilenstein „Fertigstellung des Energiekonzepts“ bzw. im Deliverable „Dokumentation des Planungs- und Umsetzungsprozesses“ festgehalten.

Weiterführende Informationen:

- Dokumentation des Planungs- und Umsetzungsprozesses [Ressel 2024],
- Energiekonzept für das Demonstrationsquartier Schättlisberg in Überlingen [Maucher 2023]

2.4 Ermittlung feingranularer Strom- und Wärmebedarfsdaten

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer FIT

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Fraunhofer IBP, Landeshauptstadt Stuttgart, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See

2.4.1 Aufgabenstellung

Zur Incentivierung von energiebewusstem Verhalten durch die Quartiers-App sind fein aufgelöste Strom- und Wärmeverbrauchsdaten sowie demographische Informationen auf Haushaltsebene erforderlich. Da die Kombination dieser Daten datenschutzrechtlich nicht unproblematisch ist, bestand eine der zentralen Herausforderungen des Projekts in der Umsetzung von gesetzlichen Vorgaben im Bereich Datenschutz und -sicherheit. Dabei sollten alle Aspekte des Datenschutzes und der Datensicherheit betrachtet werden, die sich direkt aus der Erfassung, Speicherung und Verarbeitung der Strom- und Wärmebedarfsdaten während der Laufzeit des Projekts ergeben haben.

Vor dem Hintergrund der geplanten Optimierung des Strom- und des Wärmenetzes im Sinne einer CO_2-Reduktion sollte zunächst im Rahmen einer Ist-Analyse die grundlegende Datenbasis feingranular erfasst werden. Hierzu wurden in Zusammenarbeit mit den Energieversorgern u. a. die Wärmebedarfe und Stromlastkurven der Bewohnertypen dynamisch ermittelt und analysiert. Aufgrund der herausfordernden Datenlage geschah dies durch die Anwendung stochastischer Modelle auf einen vergleichbaren Datensatz aus Irland. Gemäß dem Ziel der Identifizierung von Nutzertypen ist es notwendig, die Strom- und Wärmeverbrauchsdaten nicht in vollständig anonymisierter Form zu erheben und zu speichern. Damit künftig Daten in den Quartieren erhoben, weitergegeben und analysiert werden können, müssen die Regelungen des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSG) und zukünftig der EU-Datenschutzgrundverordnung eingehalten werden. Um dies zu gewährleisten wurden entsprechende Datenschutz- und Datensicherheitskonzepte erarbeitet.

Da zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Arbeitspakets keine Daten aus den Quartieren zur Verfügung standen, wurden unterschiedliche alternative Datenquellen für feingranulare Strom- und Wärmeverbrauchsdaten recherchiert und verglichen. Anschließend wurden mit einem externen Datensatz die feingranularen Strom- und Wärmeverbrauchsdaten ermittelt und analysiert, um in einem letzten Schritt die Ergebnisse der Datenanalyse zu Energiebedarfsprofilen aufzubereiten und daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten.

2.4.2 Vorgehen

Die Vorbereitung der Ermittlung feingranularer Strom- und Wärmeverbrauchsdaten sowie die Aufarbeitung des Datenschutzes waren zu Beginn der Arbeiten die wesentlichen Handlungsstränge.

Zunächst wurde ein erstes Datenschutz- und Datensicherheitskonzept erstellt, welches allgemeine handlungsleitende Prinzipien sowie konkrete Instrumente zur Wahrung von Datenschutz und Datensicherheit beinhaltet. Das Dokument spiegelte den Kenntnis- und Projektstand zu diesem Zeitpunkt wider. Das Datenschutz- und Datensicherheitskonzept wurde mit einer Übersicht über relevante Use Cases der Strom- und Wärmebedarfsdaten ergänzt. In diesem Konzept wurde der anvisierte Datensatz vorgestellt sowie mögliche Anwendungen dieses Datensatzes innerhalb des Projekts beschrieben.

Unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit wurde die Anforderungsspezifikation zur Datenanalyse und Energiebedarfsprofile erarbeitet. Ergänzend dazu wurde eine Vorstudie durchgeführt und eine größere Panel-Befragung vorbereitet. Für die Energiebedarfsprofile und damit auch implizit für die Anforderungsspezifikationen wurden Energiebedarfsprofile für die Bewohner der Quartiere erstellt.

Es wurde beschlossen, einen irischen Datensatz der Commission for Energy Regulation, welcher 15-minütig aufgelöste Stromverbrauchsdaten mit demographischen Informationen zu Haushalten umfasst, heranzuziehen. Um den Datensatz für den genannten Zweck verwenden zu können, wurde er bestmöglich an die zu untersuchenden Quartiere angepasst, indem Haushalte, welche mit Strom heizen, sowie jegliche Nicht-Wohngebäude entfernt wurden. Zudem wurde der durchschnittliche Jahresstrombedarf auf den deutschen Durchschnitt von 2018 von 2.801 kWh/a normiert. Mit dieser Anpassung dient der Datensatz als Grundlage für eine erste Analyse von Energieprofilen.

2.4.3 Ergebnisse

Für die Analyse wurden die viertelstündlichen Stromverbrauchsdaten auf Stundenbasis aggregiert und die einzelnen Jahreszeiten getrennt betrachtet. Durch eine Clusteranalyse wurden sechs Typen von Haushalten identifiziert, die sich hinsichtlich ihres Energiebedarfsprofils unterscheiden. Die entstandenen Cluster sind:

1. Großfamilien
2. Ehepaare höheren Alters
3. Alleinstehende und Paare

4. Familien mit Kindern Typ 1 (durchschnittliches Einkommen und nur ein arbeitendes Elternteil)
5. Familien mit Kindern Typ 2 (hohes Einkommen und beide Elternteile arbeitend)
6. Einkommensschwache Familien

In Bild 20 ist beispielhaft für Cluster 1 das durchschnittliche Energiebedarfsprofil anhand des Strombedarfs abgebildet.

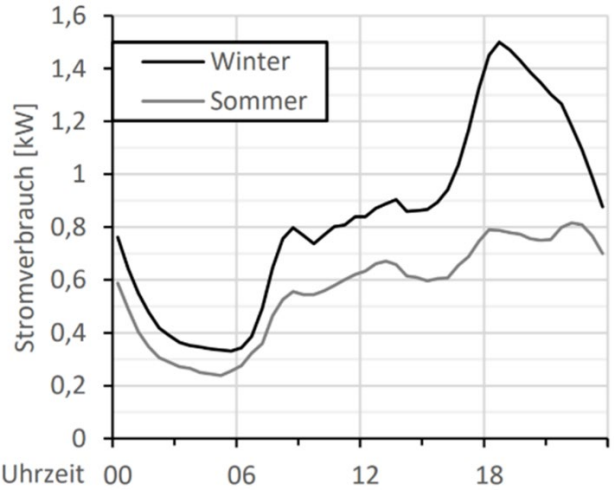


Bild 20:
Energiebedarf an Wochentagen für Cluster 1 „Großfamilien“.

Um hieraus die Energiebedarfsprofile der Haushalte der Quartiere zu erstellen, wurden diese den Clustern mithilfe von Bayes-Klassifikatoren zugeordnet. Durch SARIMA-Modelle wurden daraufhin mögliche Beispieltage erstellt, die den Energiebedarf der Haushalte vorhersagen. Somit besteht nun eine Datengrundlage an Energiebedarfsprofilen.

Um die Handlungsempfehlungen ableiten zu können, wurden mit Hilfe der Strombedarfscluster zunächst die Strombedarfsprofile der beiden Quartiere in Stuttgart und Überlingen abgeschätzt. Diese Abschätzung bildet die Grundlage für die spezifizierten Handlungsempfehlungen zu den beiden Quartieren. Basis für die Abschätzungen waren die oben beschriebenen Cluster sowie die vorgestellte Methodik der Bayes-Klassifikatoren. Um die Cluster mittels der Bayes-Klassifikatoren den verschiedenen Haushalten in den Wohnquartieren zuzuordnen, mussten soziodemographische Daten sowie bauliche Daten zu den verschiedenen Haushalten in den beiden Quartieren erhoben werden. Diese Erhebung war für beide Quartiere nur bedingt möglich. So wurde in Stuttgart auf Daten eines vergleichbaren Wohnquartiers (Olga-Areal Stuttgart-West) zurückgegriffen, da zu diesem Zeitpunkt keine der neu entstehenden Wohneinheiten fertig gebaut war, sodass hier keine Daten der zukünftigen Bewohner sowie der Wohneinheiten verwendet werden konnten. In Überlingen wurde die Abschätzung der Strombedarfsprofile des Wohnquartiers hingegen auf Basis der soziodemographischen

und baulichen Daten der zu diesem Zeitpunkt fertig gebauten und bereits vermieteten Wohneinheiten durchgeführt. Zur Veranschaulichung ist in Bild 21 beispielhaft das Ergebnis für Überlingen dargestellt.

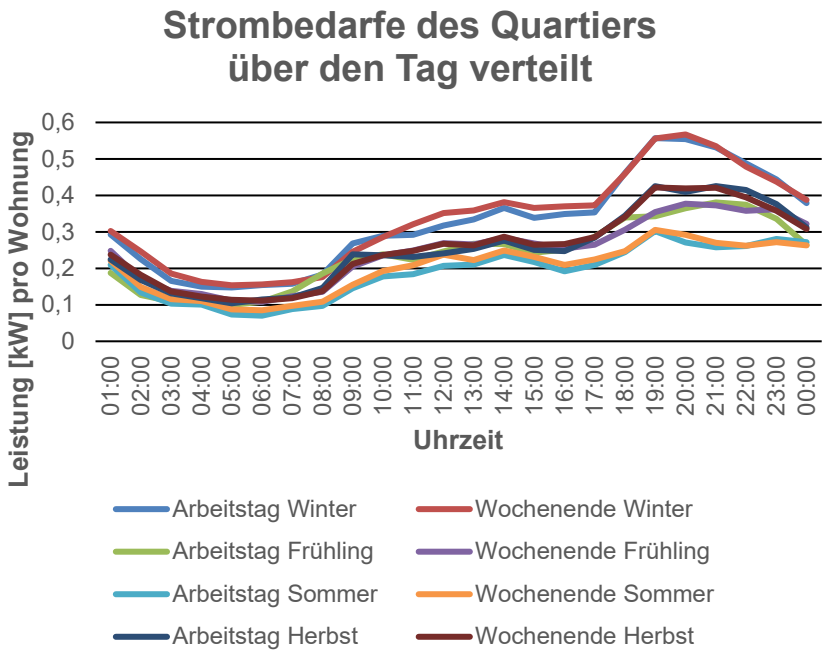


Bild 21:
Tägliche Strombedarfe im Wohnquartier Überlingen.

Die Ergebnisse der Abschätzungen zu den Strombedarfen in den beiden Quartieren waren die Grundlage für einen digitalen Workshop, in dem verschiedene Handlungsempfehlungen für Quartiersplaner, Energieversorger sowie Mieter herausgearbeitet wurden. Teilnehmer des Workshops waren wissenschaftliche Mitarbeiter des Fraunhofer FIT, welche sich durch ihren fachlichen Hintergrund im Bereich der Strom- und Wärmeversorgung qualifizierten.

Für die Fertigstellung des Arbeitspakets wurden die Ergebnisse des Workshops aggregiert. Hierzu wurden die Handlungsempfehlungen nach verschiedenen Zielgruppen strukturiert: Investierende/Planende, Bewohnende und Energieversorgende. Aufbauend darauf konnten die Handlungsempfehlungen fertiggestellt werden. Somit enthalten die Handlungsempfehlungen die aus den soziodemographischen Daten abgeleiteten Strombedarfe der beiden Wohnquartiere und eine strukturierte Darstellung verschiedener Handlungsempfehlungen für die beschriebenen Zielgruppen. Zusätzlich dazu wird im selben Kontext beschrieben, wie verschiedene soziodemografische Daten zu den beiden Quartieren erhoben wurden und welche weiteren Annahmen getroffen wurden, um entsprechende Strombedarfe der Quartiere ableiten zu können.

- Beispielhafte Handlungsempfehlen werden im Folgenden kurz erläutert. Für die Gruppe der Investierenden und Planenden ist die Installation geeigneter Speicher eine Handlungsempfehlung, um den Verbrauch des selbsterzeugten Stroms zu erhöhen. Mit diesen kann überschüssige Energie in Perioden geringen Strombedarfs (z. B. nachmittags) gespeichert werden, um die Lastspitze am Abend auch teilweise mit klimaneutralem Strom bedienen zu können. Für die Bewohnenden von Quartieren empfiehlt es sich, Verbräuche von den Stunden am Abend in den Nachmittag zu verschieben. So kann der Verbrauch von selbsterzeugtem Strom maximiert werden, was den Ausstoß umweltschädlicher Emissionen verringert. Die dritte Gruppe der Energieversorgungsunternehmen wurde ebenfalls durch Handlungsempfehlungen adressiert. So lautetet beispielsweise ein Vorschlag, einen komplett flexiblen Stromtarif anzubieten. Ein flexibler Stromtarif könnte so zum Beispiel davon abhängen, wie viel Strom aus eigener Erzeugung zur Verfügung steht. In Zeiten, in denen viel eigenproduzierter Strom zu Verfügung steht, ist der Stromtarif niedriger als in Zeiten mit wenig PV-Strom. So werden Bewohnende incentiviert, klimafreundlichen Strom zu verbrauchen und der Energieversorger kann mit einer grüneren CO_2-Bilanz werben.

Weiterführende Informationen:

- Datenschutz- und Sicherheitskonzept [Schmidt 2018-1],
- Use Cases [Schmidt 2018-2],
- Anforderungsspezifikationen [Graf-Drasch 2020-1],
- Energiebedarfsprofile [Graf-Drasch 2020-2],
- Handlungsempfehlungen [Fraunhofer FIT 2021-1].

2.5 Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer IBP

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Fraunhofer FIT, Landeshauptstadt Stuttgart, Stadt Überlingen, Baugenossenschaft Überlingen, Stadtwerk am See

2.5.1 Aufgabenstellung

Ergänzend zu den zwei konkreten Energiekonzepten für die beiden Demonstrationsquartiere in Stuttgart und Überlingen sollten generische, übertragbare Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung von

Wohnquartieren bereitgestellt werden. Hierfür sollten verschiedene Kombinationen von baulichen und versorgungstechnischen Effizienzmaßnahmen

für Wohnquartiere bezüglich ihrer CO_2-äquivalenten Emissionen während der Nutzungsphase bewertet und Maßnahmenpakete für eine klimaneutrale Energieversorgung herausgearbeitet werden.

Zunächst sollten Varianten für eine klimaneutrale Energieversorgung gesammelt werden, Charakterisierungsparameter für die Bewertung der Varianten erarbeitet, die Varianten anhand der Parameter analysiert und bewertet werden und die Varianten inklusive der Bewertungsergebnisse in einem Leitfaden präsentiert werden.

2.5.2 Vorgehen

Zu Beginn der Entwicklungsarbeit wurden die Planungsabläufe in den Pilotstädten und der Baugenossenschaft Überlingen analysiert. Insbesondere waren die verfügbaren Informationen zu den Gebäuden und deren Versorgungssysteme in den unterschiedlichen Planungsphasen von Interesse. Die Auswahl geeigneter Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung von neuen oder bestehenden Wohnquartieren stellt die handelnden Personen und Entscheidungsträger vor unterschiedliche Herausforderungen mit teils gegensätzlichen Zielsetzungen. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere in der frühen Planungsphase ein erheblicher Bedarf für ein standardisiertes Vorgehen bei der Identifizierung von geeigneten Lösungsansätzen für eine klimaneutrale Quartiersversorgung besteht.

Aus den Anforderungen der Kommunen und der Baugenossenschaft entstand eine Liste an Komponenten, die für eine klimaneutrale Wärmeversorgung geeignet sind. Die Komponenten zur Wärmeversorgung werden jeweils durch die notwendige Größe an erneuerbaren Energieerzeugern (PV-Anlagen) ergänzt, damit die Energieversorgung klimaneutral ermöglicht wird.

Ausgehend von typischen Quartiersstrukturen wird der Energiebedarf eines Quartiers ermittelt, um aus der Komponentenliste geeignete Lösungsansätze für das Ziel der Klimaneutralität zu ermitteln. Die Bewertung der Versorgungskonzepte erfolgt sowohl auf monetärer Ebene als auch auf Basis weicher Faktoren.

Die Ergebnisse der Arbeiten wurden in einen Leitfaden überführt, der Quartiersmanager und Stadtplanungsbüros im Auftrag öffentlicher Entscheidungsträger bei der Auswahl geeigneter Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung von neuen oder bestehenden Wohnquartieren unterstützt.

Bilanzrahmen

Das Ziel der Klimaneutralität bezieht sich auf eine ausgeglichene Jahresbilanz der Treibhausgasemissionen im Betrieb. Hierfür werden die Treibhausgase, die durch den Gebäudebetrieb (Wärme- und Stromversorgung) freigesetzt werden, in eine der Wirkung entsprechenden Menge CO_2 umgerechnet (CO_2-Äquivalent). Die Allokation der Treibhausgase erfolgt nach dem Verursacherprinzip. Nicht betrachtet werden Emissionen der Mobilität, des Konsums und aus der Erstellung von Gebäuden und Infrastruktur.

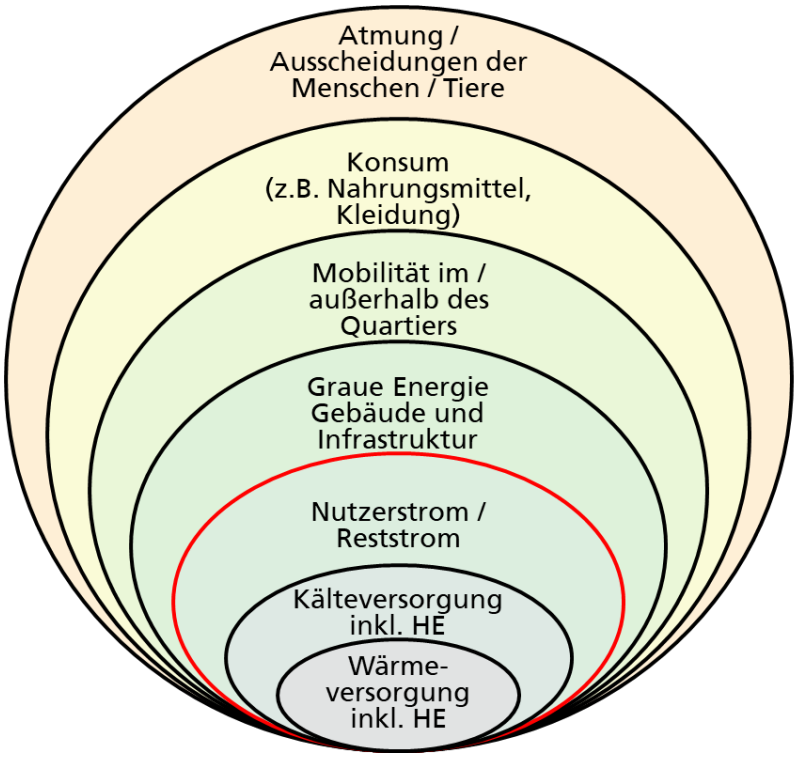


Bild 22:
Grafische Darstellung verschiedener Bilanzgrenzen für die Betrachtung der Klimaneutralität. © Fraunhofer IBP. Im STADTQUARTIER 2050 Projekt wird bei den Demonstrationsquartieren, im Leitfaden „Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung“ und im Softwaretool Klimaneutral Easy die rot umrandete Bilanzgrenze verwendet.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, welche Auswirkungen die Erweiterung des Bilanzrahmens (siehe Bild 22) im Hinblick auf benötigte Erzeugerkapazitäten von erneuerbaren Energien bzw. anderen Kompensationsmaßnahmen bewirken würde. Hierfür wurden allgemeingültige Kennzahlen für graue Energie, Mobilität, Ernährung, Konsum und staatliche Emissionen anhand der UBA-Klimaschutzzahlen angesetzt werden. Dabei wurde auch eine Differenzierung zwischen städtischem und ländlichem Umfeld betrachtet, um den Einfluss auf das Mobilitätsverhalten bzw. den Modalsplit sowie auf die Wohnungsgrößen zu berücksichtigen. Die Ergebnisse

haben gezeigt, dass bereits ein klimaneutraler Gebäudebetrieb mit den lokalverfügbaren Ressourcen für einen Großteil der betrachteten Fälle kaum zu realisieren ist.

Energetische Bewertung

Die energetische Bewertung der Gebäude und der dezentralen Versorgungskonzepte erfolgt mittels Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599:2018-09 [Beuth 2018-1] unter Verwendung von Standardnutzungsprofilen für Wohngebäude. Für die Variantenrechnung kommt das Fraunhofer IBP-eigene Batchtool zum Einsatz, das basierend auf dem am Fraunhofer IBP entwickelten Rechenkern zur DIN V 18599 eine leistungsstarke Reihenuntersuchung ermöglicht.

Für die Anlagendimensionierung werden, die vom Batchtool berechneten, jährlichen Endenergiebedarfe der Typgebäude unterteilt nach Energieträgern sowie die nach DIN V 18599-2, Anhang B berechnete Heizlast und die nach DIN V 18599-8 berechnete thermische Leistung für die Trinkwarmwasserbereitung verwendet. Die erforderliche Vorlauftemperatur für die Gebäudeheizung wird in Abhängigkeit der flächenspezifischen Heizlast des Gebäudes und der Art der Wärmeübertragung festgelegt (siehe Tabelle 4). Bei der Trinkwarmwasserbereitung mit zentralem Trinkwarmwasserspeicher wird eine Vorlauftemperatur von 67 °C angesetzt.

Tabelle 4:
Vorlauftemperatur für Gebäudeheizung in Abhängigkeit der Heizlast und der Art der Wärmeübergabe.

Heizlast [W/m²]	Vorlauftemperatur [°C] bei		
	Radiatoren	Luftheizung	Flächenheizung
> 120	90	90	-
> 80	70	70	-
> 50	55	55	55
> 30	55	55	45
≤ 30	45	45	35

<u>Wärmeschutz</u>

Um die Auswirkungen von baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle zu berücksichtigen, werden folgende vier Wärmeschutzniveaus betrachtet:

- **Bestand:** Mittleres Wärmeschutzniveau des unsanierten Gebäudebestands mit Bauteilkennwerten gemäß [BMWi 2015] für die

Baualtersklasse 1969 bis 1978 (entspricht der Baualtersklasse mit der größten Wohnfläche in Deutschland (vgl. [Cischinsky 2018])).

- **GEG-Ref:** Energetischer Standard des Referenzgebäudes nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) [Bundestag 2020].

- **EH 55:** Anforderungsniveau gemäß Bundesförderung für effiziente Gebäude an das KfW-Effizienzhaus 55 zum Zeitpunkt der Erarbeitung im November 2021 [KfW 2020].

- **EH 40:** Anforderungsniveau gemäß Bundesförderung für effiziente Gebäude an das KfW-Effizienzhaus 40 zum Zeitpunkt der Erarbeitung im November 2021 [KfW 2020].

Während bei Sanierungsvorhaben grundsätzlich alle vier energetischen Niveaus auftreten bzw. erreicht werden können, sind bei Neubauvorhaben nur die Wärmeschutzniveaus EH 55 und EH 40 von Relevanz. Die jeweils angesetzten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) können dem „Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere“ [Schrade 2022-1] entnommen werden.

Lüftungskonzept

Neben dem Wärmeschutzniveau der Gebäudehülle werden drei Lüftungskonzepte betrachtet:

- **Fensterlüftung (FL):** Alle Räume verfügen über einen Außenluftzugang über Fenster und werden ausschließlich über diese belüftet (Feuchteschutz und hygienischer Luftwechsel).

- **Abluftanlagen (AL):** Die Räume werden über Zuluftöffnungen in den Außenwänden belüftet, wobei die Abluftanlage in den Sanitärräumen für den notwendigen Antriebsdruck sorgt.

- **Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (ZL):** Die Räume werden mit Zu- und Abluft versorgt, wobei die Abluft im Lüftungsgerät über einen Wärmetauscher geführt wird und so die enthaltene Wärme auf die Zuluft übertragen wird. Der Rückwärmegrad wird mit 80 % angesetzt.

Um die Variantenzahl einzugrenzen, werden die Lüftungskonzepte in Abhängigkeit des Typgebäudes dem jeweiligen Wärmeschutzniveau zugeordnet. Die Zuordnung basiert auf einer Einschätzung der statistischen Relevanz unterschiedlicher Kombinationen in der gebauten Realität. Die untersuchten Kombinationen sind in der nachstehenden Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5:
Zuordnung der Lüftungskonzepte zu den Wärmeschutzniveaus in Abhängigkeit des Typgebäudes. (EFH = Einfamilienhaus, RH = Reihenhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, GMH = großes Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus).

Wärmeschutzniveau	Typgebäude				
	EFH	RH	MFH	GMH	HH
Bestand	FL	FL	FL	AL	AL
GEG-Ref	FL	FL	FL	AL	AL
EH 55	FL	FL	AL	AL	AL
EH 40	ZL	ZL	ZL	ZL	ZL

Klimadaten

Es werden 3 Klimaregionen betrachtet, an denen sich die unterschiedlichen klimatischen Herausforderungen in Deutschland veranschaulichen lassen. Gewählt wurden hierfür folgende Klimaregionen:

- Gemäßigtes Klima, mittlere Solarstrahlung: Potsdam (Klimaregion 4)
- Kaltes Klima, geringe Solarstrahlung: Fichtelberg (Klimaregion 11)
- Mildes Klima, hohe Solarstrahlung: Mannheim (Klimaregion 12)

Die mögliche Auswahl wurde bewusst eingeschränkt und enthält neben dem Referenzklima Deutschland (Standort Potsdam) einen ungünstigen Standort mit kaltem Winter und geringer Solarstrahlung (Fichtelberg) und einen günstigen Standort mit mildem Winter und hohem Strahlungsangebot (Mannheim).

Die Versorgungskonzepte werden auf Basis von Investitionskosten, Energiekosten, Kompensationskosten und dem Ertrag aus der Stromerzeugung einer Wirtschaftlichkeitsbewertung unterzogen. Zusätzlich erfolgt eine qualitative Bewertung der Versorgungskonzepte anhand sogenannter „weicher“ Faktoren nach folgenden Gesichtspunkten:

- Zukunftsfähigkeit (potenzieller Lock-in)
- Erweiterbarkeit
- Klimaanpassung
- Umsetzbarkeit
- Übertragbarkeit

- Resilienz gegenüber dem Klimawandel
- Netzdienlichkeit

Auf eine rechnerische Bewertung der Netzdienlichkeit auf Basis von Verbraucher- und Erzeugerlastprofile unter Ansatz der deutschen Großhandelsstrompreises an der Strombörse wird verzichtet, um die Komplexität des Rechenmodells möglichst gering zu halten und so eine gute Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Kostenkennwerte

Für die monetäre Bewertung der Versorgungskonzepte wurden Kostenwerte für Investitionen, Energieverbrauch, Kompensation und Stromertrag ermittelt. Die Investitionskosten setzen sich zusammen aus den energetisch bedingten Kosten für bauliche Maßnahmen an der Gebäudehülle und technischen Maßnahmen an der Lüftungstechnik, aus den Kosten für den Aufbau einer zentralen oder dezentralen Wärmeversorgung sowie den Kosten für die Installation von Photovoltaik (Investorensicht). Hierfür wurden Kostenkennwerte aus einschlägigen Veröffentlichungen verwendet (z. B. [BBSR 2017], [Hinz 2015])

Die Energiekosten umfassen alle Kosten, welche für die Deckung des Energiebedarfs in den Gebäuden des Wohnquartiers anfallen und durch die Bewohner zu tragen sind (Bewohnersicht). Hierzu zählen der Wärmebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser sowie der Strombedarf für den Gebäudebetrieb und der Haushaltsstrom. Die Energiekosten sind aus den Energiedaten des BMWK [BMWK 2022] entnommen. Für Biomasse wurde auf die Statistik von CARMEN e.V. [CARMEN 2022] zurückgegriffen. Die Vergütung von eingespeistem Strom entspricht den Vergütungssätzen gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) [BMJ 2024].

Die notwendigen externen Treibhausgaskompensationsmaßnahmen, die nach Abzug der vor Ort erzeugten regenerativen Energien übrigbleiben, werden durch den Bewertungsfaktor Kompensationskosten beschrieben. Die angesetzten Kompensationskosten in Höhe von 220 €/$t_{CO2\text{-}Äq.}$ orientieren sich an den Empfehlungen des Umweltbundesamts zu den Klimakosten für das Jahr 2030 bei einer Diskontierungsrate von 1 % [UBA 2022].

Die jährlichen Gesamtkosten verstehen sich als volkswirtschaftliche Betrachtung. Hierfür werden die Investitionskosten über die Nutzungsdauer der jeweiligen Bauteile linear abgeschrieben (baulich 40 Jahre, technisch 20 Jahre) und mit den Energie- und Kompensationskosten aufsummiert sowie die Erträge aus dem Stromverkauf (Eigenverbrauch und Einspeisung) abgezogen.

2.5.3 Ergebnisse

Versorgungskonzepte

Die angedachten Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung, die auch den von den Gebäudenutzerinnen und -nutzern verbrauchten Strom beinhaltet, umfassen 9 zentrale Lösungsansätze (6 mit warmer Nahwärme und 3 mit kalter Nahwärme, d. h. gebäudeweise Aufstellung von Wärmepumpen), 12 dezentrale Energieversorgungskonzepte sowie 2 quartiersübergreifende Varianten mit Fernwärme. Eine ausführliche Beschreibung der zentralen und dezentralen Versorgungskonzepte kann dem „Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere“ [Schrade 2022-1] entnommen werden. Dort wird auch auf die Vor- und Nachteile zentraler Versorgungskonzepte eingegangen.

In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die dezentralen und zentralen Lösungsansätze dargestellt, welche im Hinblick auf die Klimaneutralität bewertet werden. Die in Tabelle 7 dargestellten zentralen Lösungsansätze verfügen über einen zentralen Wärmeerzeuger und/oder eine zentrale Wärmequelle im Wohnquartier und unterscheiden sich damit von den in Tabelle 6 dargestellten dezentralen Lösungsansätzen. Diese verfügen immer über einen dezentralen Wärmeerzeuger und eventuell eine dezentrale Wärmequelle.

Tabelle 6:
Übersicht der dezentralen (gebäudeweisen) Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung von Wohnquartieren.

Wärmeerzeuger	Erneuerbare Wärmequelle	Spitzenlasterzeuger
Luft-Wasser-Wärmepumpe	Außenluft	elektrische Heizpatrone
Sole-Wasser-Wärmepumpe	PVT-Kollektor	
Sole-Wasser-Wärmepumpe	Erdwärmesonde	
Wasser-Wasser-Wärmepumpe	Grundwasser	
Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie	Solar	
Gas-Brennwertkessel mit Abluft-Wärmepumpe	Abluft	
Biomassekessel	Biomasse	
Biomassekessel mit Solarthermie	Biomasse und Solar	
Gas-BHKW	-	Gas-Brennwertkessel
Brennstoffzelle	-	Gas-Brennwertkessel
Fernwärmeanschluss	-	

Tabelle 7:
Übersicht der bewerteten zentralen Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung von Wohnquartieren

Wärmeerzeuger	Aufstellort	Erneuerbare Wärme-quelle	Spitzenlasterzeuger
Sole-Wasser-Wärmepumpe	zentral	Erdwärmesonde	
Sole-Wasser-Wärmepumpe	zentral	Agrothermie	
Sole-Wasser-Wärmepumpe	zentral	Abwasser	
Gas-BHKW und Solarthermie mit saisonalem Wärmespeicher	zentral	Solar	Gas-Brennwertkessel
Biomasse-BHKW	zentral	Biomasse	Biomasse-Kessel
Biomasse-Kessel und Solarther-mie mit saisonalem Wärmespei-cher	zentral	Biomasse und Solar	
Sole-Wasser-Wärmepumpe	dezentral	Kalte Nahwärme (Erdsonden)	
Sole-Wasser-Wärmepumpe	dezentral	Kalte Nahwärme (Erdkollektoren)	
Sole-Wasser-Wärmepumpe	dezentral	Kalte Nahwärme (Abwasser)	

Im Hinblick auf die Entwicklung eines Leitfadens wurde die Anzahl möglicher Versorgungskonzept bewusst reduziert. Grundsätzlich sind auch Kombinationen von verschiedenen Versorgungkonzepten denkbar. Insbesondere im Neubau von kleinen Wohngebäuden sind auch Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdkollektoren vorzufinden, die im Leitfaden gemeinsam mit Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdsonden betrachtet werden.

Die Solarthermie kann sowohl zur Trinkwarmwasserbereitung als auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden. Hierbei ist aber die Flächenkonkurrenz zur Photovoltaik zu berücksichtigen. Eine Kombination von Fernwärme und Solarthermie ist grundsätzlich möglich, allerdings ergibt sich ein Zielkonflikt, da die fehlende Wärmeabnahme in den Sommermonaten die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung erheblich beeinträchtigt. Daher wird im Folgenden diese Möglichkeit nicht weiter betrachtet.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, neue oder bestehende Wohnquartiere an die bereits vorhandene quartiersübergreifende Fernwärme anzuschließen. Dabei können die Gebäude entweder einzeln an die Fernwärme angeschlossen werden (dezentrales Versorgungskonzept) oder die Fernwärme dient als Wärmeerzeuger für ein Quartiersnetz. Je nach Art der Wärmeerzeugung verursacht die Fernwärme unterschiedliche

Treibhausgasemissionen. Es wird vereinfacht zwischen konventioneller Fernwärme und klimaneutraler Fernwärme unterschieden.

Siedlungstypologie

Die Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung sollen auf unterschiedliche Wohnquartiere angewendet werden können. In der Literatur finden sich verschiedene Quellen für Siedlungstypologien in Deutschland. Die erste großangelegte Kategorisierung von Siedlungen stammt vom Ende der 70er Jahre [Roth 1980]. Darin wurden 9 Siedlungstypen (ST) definiert, deren charakteristische Kennzahlen, wie z. B. die Grundflächenzahl, das A/V-Verhältnis und die Geschosszahl, ermittelt wurden, siehe Bild 23.

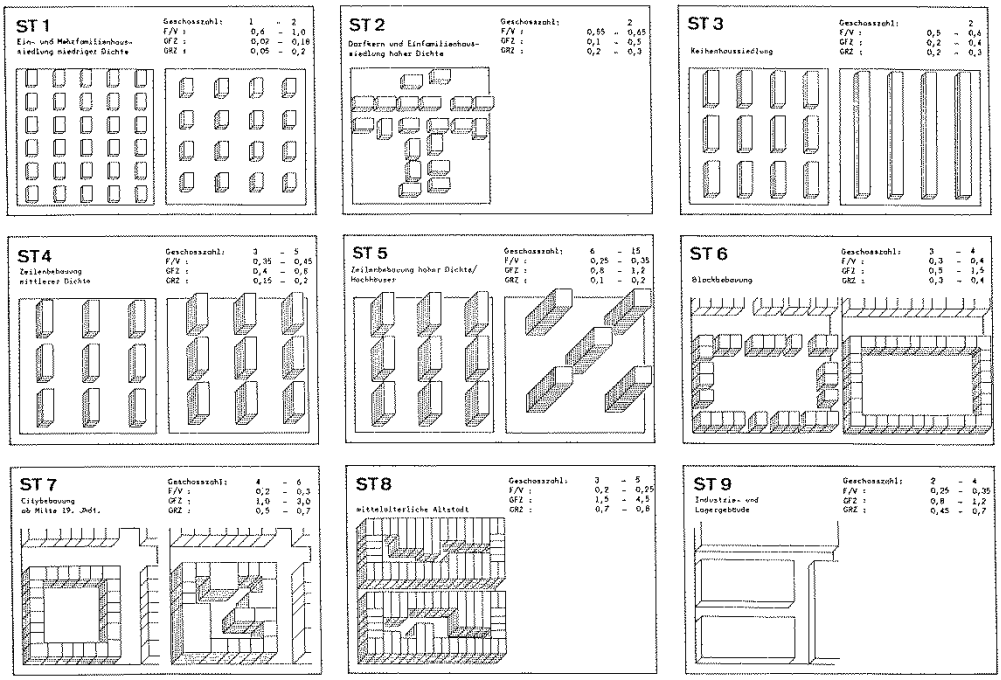


Bild 23:
Siedlungstypen nach [Roth 1980].

In den folgenden Jahren erschienen, aufbauend auf dieser Vorarbeit, weitere Siedlungstypologien (z. B. [Winkens 1994], [Blesl 2002], [Everding 2007]). Aktuellere Arbeiten zur Typologisierung von Quartieren stammen aus dem Jahr 2014, die die Siedlungsstrukturen anhand von 10 energetischen Stadtraumtypen für Siedlungsräume und 9 für Freiräume beschreiben (vgl. [Hegger 2014].

Die Sichtung und Auswertung der verschiedenen Siedlungstypologien hat ergeben, dass die Ansätze von [Blesl 2002] sowohl hinsichtlich Anwendbarkeit aufgrund des Flächenbezugs und hinsichtlich Nachvollziehbarkeit aufgrund der Verknüpfung mit der etablierten und gut dokumentierten IWU-Gebäudetypologie [Loga 2015] am besten geeignet ist, um ein Rechenmodell auf Basis von Siedlungstypen zu erstellen. Zudem sind Angaben zu

Straßenmerkmalen vorhanden, welche bei zentralen Energieversorgungskonzepten die Grobauslegung von Rohrleitungslängen von Nah- und Fernwärmekonzepten ermöglichen.

Die Siedlungstypen von [Blesl 2002] mit überwiegender Wohnnutzung (ST 2 bis ST 8) können vereinfacht über baualtersübergreifende Typgebäude abgebildet werden, sodass auf eine ggf. aufwändige Erfassung der Baujahre und deren komplexe Abbildung im Leitfaden verzichtet werden kann. Die Verteilung der Typgebäude innerhalb eines Siedlungstyps kann Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8:
Prozentualer Anteil der Gebäudetypen an den betrachteten Siedlungstypen (ST). Zusammengefasst nach [Blesl 2002]. (EFH = Einfamilienhäuser, RH = Reihenhäuser, MFH = Mehrfamilienhäuser, GMH = große Mehrfamilienhäuser, HH = Hochhäuser, Verwaltung = Verwaltungsgebäude, Verkauf = Verkaufsgebäude).

	ST 1	ST 2	ST 3a	ST 3b	ST 4	ST 5a	ST 5b	ST6	ST 7a	ST 7b	ST 8
	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	Einfamilienhäuser- und Doppelhäuser-Siedlung	Städtischer Dorfkern	Ländlicher Dorfkern	Reihenhäuser	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern	Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilien- oder Hochhäusern	Blockbebauung niedriger Dichte	Blockbebauung hoher Dichte	Citybebauung
EFH	100 %	100 %	75 %	70 %							
RH					100 %						
MFH			25 %	30 %		100 %	50 %		30 %	20 %	20 %
GMH							50 %		70 %	80 %	50 %
HH								100 %			
Verwaltung											10 %
Verkauf											20 %

Für die verschiedenen Siedlungstypen sind in [Blesl 2001] ausführliche Informationen verfügbar, welche herangezogen werden können, um sowohl die Bebauung als auch eine leitungsgebundene Versorgung abzubilden. Die verfügbaren Kenndaten sind beispielhaft in Tabelle 9 für den Siedlungstyp 5b dargestellt.

Tabelle 9:
Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 5b pro km² Siedlungsfläche. Auszug aus [Blesl 2001]. (MFH = Mehrfamilienhäuser, GMH = große Mehrfamilienhäuser).

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	MFH und GMH
	Baujahre	1948-65
	Gebäudegrundfläche	87 - 210 m²
	Ø Gebäudegrundfläche	156
	Anzahl der Gebäude	1172
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	2 - 32 m
	Ø Abstand zwischen Gebäude und Straße	9 m
Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen	32 - 135 m
	Ø Abstand zwischen parallelen Straßen	84 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	52 - 338 m
	Ø Abstand zwischen Kreuzungen	165 m
	Gesamtlänge der Straßen	17.725 m

Darüber hinaus gibt [Blesl 2002] die mittlere Größe und Häufigkeit des Vorkommens der jeweiligen Siedlungstypen in einer mittelgroßen Stadt an. Die für Wohnquartiere relevanten Siedlungstypen mit dem größten prozentualen Anteil an der Gesamtfläche bzw. mit der größten Relevanz sind im Folgenden beschrieben:

- ST 2: Einfamilienhäuser- und Doppelhäuser-Siedlung mit einem prozentualen Anteil an der gesamten Siedlungsfläche einer mittelgroßen Stadt von 18,5 % und einer durchschnittlichen Siedlungsfläche von 7,5 ha.

- ST 4: Reihenhaussiedlung mit einem prozentualen Anteil an der gesamten Siedlungsfläche einer mittelgroßen Stadt von 2,4 % und einer durchschnittlichen Siedlungsfläche von 2,7 ha.

- ST 5b: Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern mit einem prozentualen Anteil an der gesamten Siedlungsfläche einer mittelgroßen Stadt von 18,0 % und einer durchschnittlichen Siedlungsfläche von 5,7 ha.

- ST 6: Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern mit einem prozentualen Anteil an der gesamten Siedlungsfläche einer mittelgroßen Stadt von 3,8 % und einer durchschnittlichen Siedlungsfläche von 4,6 ha.

- ST 7a: Blockbebauung niedriger Dichte mit einem prozentualen Anteil an der gesamten Siedlungsfläche einer mittelgroßen Stadt von 3,5 % und einer durchschnittlichen Siedlungsfläche von 9,5 ha.

Gebäudemodelle

Für die Erstellung geometrischer Gebäudemodelle werden baualtersübergreifende Typgebäude gebildet. Basis hierfür ist die Gebäudetypologie nach [Loga 2015], die den deutschen Wohngebäudebestand in Einfamilienhäuser (EFH), Reihenhäuser (RH), kleine Mehrfamilienhäuser (MFH), große Mehrfamilienhäuser (GMH) und Hochhäuser (HH) einteilt und für unterschiedliche Baualtersklassen baualterstypische Beispielgebäude beschreibt.

Typische prozentuale Anteile von Baualtersklassen innerhalb eines Siedlungstyps sind in [Blesl 2002] dargestellt. Die dort beschriebene Verteilung der Baualtersklassen deckt sich, auch bedingt durch die fortschreitenden Veränderungen im Gebäudebestand, nicht mit aktuellen Zahlen über den Wohngebäudebestand in Deutschland (vgl. [Loga 2015]). Deshalb wird für die Modellierung der Siedlungstypen auf die Verteilung der Gebäude nach Baujahren im Wohngebäudebestand von Deutschland nach [Loga 2015] zurückgegriffen. Für Gebäude mit Baujahr nach 2009 werden statistische Daten aus [destatis 2019] herangezogen. Da für Wohnhochhäuser (HH) keine Baualtersverteilung vorliegt, wird diese analog zu den großen Mehrfamilienhäusern (GMH) angesetzt, siehe Tabelle 10.

Tabelle 10:
Prozentuale Verteilung der Wohnfläche in Abhängigkeit des Baualters und Wohngebäudetyps.

	EFH	RH	MFH	GMH	HH
bis 1860	2,9 %	2,7 %	1,3 %	0,2 %	0,2 %
1861-1918	8,4 %	8,9 %	13,2 %	11,8 %	11,8 %
1919-1948	9,3 %	11,8 %	10,5 %	2,6 %	2,6 %
1949-1957	7,2 %	7,5 %	10,1 %	5,6 %	5,6 %
1958-1968	13,5 %	10,9 %	18,2 %	15,5 %	15,5 %
1969-1978	14,5 %	11,4 %	13,7 %	28,5 %	28,5 %
1979-1983	6,8 %	6,5 %	5,2 %	7,2 %	7,2 %
1984-1994	11,0 %	12,2 %	10,8 %	11,4 %	11,4 %
1995-2001	9,8 %	11,5 %	8,4 %	8,4 %	8,4 %
2002-2009	7,4 %	7,5 %	3,2 %	3,4 %	3,4 %
2010-2015	7,8 %	7,8 %	4,0 %	4,0 %	4,0 %
ab 2016	1,4 %	1,4 %	1,4 %	1,4 %	1,4 %

Auf Basis dieser prozentualen Verteilung der Wohnfläche je Baualtersklasse wird für jeden Wohngebäudetyp ein generisches, mittleres Geometriemodell auf Basis der IWU-Gebäudetypologie ermittelt. Anschließend wird zu jedem Wohngebäudetyp aus der IWU-Gebäudetypologie ein baualtersspezifisches Typgebäude ausgewählt, welches dem generischen, mittleren Geometriemodell des jeweiligen Wohngebäudetyps am nächsten kommt. Die Ergebnisse der so berechneten generischen, baualtersübergreifenden, mittleren

Typgebäude und der dazu am besten passenden Gebäude aus dem Gebäudekatalog von [Loga 2015] sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11:
Darstellung der generische Typgebäude (EFH_gen, RH_gen, MFH_gen, GMH_gen, HH_gen) und die am besten dazu passenden Gebäude aus [Loga 2015] für die Verwendung als baualtersunabhängiges Typgebäude.

Gebäudetyp	Bezeichnung	Nettogrundfläche NGF [m²]	Beheiztes Gebäudevolumen V_{beh} [m³]	Oberste Geschossdecke/ Dach OG [m²]	Opake Außenwand AW [m²]	Fenster FE [m²]
EFH	EFH_gen	166	607	139	179	32
	EFH_F	158	606	183	178	34
RH	RH_gen	129	450	68	77	24
	RH_C	113	423	50	64	21
MFH	MFH_gen	1116	3772	379	811	189
	MFH_G	654	2040	248	447	99
GMH	GMH_gen	2850	9139	480	1898	452
	GMH_F	3322	9805	540	2130	545
HH	HH_gen	11573	39481	825	7600	1725
	NBL_HH_F	5276	18405	598	2992	756

Heizkurve

Für die baualtersübergreifenden Typgebäude werden Heizkurven erstellt, um bei elektrisch angetriebenen Wärmeerzeugern einen Eigenstromnutzungsgrad und die Netzdienlichkeit zu ermitteln. Die Berechnung der Heizkurven erfolgt mittels thermischer Gebäudesimulation mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Hierzu wurden 3D-Modelle der baualtersübergreifenden Typgebäude angefertigt (siehe Bild 24).

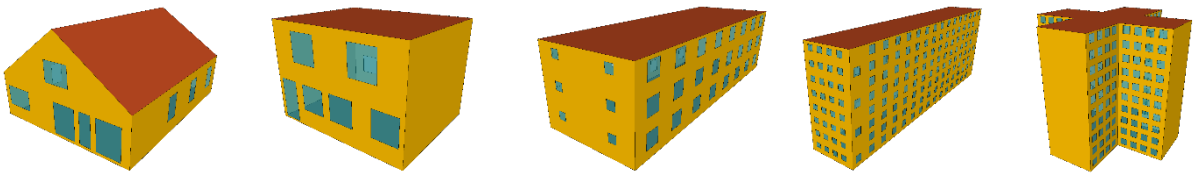


Bild 24:
Darstellung der 3D-Modelle für die ausgewählten baualtersübergreifenden Wohntypgebäude EFH, RH, MFH, GMH und HH (von links nach rechts).

Da die Heizkurven von Wohngebäuden, abgesehen von der Kubatur, auch von der Baualtersklasse, den klimatischen Bedingungen sowie von der Art der Lüftung abhängen, wurde eine Parameterstudie durchgeführt. Die betrachteten Varianten des Wärmeschutzes sind in Tabelle 12 dargestellt .

Tabelle 12:
Darstellung der für die Berechnung der Heizkurve variierten Wärmeschutzniveaus.

Baualtersklasse	BAK1	BAK2	BAK3	BAK4	BAK5	BAK6	BAK7	BAK8	BAK9
Baujahre von	1900	1949	1969	1984	1995	2007	2016	NZEB	PH
Baujahre bis	1948	1968	1983	1994	2006	2015	20XX		
U-Wert opake Außenwand [W/m²K]	1,7	1,4	0,90	0,60	0,50	0,25	0,2	0,17	0,11
U-Wert Fenster [W/m²K]	2,7	2,7	2,7	2,7	1,8	1,3	1,0	0,9	0,8
g-Wert Verglasung [-]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,65	0,65	0,65	0,55	0,53
U-Wert Dach [W/m²K]	1,4	1,4	0,70	0,40	0,30	0,20	0,15	0,13	0,07
U-Wert Decke unbeheizter Dachstuhl [W/m²K]	2,1	2,1	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15	0,13	0,07
U-Wert Kellerdecke [W/m²K]	1,2	1,0	0,90	0,60	0,60	0,30	0,25	0,21	0,12
Luftdichtheit 50 Pa Druckdifferenz [1/h]	6	6	6	6	3	2	1	1	1
Wärmebrückenzuschlag [W/m²K]	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,02

Bei der Belüftung der Gebäude hat insbesondere die Effizienz der Wärmerückgewinnung einen Einfluss auf die Heizkurve. In der Parameterstudie wird zwischen Lüftung durch manuelles Fensteröffnen und Zu- und Abluftanlagen mit 45 % / 60 % / 75 % / 85 % Wärmerückgewinnung unterschieden.

Aus der Kombination der möglichen Variationen aus Wohngebäudetyp (5 Stück), Baualtersklassen (9 Stück), Wetterdatensätze (15 Stück) und Lüftungsarten (5 Stück) ergeben sich 3.375 Heizkurven.

Auslegung der Wärmeerzeuger

Die Auslegung der Wärmeerzeuger erfolgt zuerst gebäudeweise und wird dann ggf. auf zentrale Erzeuger unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit übertragen. Hierbei wird in einem ersten Schritt die maximale Heizlast der einzelnen Gebäude nach DIN V 18599-2:2018-09 Anhang B [Beuth 2018-1] berechnet. Die Auslegung des Wärmeerzeugers für die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt gebäudeweise anhand nach DIN V 18599-8 [Beuth 2018-1]. Es wird davon ausgegangen, dass das Trinkwarmwasser für alle Wohngebäude im Vorrangbetrieb bereitgestellt wird. Somit ergibt sich die notwendige Erzeugergröße aus dem Maximum von benötigter Heizleistung und der Trinkwarmwasserleistung.

Gleichzeitigkeit

Die Dimensionierung der zentralen Wärmeerzeuger erfolgt unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs. Die Gleichzeitigkeitsfaktoren werden gemäß [Winter 2001] mit folgender Gleichung berechnet:

$$GLF(n) = a + \frac{b}{1 + \left(\frac{n}{c}\right)^{d}}$$

Dabei entspricht die Variable n der Anzahl der Abnehmer im Wärmenetz und a = 0,4497, b = 0,5512, c = 53,8438 und d = 1,7627 Parametern der Näherungsfunktion. Eine graphische Darstellung der Näherungsfunktion kann Bild 25 entnommen werden.

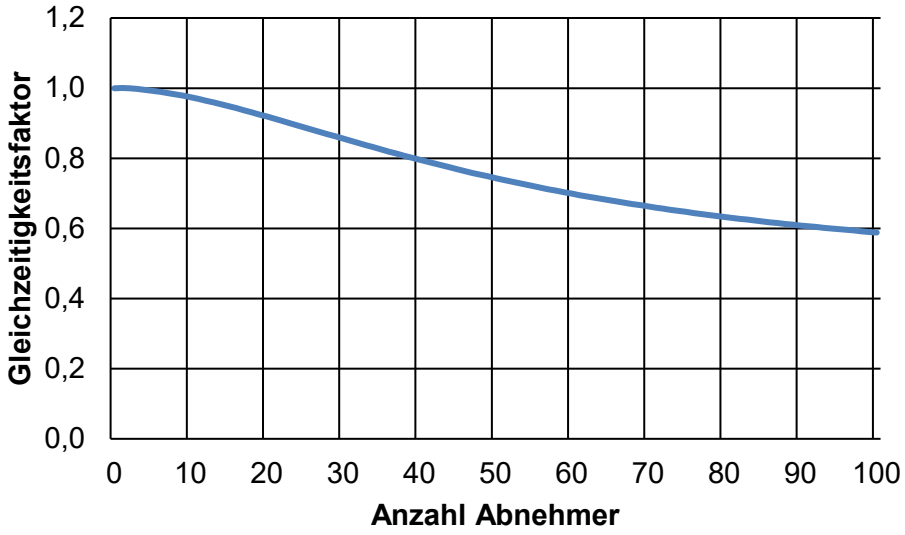


Bild 25:
Graphische Darstellung der Näherungsfunktion zur Berechnung des Gleichzeitigkeitsfaktors.

Um zu verhindern, dass die Gleichzeitigkeit überbewertet wird, wenn ein Großwärmeverbraucher (z. B. Typgebäude HH) zusammen mit mehreren Kleinwärmeverbrauchern (z. B. Typgebäude EFH) an einem Wärmenetz angeschlossen ist, wird die Gleichzeitigkeit für unterschiedliche Gebäudekategorien separat bestimmt. Die Aufteilung der Gruppen erfolgt dabei anhand der erforderlichen Wärmeleistung der Gebäude (vgl. [Winter 2001]).

Zentrale Wärmeerzeuger

Für die energetische Bewertung der klimaneutralen Energiekonzepte müssen die verwendeten Wärme-, Kälte und Energieerzeuger abgebildet werden. Dies erfolgt anhand der in der Normenreihe DIN V 18599:2018-09

[Beuth 2018-1] festgelegten Berechnungsregeln im Monatsbilanzverfahren. In der Normenreihe nicht hinterlegte Erzeuger werden über eigene bzw. an die Norm angelehnte Berechnungsverfahren bewertet. Diese sind in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

Holzvergaser mit Holzgas-BHKW

Gemäß marktverfügbarer Holzvergasungsanlagen beträgt der Gesamtwirkungsgrad für die Kaltgasherstellung (entspricht dem Holzgas-Output) sowie für auskoppelbare Wärme (zwischen 80 - 85 °C) insgesamt 92 %. Um entsprechenden An- und Abfahrverlusten gerecht zu werden, wird der angesetzte Wirkungsgrad um 4 % auf 88 % reduziert. Die Leistungsmerkmale von marktverfügbaren Holzgas-BHKWs ergeben für die Stromkennzahl des BHKWs vergleichbare Werte, wie nach DIN V 18599-9:2018-09 in Tabelle 6 angegeben. Auch der in der Norm angegebene Nutzungsgrad von 0,87 des BHKWs deckt sich mit Herstellerangaben. Deshalb können in guter Näherung die Berechnungsvorschriften der DIN V 18599-9:2018-09 für die Modellierung des Holzgas-BHKWs herangezogen werden. Der berechnete Endenergiebedarf des BHKWs (brennwertbezogen) $Q_{f,CHP,a}$ in [kWh] wird umgerechnet auf einen heizwertbezogenen Endenergiebedarf ($f_{Hs/Hi}$ = 1,11 für Erdgas) in [kWh]:

$$Q_{f,CHP,a,Hi} = \frac{Q_{f,CHP,a}}{f_{Hs/Hi}}$$

Der sich ergebende heizwertbezogene Endenergiebedarf des BHKWs $Q_{f,CHP,a,Hi}$ wird durch den anzusetzenden Wirkungsgrad des Holzvergasers (η_{HV} = 0,88) geteilt, um den Heizwert der dem Holzvergaser zugeführten Holzhackschnitzel (HHS) in [kWh] zu ermitteln:

$$Q_{f,HHS,a,Hi} = \frac{Q_{f,CHP,a,Hi}}{\eta_{HV}}$$

Zentrale Abwasserwärmerückgewinnung

Die Abbildung einer zentralen Abwasserwärmerückgewinnung in einem städtischen Abwasserkanal wird in Anlehnung an die DIN V 18599-5:2018-09 umgesetzt. Die Norm enthält bereits ein Berechnungsverfahren für Wärmepumpenanlagen mit den Wärmequellen Sole, Sonden, Kollektoren und Grundwasser. Dabei werden die unterschiedlichen Wärmequellen über deren monatlich mittlere Quellentemperatur definiert. Die Wärmepumpenanlage ist bei der Nutzung von Abwasserwärmerückgewinnung als Wärmequelle vergleichbar mit den anderen Wärmequellen. Für die Quellentemperaturen

werden Messdaten von Messungen am Belebungsbecken des Stuttgarter Hauptklärwerks [Görres 2017] herangezogen.

Solarthermiefeld

Auf Basis von Wärmebedarfsprofilen der untersuchten Siedlungstypen werden im Tool „ScenoCalc Fernwärme“ [Solites 2017] Ertragsberechnungen für Solarthermiefelder anhand Testreferenzjahrwetterdaten (TRY-Wetterdaten) des DWD von 2011 [BBSR 2011] durchgeführt. Die Auslegung der Solarthermie erfolgt nach [Heidemann 2005] mit 2,4 m² Flachkollektorfläche pro MWh/a Wärmebedarf und 2,1 m³ Wasserspeichervolumen pro Quadratmeter Kollektorfläche. Als Kollektor wird ein Flachkollektor des Typs GK 3803 S von GREENoneTEC Solarindustrie GmbH eingesetzt. Die Kollektoren verfügen dabei über eine Neigung von 35° nach Süden ohne Nachführung. Als Wärmeträgermedium wird ein Wasser-Glykol-Gemisch verwendet. Pro Kollektor wird eine oberirdische Verbindungsrohrleitungslänge von 0,3 m veranschlagt. Die Grädigkeit des Solarkreis-Wärmetauschers wird mit 5 K angesetzt. Zwischen Speicher und Wärmenetz wird auf einen Wärmetauscher verzichtet. Der sich aus „Sceno-Calc Fernwärme“ ergebende solare Wärmeeintrag ins Netz wird berücksichtigt und durch die zusätzlichen Wärmeerzeuger ergänzt, um den vollständigen Wärmebedarf des Wohnquartiers zu jeder Zeit zu decken.

Agrothermiefeld

Die Dimensionierung der Erdwärmekollektoren eines Agrothermiefelds erfolgt auf Basis der Arbeiten von [Ramming 2007]. Dort werden die optimalen Verlegeabstände und damit erreichbaren Entzugsleistungen in Abhängigkeit vom Anlagenstandort und der Bodenart ermittelt. Vereinfachend wird Lehm als Bodenart angesetzt, was einer mittleren Entzugsleistung entspricht. Die angesetzten Verlegeabstände und Entzugsleistungen und die sich daraus ergebenden Rohrleitungslängen je Quadratmeter Erdkollektor können Tabelle 13 entnommen werden.

Tabelle 13:
Optimaler Verlegeabstand, erreichbare Entzugsleistung und daraus resultierende Rohrlänge pro Quadratmeter Kollektorfläche in Abhängigkeit der Klimazone für die Bodenart Lehm.

Klimazone	Entzugsleistung [W/m²]	Rohrabstand [m]	Rohrlänge [m/m²]
4 – Potsdam	33	0,56	1,80
11 – Fichtelberg	9	1,00	1,01
12 – Mannheim	41	0,45	2,23

Großwärmepumpe

Für die Modellierung von Großwärmepumpen wird die Leistungszahl (COP) in Abhängigkeit des Temperaturhubs nach [Arpagaus 2019] gemäß folgender Gleichung berücksichtigt:

$$COP_H = 68{,}455 \times \Delta T_{Hub}^{-0{,}76}$$

COP_H: Leistungszahl im Heizfall [-]

ΔT_{Hub}: Temperaturhub von Wärmequelle zu Wärmesenke [K]

Diese Berechnungsformel beruht auf Herstellerangaben, die unter Laborbedingungen gemessen wurden. Zur Anpassung an reale Betriebsbedingungen werden die mit der Formel ermittelten Leistungszahlen auf Basis der Wärmepumpen-Feldstudie nach [Miara 2011] im Vergleich zu Prüfstandsdaten korrigiert. Der Strombedarf für die Quellenpumpen wird als prozentualer Anteil am Strombedarf der Wärmepumpen mit 4,8 % für Sole-Wasser-Wärmepumpen und 11,4 % für Wasser-Wasser-Wärmepumpen angesetzt (vgl. [Miara 2011]).

Wärmenetz

Netzlänge

Die Modellierung von Wärmenetzen erfolgt auf Basis siedlungstypspezifischer Merkmale als Zweileiternetz. Da die Hauptverteilleitung von Wärmenetzen üblicherweise entlang von bestehenden Straßen verlegt werden, kann die Trassenlänge der Hauptverteilleitung aus der Gesamtlänge der Straßen im Betrachtungsgebiet abgeleitet werden (vgl. [Fischedick 2007]).

Die Länge der Hausanschlussleitungen kann über den mittleren Abstand zwischen Gebäude und Straße ermittelt werden.

In [Blesl 2002] sind für die unterschiedlichen Siedlungstypen die Straßenlängen pro Quadratkilometer Siedlungsfläche und der mittlere Abstand der Gebäude zur Straße hinterlegt. Zur Vereinfachung der Bestimmung der Netzlänge wird angesetzt, dass die Gesamtlänge der Straßen im Quartier der Trassenlänge (1 m Trassenlänge = 1 m Vorlaufleitung + 1 m Rücklaufleitung) des Wärmenetzes entspricht. Die Bestimmung der Länge der Hausanschlussleitungen erfolgt über den Abstand der Gebäude zur Straße, wobei dieser als Trassenlänge für die Hausanschlussleitungen festgelegt wird.

Somit können die notwendigen Netzlängen (Verteilnetz und Hausanschlussleitungen) über die Kennwerte eines Siedlungstyps im betrachteten Quartier abgebildet werden. Aus der Multiplikation der Siedlungsflächen [km²] und der in der Siedlungstypologie hinterlegten Kennzahlen für die Straßenlängen (vgl. Tabelle 14) ergibt sich die Wärmenetzlänge. Die Gesamtlänge der Hausanschlussleitungen wird berechnet anhand der Anzahl an das Wärmenetz angeschlossener Gebäude und der Länge des Hausanschlusses in Abhängigkeit des Siedlungstyps.

Tabelle 14:
Kenndaten zu Leitungslängen anhand der Siedlungstypologien aus [Blesl 2002].

Siedlungstyp	Hausanschluss [m/Geb.]	Trassenlängen [m/km²]
ST 1 - Lockere offenen Bebauung (Streusiedlung)	17,5	16.931
ST 2 - Einfamilienhäuser- und Doppelhaussiedlung	7,2	21.839
ST 3 - Dorfkern	3	19.998
ST 4 - Reihenhäuser	6,4	30.380
ST 5a - Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	7	27.564
ST 5b - Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern	9	17.725
ST 6 - Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilien- oder Hochhäusern	16,8	17.341
ST 7a - Blockbebauung niedriger Dichte	4	25.994
ST 7b - Blockbebauung hoher Dichte	4	22.385
ST 8 - Citybebauung	5,5	24.035
ST 9 - Historische Altstadt	3	28.062
ST 10a - Öffentliche Sonderbauten (groß)	20	11.540
ST 11b - Gewerbliche Sonderbauten	25	8.547

Setzt sich ein Quartier aus mehreren Siedlungstypen zusammen, so kann eine mittlere Hausanschlusslänge in Relation zu den eingetragenen Siedlungsflächen ermittelt sowie die siedlungstypspezifischen Wärmenetzlängen

aufsummiert (vgl. Tabelle 15) werden. Die Berechnung der Länge aller Hausanschlussleitungen $L_{NWN,HA}$ erfolgt aus der Multiplikation der mittleren Hausanschlusslänge und der Anzahl der ans Wärmenetz angeschlossenen Gebäude. Im Leitfaden ist eine Kombination von Siedlungstypen nicht vorgesehen, aber im darauf aufbauenden Tool „Klimaneutral Easy“ (vgl. Kapitel 2.13) möglich.

Tabelle 15:
Beispielhafte Berechnung der Trassenlänge und der mittleren Hausanschlusslänge in einem Quartier mit zwei verschiedenen Siedlungstypen.

Siedlungstyp	Siedlungsfläche [km²]	Trassenlänge [m/km²]	Länge Hausanschluss [m]
ST 2 - Einfamilienhäuser- und Doppelhaussiedlung	0,4	21.839	7,2
ST 8 - Citybebauung	0,2	24.035	5,5
Mittlere Länge Hausanschluss im Quartier [m]: 0,4/(0,4+0,2)*7,2+0,2/(0,4+0,2)*5,5 = 6,63			
Trassenlänge im Quartier [m]: 0,4*21.839+0,2*24.035 = 9.216			

Rohrdimensionierung

Die Rohrdimensionierung des Wärmenetzes erfolgt vereinfachend mit dem Ziel einen Druckverlust von 100 Pa/m (vgl. [Dötsch 1998]) inklusive Formstücke zu erreichen. Dabei wird von Druckverlusten aus den Rohrleitungen von 80 % und aus den Formstücken von 20 % ausgegangen (vgl. [Isoplus 2012]). Hierfür müssen die Rohrdurchmesser des Wärmenetzes in Abhängigkeit der zu deckenden Leistung gewählt werden. Da das Modellierungsverfahren möglichst variabel sein soll, wird die Berechnung der Rohrdurchmesser vereinfacht für ein dreistrahliges Verteilnetz durchgeführt. Jeder dieser drei Strahlen wird als Liniennetz abgebildet, wobei die bereitzustellende Leistung in allen drei Strahlen gleich groß ist. Dabei wird vorausgesetzt, dass in jedem Strahl der Leistungsbedarf mit zunehmender Entfernung von der Wärmezentrale linear abnimmt, bis dieser schließlich beim letzten Wärmeabnehmer am geringsten ist (vgl. Bild 26). Demnach beträgt der mittlere Leistungsbedarf im einzelnen Strahl $P_{NWN,Strahl}$ ein Sechstel des maximalen Leistungsbedarfs der Wärmeabnehmer im Wärmenetz P_{NWN}.

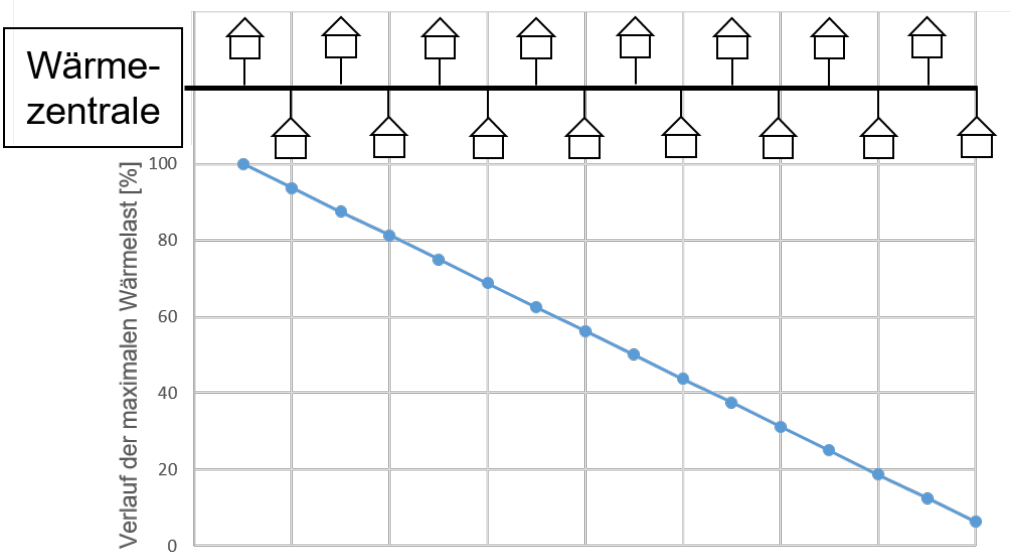


Bild 26:
Für die Modellierung von Wärmenetzen angesetzter Leistungsbedarfsverlauf innerhalb eines Strahls von insgesamt drei Strahlen im als Strahlennetz angesetzten Wärmenetz.

Theoretisch nehmen auch die Rohrdurchmesser mit steigender Entfernung zur Wärmezentrale linear ab. Um die Rohrdimensionierung zu vereinfachen, wird in jedem Strahl ein konstanter Rohrdurchmesser angesetzt, welcher dem Mittelwert des Leistungsbedarfsverlaufs des Strahls entspricht. Der zur Deckung des maximalen Leistungsbedarfs notwendige maximale Massenstrom kann anhand der nachfolgenden Gleichung [Isoplus 2012] berechnet werden:

$$\dot{m}_{NWN(Strahl)} = \frac{P_{NWN(Strahl)}}{c_W \cdot (\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL})}$$

$\dot{m}_{NWN}$: Erforderlicher Massenstrom zur Deckung des max. Leistungsbedarfs der Wärmeabnehmer [t/h]
P_{NWN}: Maximaler Leistungsbedarf der Wärmeabnehmer im Wärmenetz unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeit und Netztopologie [kW]
c_W: Spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgermediums (im Fall der Modellierung Wasser ohne Frostschutz) [Wh/kg K]
ϑ_{VL}: Vorlauftemperatur des Wärmenetzes [°C]
ϑ_{RL}: Rücklauftemperatur des Wärmenetzes [°C]

Nach [Isoplus 2012] ergeben sich die erforderlichen Rohrdurchmesser für die Zielerreichung von 100 Pa/m für den Gesamtdruckverlust (Leitungen und Formstücke) in Abhängigkeit des erforderlichen Massenstroms gemäß Tabelle 16.

Tabelle 16:
Nennweitenermittlung des Wärmenetzes für 100 Pa/m Druckverlust durch Rohre und Formstücke [Isoplus 2012].

Nennweite DN	Massestrom [t/h] bis	Nennweite DN	Massestrom [t/h] bis
20	0,5	250	348
25	1,0	300	547
32	2,0	350	705
40	3,0	400	1.000
50	5,5	450	1.370
65	11,0	500	1.820
80	16,5	600	2.920
100	33,0	700	4.370
125	58,0	800	6.240
150	95,0	900	9.500
200	193,0	1000	ab 9.500

Druckverluste

Die Druckverlustberechnung für die Auslegung der Netzpumpen erfolgt am Schlechtpunkt des Wärmenetzes. Dabei werden die folgenden vereinfachenden Randbedingungen gesetzt:

- Die Länge der Wärmenetzleitung bis zum Schlechtpunkt wird mit 1/3 der in der Siedlungstypologie nach [Blesl 2002] angegebenen Gesamtlänge der Straßen im betrachteten Quartier angesetzt. Der Druckverlust wird dabei mit 100 Pa/m angesetzt.

- Die notwendige Druckdifferenz für die Hausstationen wird auf 1 bar festgelegt [Nussbaumer 2017].

- Die Druckverluste in der Hausstation (indirektes System) werden mit 100 mbar für den Wärmetauscher und 100 mbar für das primärseitige Regelventil angesetzt.

Auf Basis der gesetzten Randbedingungen kann die Druckverlustberechnung im Schlechtpunkt anhand der nachfolgenden Gleichung vorgenommen werden:

$$\Delta p_{NWN,SP} = \Delta p_{L,SP} + \Delta p_{HS,SP}$$

$$\Delta P_{NWN,SP} = 100\ \frac{Pa}{m} \cdot L_{NWN,SP} + (1 + 0{,}1 + 0{,}1\ bar) \cdot 101300\ Pa$$

$\Delta p_{NWN,SP}$: Druckverlust am Schlechtpunkt des Wärmenetzes [Pa]

$\Delta p_{L,SP}$: Druckverlust aufgrund der Rohrleitungen und Formstücke auf dem Versorgungsstrang bis zum Schlechtpunkt [Pa]

$L_{NWN,SP}$: Länge der Summe aus Vor- und Rücklaufleitungen zum Schlechtpunkt [m]

$\Delta p_{HS,SP}$: Summe aus dem Druckverlust an der Hausstation des Schlechtpunktes (Wärmetauscher und Regelventil) und der notwendigen Druckdifferenz [Pa]

Netzpumpe

Die notwendige elektrische Leistung für die Netzpumpe des Wärmenetzes ergibt sich aus dem Druckverlust des Wärmenetzes im Schlechtpunkt und dem Wirkungsgrad der Netzpumpe. Die Berechnung für die Modellierung erfolgt gemäß nachfolgender Gleichung:

$$P_{P,NWN} = \frac{\Delta p_{NWN,SP} \cdot \dot{V}_{NWN}}{\eta_{P,NWN} \cdot \rho_w}$$

$P_{P,NWN}$: Leistung der Netzpumpe des Wärmenetzes [W]

$\Delta p_{NWN,SP}$: Druckverlust am Schlechtpunkt des Wärmenetzes [Pa]

$\dot{V}_{NWN}$: Volumenstrom zur Deckung des max. Leistungsbedarfs der Wärmeabnehmer im Wärmenetz [m³/s]

$\eta_{P,NWN}$: Gesamtwirkungsgrad der Netzpumpe. Angesetzt mit 0,6 [-]

ρ_w: Rohdichte des Wärmeträgermediums (im Fall der Modellierung Wasser ohne Frostschutz) [kg/m³]

Der monatliche Energiebedarf für die Wärmenetzpumpe nach [Nussbaumer 2017] kann über die Volllaststunden der angeschlossenen Wärmeverbraucher ermittelt werden:

$$Q_{P,NWN,a} = \frac{\sum_{mth=1}^{12}\left(Q_{NWN,HZ,mth} + Q_{NWN,TWW,mth}\right)}{\sum_{n=1}^{n} P_{HS,n}} \cdot P_{P,NWN}$$

$Q_{P,NWN,a}$: Jahresenergiebedarf der Netzpumpe [kWh]

$Q_{NWN,HZ,mth}$: Monatlicher Wärmebedarf im Wärmenetz für Heizung [kWh]

$Q_{NWN,TWW,mth}$: Monatlicher Wärmebedarf im Wärmenetz für Trinkwarmwasser [kWh]

$P_{HS,n}$: Auslegungsanschlussleistung der Hausstation eines einzelnen Wärmeabnehmers

Verteilverluste

In Abhängigkeit der Betriebstemperaturen im Wärmenetz können über dessen Länge Wärmeverluste oder –gewinne auftreten. Um diese bei der Modellierung des Wärmenetzes zu berücksichtigen, werden diese gemäß nachfolgender Gleichung berechnet.

$$Q_{NWN,WGV,mth} = L_{NWN,ges} \cdot U_{NWN,L} \cdot \left(T_{NWN,B,m,mth} - T_{Bo,1m,mth}\right)$$

$Q_{NWN,WGV,mth}$: Wärmeverluste bzw. –gewinne der Wärmenetzleitungen [W]
$L_{NWN,ges}$: Gesamtlänge des Wärmenetzes (Verteil- und Hausanschlussleitungen) [m]
$U_{NWN,L}$: Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmeleitungen [W/mK]
$T_{NWN,B,m,mth}$: Betriebstemperatur des Wärmenetzes [°C]
$T_{Bo,1m,mth}$: Erdreichtemperatur in 1 Meter Tiefe [°C]

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmeleitungen wird anhand [Isoplus 2012] für starre Metallrohre mit einfachverstärkter PUR-Dämmung für die verschiedenen Rohrabmessungen über die nachfolgende lineare Regression abgebilde:

$$U_{NWN,L} = 0{,}000407 \cdot DN_{NWN,L} + 0{,}166917$$

$U_{NWN,L}$: Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmenetzleitung [W/mK]
$DN_{NWN,L}$: Angabe der Nennweite der Wärmenetzleitung (z. B. bei DN 32 ist $DN_{NWN,L}$ = 32) [-]

Fernwärmeleitungen werden gemäß [Beuth 2018-3] mit einer Überdeckung von mindestens einem Meter unter öffentlichen Verkehrswegen eingebaut. Die Erdreichtemperaturen $T_{Bo,1m,mth}$ wurden für die TRY-Datensätze über ein Regressionsmodell abgebildet, welches auf mehrjährigen Messungen der Boden- und Lufttemperaturen an den Referenzklimastationen basiert. Die Betriebstemperatur im Wärmenetz kann, je nach Versorgungskonzept, außentemperaturabhängig geführt werden. Deshalb wird diese für die Modellierung monatlich gemäß nachfolgender Gleichung [Nussbaumer 2017] berechnet:

$$T_{NWN,B,m,mth} = \frac{T_{NWN,VL,mth} + T_{NWN,RL,mth} + \Delta T_{NWN,VL,SP,mth}}{2}$$

$T_{NWN,B,m,mth}$: Betriebstemperatur des Wärmenetzes [°C]
$T_{NWN,VL,mth}$: Vorlauftemperatur des Wärmenetzes [°C]
$T_{NWN,RL,mth}$: Rücklauftemperatur des Wärmenetzes [°C]
$\Delta T_{NWN,VL,SP}$: Temperaturveränderung im Vorlauf des Wärmenetzes am Schlechtpunkt aufgrund von Wärmeaustausch mit dem umgebenden Erdreich [°C]

Die im Wärmenetz erforderliche Vorlauftemperatur hängt von den daran angeschlossenen Gebäuden ab. Die an den Gebäuden notwendige Systemtemperatur hängt wiederum von deren Baujahr bzw. flächenspezifischen Heizlast sowie deren Art der Trinkwarmwasserbereitung ab. Die Auswahl der maßgebenden Systemtemperatur am Gebäude erfolgt nach Tabelle 17 und entspricht der höchsten Systemtemperaturanforderung aus Heizung und Trinkwarmwasserbereitung. Bei Gebäuden mit Heizleistungen von > 80 W/m² sind die Temperaturanforderungen der Heizung maßgebend, während bei Gebäuden mit einer Heizlast von <=30 W/m² die Temperaturanforderungen der Trinkwarmwasserbereitung dominieren.

Tabelle 17:
Maßgebliche Systemtemperatur im Gebäude in Abhängigkeit der Heizlast, Wärmeübergabe und Trinkwarmwasserbereitung. *Gebäude mit einer Heizlast von > 80 W/m² sind mit Niedertemperatur-Wärmeübergabesystemen nicht sinnvoll zu beheizen, deshalb werden Heizkörper angesetzt.

Flächenspezifische Heizlast des Gebäudes [W/m²$_{NGF}$]		Systemtemperatur im Gebäude (VL) [°C]				
		> 120	> 80	> 50	> 30	≤ 30
Wärmeübergabe	Radiator	90	70	55	55	45
	Luftheizung	90	70	55	55	45
	Flächenheizung	90*	70*	55	45	35
	Gebläsekonvektor	90*	70*	55	45	35
TWW-Bereitung	Frischwasserstation	90	70	55	55	55
	Zentrale TWW-Bereitung	90	70	67	67	67

Um die genannten Systemtemperaturanforderungen in den Gebäuden (sekundärseitige Vorlauftemperaturen) zu erreichen, müssen die primärseitig am Gebäude anliegenden Vorlauftemperaturen des Wärmenetzes entsprechend gewählt werden. Unter Verwendung einer Hausübergabestation mit 3-grädigem Wärmetauscher ergeben sich die notwendigen primärseitigen Vorlauftemperaturen wie folgt:

$$T_{NWN,VL,mth} = T_{Sys,VL,Geb} + 3K.$$

Die Rücklauftemperatur des Wärmenetzes wird gemäß folgender Gleichung berechnet:

$$T_{NWN,RL,mth} = 0{,}7663 \cdot T_{NWN,VL,mth} + 1{,}3877$$

Bei kalten Nahwärmenetzen (z. B. Verteilung von Sole aus Erdsonden, Erdkollektorfeldern und Abwasserwärmerückgewinnung) werden die Vorlauftemperaturen in Abhängigkeit der Quelle wie in Tabelle 18 angesetzt. Die Rücklauftemperatur wird bei der kalten Nahwärme wie folgt berechnet.

$$T_{NWN,RL,mth} = T_{NWN,VL,mth} - 5K$$

Tabelle 18:
Soletemperaturen für verschiedene Quellen. Die Temperaturen für die Abwasserwärmerückgewinnung sind Messungen am Neckarpark in Stuttgart entnommen, die anderen stammen aus [Beuth 2018-1].

	Mittlere monatliche Quellentemperatur			
	Abwasser [°C]	Erdsonde [°C]	Erdkollektor [°C]	Grundwasser [°C]
Januar	4,3	1,7	-0,3	9,5
Februar	4,0	1,8	-0,2	9,6
März	4,9	2,2	0,2	10
April	7,7	2,9	0,9	10,6
Mai	9,4	3,6	1,6	11,2
Juni	11,2	4,0	2,0	11,6
Juli	12,7	4,4	2,4	11,9
August	12,7	4,3	2,3	11,8
September	12,5	3,6	1,6	11,2
Oktober	11,1	2,9	0,9	10,6
November	7,4	2,1	0,1	9,9
Dezember	5,3	1,6	-0,4	9,4

Die Wärmeverluste der Wärmenetzleitung kühlen das Wärmeträgermedium beim Transport aus. Dies geschieht sowohl in der Vorlauf-, als auch in der Rücklaufleitung. Für den Betrieb des Wärmenetzes ist die Auskühlung des Vorlaufs entscheidend, da am Schlechtpunkt die garantierte Vorlauftemperatur bereitgestellt werden muss. Der berechnete Temperaturabfall bis zum Schlechtpunkt muss also durch höhere Vorlauftemperaturen an der Heizzentrale ausgeglichen werden, was wiederum die Wärmeverluste und eventuell die Effizienz des Wärmeerzeugers beeinflusst. Der Temperaturabfall bis zum Schlechtpunkt wird daher in Anlehnung an [Nussbaumer 2017] gemäß nachfolgender Formel berechnet:

$$\Delta T_{NWN,VL,SP,mth} = T_{NWN,VL,mth} - \left[T_{Bo,1m,mth} + \left(T_{NWN,VL,mth} - T_{Bo,1m,mth}\right) \cdot e^{-\frac{U_{NWN,L} \cdot L_{NWN,SP}}{c_w \cdot \dot{m}_{NWN}}}\right]$$

$\Delta T_{NWN,VL,SP}$: Temperaturveränderung im Vorlauf des Wärmenetzes am Schlechtpunkt aufgrund von Wärmeaustausch mit dem umgebenden Erdreich [°C]

$T_{NWN,VL,mth}$: Vorlauftemperatur im Wärmenetz am Gebäude
$T_{Bo,1m,mth}$: Erdreichtemperatur in einem Meter Tiefe [°C]
$U_{NWN,L}$: Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmenetzleitung [W/mK]
$L_{NWN,SP}$: Länge der Wärmenetzleitung bis zum Schlechtpunkt (pauschal 1/3 der Gesamtlänge) [m]
$\dot{m}_{NWN}$: Erforderlicher Massenstrom zur Deckung des max. Leistungsbedarfs der Wärmeabnehmer [t/h]
c_W: Spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgermediums (im Fall der Modellierung Wasser ohne Frostschutz) [Wh/kg K]

Die an der Heizzentrale zu erzeugende Vorlauftemperatur ergibt sich demnach aus der Summe der bereitzustellenden primärseitigen Vorlauftemperatur an der Gebäudekante und der Temperaturveränderung aufgrund der Wärmeverteilung.

Aufbau des Leitfadens

Die oben beschriebenen Arbeiten bilden die inhaltliche Basis des „Leitfadens für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere“ [Schrade 2022-1]. Dieser Leitfaden besitzt folgende Grobstruktur:

- Zielsetzung und Anwendungsbereiche
- Anwendung des Leitfadens
- Versorgungskonzepte
- Methodik
- Bewertungskriterien
- Beispielhafte Anwendung

Ziel des Leitfadens ist es, die Vorgehensweise bei der Auswahl von passenden Versorgungskonzepten für eine klimaneutrale Versorgung von Wohnquartieren zu erleichtern und durch übersichtliche Bewertungsmatrizen das Vorgehen nachvollziehbar und leicht verständlich zu vermitteln. Das allgemeine Vorgehen bei der Nutzung des Leitfadens ist in Bild 27 dargestellt.



Bild 27:
Darstellung des Prozessschemas, welches die Nutzenden des Leitfadens bei der Auswahl eines passende Versorgungskonzept unterstützt.

Der Leitfaden ermöglicht einen schnellen, umfassenden Blick auf mögliche Versorgungskonzepte für unterschiedliche Siedlungsformen von Wohnquartieren. Das im Leitfaden beschriebene Vorgehen bis zur Identifizierung eines passenden Versorgungskonzepts unterteilt sich in fünf Teilschritte.

1. Zu Beginn des Auswahlprozesses werden die relevanten Randbedingungen des zu betrachtenden Wohnquartiers erfasst. Dazu wird das untersuchte Gebiet einem Siedlungstyp (ST) zugewiesen und für den Standort eine passende Klimazone ausgewählt.

2. In einem zweiten Schritt wird die passende Bewertungstabelle für den Variantenvergleich identifiziert. Die vorberechneten Bewertungstabellen stehen unterteilt nach Siedlungstyp und Klimazone dem Nutzenden im Anhang des Leitfadens zur Verfügung.

3. Im folgenden Schritt werden standortspezifische limitierende Faktoren erfasst, anhand derer die Auswahl geeigneter Konzepte am jeweiligen Standort eingeschränkt werden kann.

4. Anschließend können die am jeweiligen Standort geeigneten Versorgungskonzepte mit Hilfe einer Bewertungstabelle anhand weicher Faktoren weiter eingeschränkt werden.

Abschließend erfolgt eine monetäre Bewertung der Versorgungskonzepte anhand vorberechneter Werte für Investitionskosten, Energiekosten, Kompensationskosten und dem Ertrag aus der Stromerzeugung für unterschiedliche Klimazonen, Siedlungstypen und Energiestandards.

Limitierende Faktoren

Nicht jedes Versorgungskonzept ist für jeden Siedlungstyp und jeden Standort in gleichem Maße geeignet. Zur Eingrenzung der Anzahl möglicher

Versorgungskonzepte werden im Leitfaden folgende limitierende Faktoren am jeweiligen Standort erfasst:

- Verfügbarkeit von Fernwärme und deren Zusammensetzung
- Zugang zu einem Gasnetz
- verfügbare Freiflächen in Quartiersnähe
- Nutzbarkeit des Untergrunds für Geothermie
- Nutzbarkeit des Grundwassers
- Nutzbarkeit von Abwasserwärme
- Einschränkungen durch kommunale Satzungen (Verbrennungsverbot, Anschlusszwang, Solarpflicht, etc.)
- vorhandene Investoren und Betreiber für ein Quartiersnetz.

Zur Erfassung der limitierenden Faktoren steht im Leitfaden ein Fragenkatalog zur Verfügung.

Bewertung mit weichen Faktoren

Für die Bewertung mit weichen Faktoren werden Kriterien herangezogen, welche nicht quantifizierbar sind, teilweise stark von politischen Entscheidungen abhängen können und durch standortspezifische Randbedingungen beeinflusst werden. Im Rahmen des Leitfadens werden die Bewertungskriterien Zukunftsfähigkeit, Umsetzbarkeit, Übertragbarkeit, Erweiterbarkeit, Klimaanpassung, Robustheit gegenüber Klimawandel und Netzdienlichkeit betrachtet.

- Zukunftsfähigkeit: Das Bewertungskriterium „Zukunftsfähigkeit“ bewertet die Chancen, ob das Versorgungskonzept mittel- bis langfristig aus politischer und wirtschaftlicher Sicht weiter betrieben werden kann. Außerdem bezieht dieses Bewertungskriterium die Begrenztheit der verwendeten Ressourcen und die Wichtigkeit des Versorgungskonzepts für die Transformation des Energiesystems mit ein.

- Umsetzbarkeit: Die Anwendbarkeit des Versorgungskonzepts bei heterogenen Eigentümerstrukturen und in der Quartierssanierung wird im Bewertungskriterium „Umsetzbarkeit“ bewertet. Außerdem fließt der Platzbedarf in den versorgten Gebäuden, der zusätzliche Aufwand rechtlicher (z. B. bei Genehmigungen) oder technischer Art (z. B. bei der Umsetzung) mit ein.

- Übertragbarkeit: Anhand des Bewertungskriteriums „Übertragbarkeit“ wird bewertet, inwieweit das Versorgungskonzept von spezifischen Standortbedingungen abhängig ist, wodurch die Übertragbarkeit auf andere Gebiete innerhalb derselben Stadt oder Region eingeschränkt sein könnte. Dabei werden Platzbedarfe, geologische Randbedingungen und städtische Randbedingungen (wie z. B. Verbrennungsverbote) betrachtet.

- Erweiterbarkeit: Die „Erweiterbarkeit“ beschreibt das Potenzial des Versorgungskonzepts, weitere Versorgungsnehmer mit aufzunehmen, ohne das größere Investitionen oder Platzbedarfe notwendig werden oder Abstriche bei der Klimafreundlichkeit auftreten.

- Klimaanpassung: Bei der „Klimaanpassung“ wird bewertet, inwieweit das Versorgungskonzept das Potenzial hat, die angeschlossenen Gebäude zusätzlich möglichst einfach und regenerativ mit Kälte zu versorgen. Dabei wird bewertet, ob die Dachflächen für PV-Strom und Kühltürme zur Verfügung stehen, Freikühlpotenziale vorhanden sind oder die Möglichkeit besteht, reversible Wärmepumpen oder Absorptionskältemaschinen einzubinden.

- Robustheit gegenüber Klimawandel: Unter dem Bewertungskriterium „Robustheit gegenüber Klimawandel“ werden die negativen und positiven Folgen des Klimawandels auf die Versorgungskonzepte betrachtet (steigende Außenlufttemperaturen, sinkende Grundwasserspiegel, usw.).

- Netzdienlichkeit: Das Bewertungskriterium „Netzdienlichkeit“ beschreibt das Potenzial des Versorgungskonzepts, einen dem Stromnetz dienlichen Betrieb zu ermöglichen. Einen Sonderfall bilden hier Wärmepumpen, die sowohl netzdienlich als auch netzadvers betrieben werden können.

Die Bewertung der weichen Faktoren erfolgt qualitativ über die Nutzung eines dreistufigen Bewertungssystems, wobei **+** für positiv, **o** für neutral und **-** für negativ steht. Eine textliche Begründung der getroffenen Bewertung kann dem Leitfaden entnommen werden. Die Bewertungsmatrix ist in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19:
Darstellung der Bewertungsmatrix der zusätzlichen Bewertungsgrößen.

Qualitative Bewertung zusätzlicher Bewertungskriterien der Versorgungskonzepte (+: positiv; o: neutral; -: negativ)		Zukunftsfähigkeit	Umsetzbarkeit	Übertragbarkeit	Erweiterbarkeit	Klimaanpassung	Robustheit gegen Klimawandel	Netzdienlichkeit
Dezentrale Versorgungskonzepte	Luft-Wasser-Wärmpumpe	+	+	+	+	+/-	+	+/-
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	+	+	o	o	+	o	+/-
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT-Kollektoren	+	o	o	o	-	+	+/-
	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	+	-	-	o	+	-	+/-
	Gas-Brennwertkessel mit solarer TWW-Bereitung	-	+	+	+	-	o	o
	Gas-Brennwertkessel mit solarer Heizung	-	+	+	+	-	o	o
	Gas-Brennwertkessel mit Abluft-Wärmepumpe	-	o	+	+	o	o	-
	Biomassekessel	-	o	-	o	o	-	o
	Biomassekessel mit solarer TWW-Bereitung	-	o	-	o	-	-	o
	Biomassekessel mit solarer Heizung	-	o	-	o	-	-	o
	Gas-BHKW mit Gas-Brennwertkessel	-	o	+	+	o	o	+
	Brennstoffzelle mit Gas-Brennwertkessel	o	-	+	+	o	o	+
Zentrale Versorgungskonzepte	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	+	+	o	o	+	+	+/-
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Agrothermie	+	+	-	-	o	o	+/-
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Abwasserwärme	+	-	-	-	o	o	+/-
	Gas-BHKW und Solarthermie *	-	+	-	+	o	o	+
	Holzhackschnitzel-BHWK und Holzhackschnitzelkessel	-	+	o	+	o	-	+
	Holzhackschnitzelkessel und Solarthermie *	-	+	o	+	o	-	o
	Kalte Nahwärme mit Erdsonden	+	-	o	o	+	o	+/-
	Kalte Nahwärme mit Erdkollektor	+	-	-	-	+	o	+/-
	Kalte Nahwärme mit Abwasserwärme	+	-	-	-	+	o	+/-
	Fernwärme (konventionell)	-	+	-	+	o	o	o
	Fernwärme (klimaneutral)	+	+	-	+	o	o	o

*: mit saisonaler Speicherung

Monetäre Bewertung

Die monetäre Bewertung der untersuchten Versorgungskonzepte basiert auf den Investitionskosten, Energiekosten, Kompensationskosten und dem Ertrag aus der Stromerzeugung. Das Ergebnis wird nicht in absoluten Zahlen dargestellt, sondern es wird eine vergleichende Betrachtung der

untersuchten Versorgungskonzepte vorgenommen. Hierzu werden die Versorgungskonzepte in Quintile untereilt, wobei im ersten Quintil jene 20 % der Versorgungslösungen zu finden sind, die am günstigsten zu bewerten sind und im Quintil 5 die 20 % am schlechtesten zu bewertenden.

In Tabelle 20 ist die monetäre Bewertung der Lösungsansätze für den Siedlungstyp „Blockbebauung niedriger Dichte“ am Standort Potsdam dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Bewertungen farbig hervorgehoben. Die Farbskala orientiert sich am Farbstrahl des Gebäudeenergieausweises. Lösungsansätze, die ohne Kompensationsmaßnahmen auskommen, sind blau markiert.

Tabelle 20:
Monetäre Bewertung der Lösungsansätze für ST 7a – Blockbebauung niedriger Dichte am Standort Potsdam.

Randbedingung	Klimazone	4_Potsdam (gemäßigt)															
	Siedlungstyp	ST 7a - Blockbebauung niedriger Dichte															
	Bewertungskriterium	Investitionen				Energiekosten				Kompensationskosten				Volkswirtschaftliche Betrachtung			
	Energiestandard	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Bestand	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Bestand	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Bestand	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Bestand
Dezentrale Versorgungskonzepte	Luft-Wasser-Wärmpumpe	5	3	2	1	3	4	4	5	3	4	4	5	4	4	4	5
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	5	4	4	2	3	3	4	5	3	3	4	5	5	4	4	5
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT-Kollektoren	5	4	4	2	3	4	4	5	3	3	4	5	5	4	4	5
	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	5	4	3	1	3	3	4	5	2	3	4	5	4	3	3	5
	Gas-Brennwertkessel mit solarer TWW-Bereitung	4	3	2	1	1	1	2	5	2	4	5	5	3	2	2	5
	Gas-Brennwertkessel mit solarer Heizung	4	3	2	1	1	1	2	5	3	4	5	5	3	2	2	5
	Gas-Brennwertkessel mit Abluftwärmepumpe	5	3	2	1	2	2	3	5	2	4	4	5	4	2	3	5
	Biomassekessel	5	4	2	1	1	2	2	4	1	1	1	2	3	1	1	2
	Biomassekessel mit solarer TWW-Bereitung	5	4	3	1	1	1	2	4	1	1	2	2	3	1	1	2
	Biomassekessel mit solarer Heizung	5	4	3	1	1	1	1	4	2	2	2	3	3	1	1	2
	Gas-BHKW mit Gas-Brennwertkessel	5	3	2	1	1	2	3	5	2	2	2	5	2	1	1	3
	Brennstoffzelle mit Gas-Brennwertkessel	4	3	2	1	2	2	3	5	2	4	4	5	3	2	2	5
Zentrale Versorgungskonzepte	Sole-Wasser-WP mit Erdsonden	5	3	2	1	2	2	4	5	2	3	4	5	4	2	3	5
	Sole-Wasser-WP mit Agrothermie	5	3	2	1	2	3	4	5	2	3	4	5	4	2	3	5
	Sole-Wasser-WP mit Abwasserwärme	5	3	2	1	2	2	3	5	2	2	3	5	3	2	2	5
	Gas-BHKW und Solarthermie *	5	4	3	2	1	2	3	5	1	1	2	4	2	1	1	4
	Hackschnitzel-BHWK mit Hackschnitzelkessel	5	4	3	1	1	1	2	4	1	0	0	0	1	1	1	1
	Holzhackschnitzelkessel mit Solarthermiefeld *	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kalte Nahwärme Erdsonden	5	4	3	2	3	3	4	5	3	3	4	5	4	3	4	5
	Kalte Nahwärme Erdkollektor	5	4	3	1	3	4	4	5	3	3	4	5	4	4	4	5
	Kalte Nahwärme Abwasserwärme	5	4	3	1	3	3	4	5	3	3	4	5	4	3	4	5
	Fernwärme (konventionell)	4	2	2	1	2	3	4	5	3	4	4	5	3	2	3	5
	Fernwärme (nahezu klimaneutral)	4	2	2	1	2	4	4	5	1	1	1	2	3	2	2	5

Legende: 1 = sehr positiv, 2 = positiv, 3 = neutral, 4 = negativ, 5 = sehr negativ, 0 = keine externe Kompensation erforderlich

* : mit saisonaler Speicherung

Anwendungsbeispiel

Die Nutzung des Leitfadens wird anhand eines Anwendungsbeispiels exemplarisch vorgestellt. Als Anwendungsbeispiel wird das Bürgerhospital in Stuttgart herangezogen. Hierbei handelt es sich um den Siedlungstyp „Blockbebauung niedriger Dichte“, der in einer Region mit mildem Klima und hoher Solarstrahlung (Klimazone 12) liegt. Im Anwendungsbeispiel werden die Lösungsansätze anhand vorhandener limitierender Faktoren (z. B. Verbrennungsverbot) und weichen Faktoren (z. B. Zukunftsfähigkeit) eingegrenzt und eine Priorisierung aus volkwirtschaftlicher Sicht vorgenommen.

Weiterführende Informationen:

- Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere [Schrade 2022-1],
- Conference Paper „Standardisierte Prozedur für die Entwicklung von klimaneutralen Versorgungskonzepten veranschaulicht an zwei Demoquartieren“ [Schrade 2022-2]

2.6 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energiekonzepten

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer FIT

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Landeshauptstadt Stuttgart, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart, Fraunhofer IBP, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See

2.6.1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Arbeitsbereichs war die Unterstützung der Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf weitere Quartiere nach Projektende durch Bewertung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Energiekonzepte sowie die (Weiter-)Entwicklung von Ansätzen und Methoden zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Energiekonzepten.

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfolgte mit Hilfe verschiedener mathematischer Modelle sowie Methoden des Risikomanagements bzw. des Finanzmanagements. So wurde zum Beispiel die Wirtschaftlichkeit von

Energieflexibilisierungsmöglichkeiten mit Hilfe des aus der Finanzwirtschaft übertragenen Real-Option-Ansatzes bewertet.

Zunächst wurden vorhandene Methoden zur Wirtschaftlichkeitsbewertung identifiziert und bzgl. ihrer Anwendbarkeit auf Energiekonzepte analysiert. Hierzu sollte zum einen der wissenschaftliche State-of-the-Art als auch die in der Praxis angewendeten Methoden berücksichtigt werden. Die Analyse bildete die Grundlage für die weitere Arbeiten, die (Weiter-)Entwicklung von bestehenden oder neuen Ansätzen zur Wirtschaftlichkeitsbewertung und die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der verwendeten Energiekonzepte in den beiden Projektquartieren.

Die in diesem Kontext identifizierten und geeigneten Methoden und Modelle wurden noch weiter angepasst, um ihre Anwendbarkeit im Kontext von Energiekonzepten zu verbessern. Zum Beispiel wurde der Real-Options-Ansatz, der eigentlich zur Bewertung von Flexibilität an den Finanzmärkten entwickelt wurde, auf den Kontext von Energieflexibilität übertragen und notwendige Anpassungen vorgenommen. Zudem wurden neue Ansätze auf Basis des wissenschaftlichen State-of-the-Art und den Best Practices aus der Praxis entwickelt und evaluiert.

Unter Anwendung der angepassten oder neu entwickelten Ansätze und Methoden sollten die in den Demonstrationsquartieren geplanten Energiekonzepte auf ihre Wirtschaftlichkeit hin überprüft werden. Die Ergebnisse dieser Analyse belegen die Auswahl der richtigen Konzepte und sichern so die Übertragbarkeit auf weitere, zukünftige Quartiere.

2.6.2 Vorgehen

Erste Anforderungen an die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Energiekonzepte wurden in einem initialen Treffen besprochen. Aufgrund des schnelleren Baufortschritts im Überlinger Quartier war die Diskussion in Überlingen im Vergleich zu Stuttgart etwas weiter fortgeschritten, sodass hier die Anforderungen an die Wirtschaftlichkeitsberechnung bereits konkreter gefasst waren. Demnach wurde im Wirtschaftlichkeitsbericht primär die Perspektive des Investors, d. h. in diesem Fall der Baugenossenschaft Überlingen, eingenommen, um die wirtschaftliche Umsetzbarkeit von Klimaneutralität aus Investorensicht sowie die exemplarische Auswirkung auf den Mietpreis zu evaluieren. Dem liegt zugrunde, dass ein höherer Energiestandard zwar höhere Anfangsinvestitionen erfordert, dafür jedoch über die Nutzungsdauer hinweg geringere Verbrauchskosten entstehen. Insbesondere aus Perspektive der Stadt Überlingen stehen dabei die Übertragbarkeit auf zukünftige Bauvorhaben sowie die Eignung als Referenzprojekt im Vordergrund. In einem weiteren Treffen wurden die Eckpunkte der Wirtschaftlichkeitsberechnung für Überlingen konkretisiert. Dabei wurden der Datenbedarf der Wirtschaftlichkeitsbewertung, die relevanten Merkmale von Energiekonzepten sowie

mögliche Ansätze zur Berechnung thematisiert. In Stuttgart ging der Informationsbedarf dagegen über die reine Investorensicht hinaus. Hier sollte außerdem die Perspektive der Stadtwerke beleuchtet werden.

Um den Informationsbedarf bezüglich der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit von Klimaneutralität zu erfüllen, waren unterschiedliche Perspektiven sowie Berechnungsansätze notwendig. Die Grundlage bildete die Kapitalwertmethode als dynamisches Investitionsbewertungsverfahren, um Wertunterschiede zwischen verschiedenen Zeitpunkten zu berücksichtigen. Dynamischen Investitionsbewertungsverfahren liegt der Grundsatz zugrunde, dass 1.000 € heute mehr wert sind als 1.000 € in der Zukunft, da mit dem Betrag in der Zwischenzeit Zinsen hätten erwirtschaftet werden können, die als Opportunitätskosten mit einberechnet werden müssen. Dazu werden bei der Kapitalwertmethode zukünftige Einzahlungen durch Abzinsung mit einem Kalkulationszinssatz auf den Investitionszeitpunkt zurückgerechnet. Ein anderes relevantes dynamisches Bewertungsverfahren, welches im Bereich von Energiekonzepten eingesetzt werden kann, ist die Amortisationsrechnung.

Als Grundlage für ein Bewertungsschema, das relevante Datenpunkte der Energiekonzepte abfragt und mit diesen Informationen jeweils die Berechnung des Kapitalwerts sowie der Amortisationsdauer durchführt, wurden bestehende Methoden und Tools zur Wirtschaftlichkeitsbewertung im Energiebereich untersucht und möglicherweise geeignete Tools identifiziert. Um die tatsächliche Eignung im Projektkontext zu evaluieren, wurde im nächsten Schritt eine exemplarische Wirtschaftlichkeitsbewertung für die beiden Quartiere in Stuttgart und Überlingen durchgeführt. Diese Erhebung diente anschließend als Grundlage, um Anpassungsbedarfe der bestehenden Tools sowie projektspezifische Anforderungen an die Wirtschaftlichkeitsbewertung zu identifizieren.

Im Rahmen der Identifizierung und Analyse verschiedener Modelle und Methoden zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Energiekonzepten konnte auf Basis von Best Practices, Standards (VDI 2067 & VDI 6025) sowie wissenschaftlichen Quellen ein breiter Überblick über bestehende Bewertungsmethoden gewonnen werden. Die einzelnen Bewertungsmethoden eignen sich für unterschiedliche Einsatzzwecke und Fragestellungen. Besonders im Fokus standen hier die beiden Methoden Amortisationsdauer und Kapitalwert. Die Rechercheergebnisse werden für beide Methoden im Folgenden kurz skizziert.

In der Berechnung der Amortisationsdauer ist das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbewertung der Zeitraum, den es dauert, bis sich die getätigte Investition lohnt. Formal kann diese wie folgt ausgedrückt werden:

$$Amortisationsdauer = \frac{I}{\overline{EK_t^{KN}} - \overline{EK_t^{B}}}$$

I: Mehrinvestition für Klimaneutralität	$\overline{EK_t^{KN}}$: Durchschnittliche Energiekosten der klimaneutralen Variante pro Zeiteinheit	$\overline{EK_t^{B}}$: Durchschnittliche Energiekosten der Basisvariante pro Zeiteinheit

Die Amortisationsdauer hat den Vorteil, dass sie intuitiv sehr verständlich und somit einfach zu kommunizieren ist. Außerdem bräuchte es mit Bezug auf die beiden Quartiere für die Berechnung der Amortisationsdauer keine Annahme zum betrachteten Zeitraum. Nachteile der Berechnung der Amortisationsdauer liegen in den durchschnittlichen jährlichen Rückflüssen. Ein Grundsatz im Finanzmanagement liegt im sogenannten „Zeitwert des Geldes“. 1.000 €, die ich heute besitze, sind mehr wert als 1.000 €, die ich erst morgen besitze, da ich zwischen heute und morgen Zinserträge hätte erzielen können. Diesen Zeitwert in die Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Rückflüsse miteinzubeziehen ist nur sehr schwer möglich. Eine zweite Herausforderung bei der Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Rückflüsse sind schwankende Energiepreise. Ganz speziell im Zusammenhang mit diesem Projekt gibt es noch einen weiteren Nachteil der Berechnung der Amortisationsdauer. In der folgenden Arbeit wird die Wirtschaftlichkeit aus verschiedenen Perspektiven bewertet. Die Wirtschaftlichkeit des Mietenden hängt allerdings nicht von Investitionskosten, sondern von Mietausgaben und Energieeinsparungen ab. Auf Grund dessen wäre die Methode der Amortisationsdauer auf den Mietenden nicht übertragbar und die Ergebnisse der einzelnen Perspektiven nur schwer vergleichbar.

Dem gegenüber steht die Kapitalwertmethode. Die Kapitalwertmethode berechnet die Wirtschaftlichkeit einer Investition über einen bestimmten Zeitraum. Hierbei wird der Zeitwert des Geldes durch einen entsprechenden Diskontierungsfaktor berücksichtigt. Im Rahmen der Kapitalwertmethode werden alle zukünftigen Rückflüsse einer Investition und alle Investitionskosten über den Betrachtungszeitraum hinweg zusammengerechnet und verglichen. Der Kapitalwert einer Investition stellt dadurch den Geldbetrag dar, den die Investition heute wert ist. Formal wird der Kapitalwert im Kontext dieses Projekts wie folgt berechnet:

$$Kapitalwert = \sum_{t=1}^{T} \frac{-I_t - EK_t^{KN} + EK_t^{B}}{(1+i)^t}$$

I_t: Mehrinvestition für Klimaneutralität in Periode t	EK_t^{KN}: Energiekosten der klimaneutralen Variante pro Zeiteinheit	EK_t^{B}: Energiekosten der Basisvariante pro Zeiteinheit	i: Kalkulationszins	t: Zeitintervall

Im Rahmen der Kapitalwertmethode wird häufig auch die Annuität einer Investition angegeben. Diese kann mit Hilfe des Kapitalwertes einfach über den Kalkulationszins in Form des Annuitätenfaktors berechnet werden. Die Annuität teilt den Kapitalwert einfach gesprochen über den Betrachtungszeitraum hinweg gleichmäßig auf die verschiedenen Perioden auf und gibt den Zahlungsstrom an, der aus der Investition regelmäßig gezogen werden kann.

Der Vorteil der Kapitalwertmethode liegt in der Berücksichtigung des Zeitwertes des Geldes sowie unterschiedlicher Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Außerdem ist es für den Kapitalwert, im Gegensatz zur Amortisationsdauer, nicht entscheidend, dass die Kosten nur in der ersten Periode des Betrachtungszeitraums anfallen. Auch in seiner Interpretierbarkeit ist der Kapitalwert intuitiv verständlich, so bedeutet ein positiver Kapitalwert, dass sich die entsprechende Investition lohnt und ein negativer Wert, dass der/die Investierende diese nicht tätigen sollte. Ein Nachteil der Kapitalwertmethode gegenüber der Berechnung der Amortisationsdauer liegt in der Annahme bezüglich des Betrachtungszeitraums. Besonders im Zusammenhang dieses Projekts spielt der Betrachtungszeitraum eine entscheidende Rolle.

Insgesamt war für den Einsatz im Projekt die Methode des Kapitalwerts besonders aussichtsreich und passend, da der Kapitalwert eine realistische Betrachtung unter Berücksichtigung von Opportunitäten ermöglicht. Zudem konnte die Methode ohne weitere Anpassungen eingesetzt werden, da der Kapitalwert größtenteils robust gegenüber Unsicherheiten, z. B. bezüglich der Höhe zukünftiger Kosten, Schwankungen der Energiepreise sowie der Realisierung von Einsparpotentialen ist.

Für die (Weiter-)Entwicklung von bestehenden oder neuen Ansätzen zur Wirtschaftlichkeitsbewertung wurden die identifizierten Methoden hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit für die Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energiekonzepten untersucht, entsprechend adaptiert und zielgerichtet weiterentwickelt. Das Ergebnis wurde durch die Analysen, welche im Rahmen von Lösungsansätzen für eine klimaneutrale Energieversorgung durchgeführt wurden, bestätigt und es wurde der Kapitalwert als geeignete Methode zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen identifiziert. Um die Wirtschaftlichkeitsberichte zu den Energiekonzepten in Stuttgart und Überlingen erstellen zu können, wurde weiterhin ein Berechnungstool entwickelt, welches die Wirtschaftlichkeitsbewertung durch eine benutzerfreundliche Oberfläche unterstützt und im Hintergrund entsprechende Berechnungen durchführt. Durch das Berechnungstool wurde sichergestellt, dass sich die Ergebnisse aus der Wirtschaftlichkeitsbewertung auch auf andere Quartiere übertragen lassen, da es durch seine Generalisierbarkeit nicht an die im Projekt untersuchten Quartiere gebunden ist. Dazu wurden im ersten Schritt allgemeine Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung identifiziert und festgelegt: Dies umfasst die Länge des Betrachtungszeitraums, den

Kalkulationszins, die Inflationsrate und die erwartete jährliche Preissteigerung der Energieeffizienzmaßnahmen. Um das Berechnungstool übersichtlicher zu gestalten, können Maßnahmenkategorien erstellt werden, die dann auch übergreifende Parameter definieren können, die für alle Maßnahmen innerhalb einer Kategorie gelten. Die Maßnahmenkategorien definieren die Lebensdauer einer Investition, nach der die Investition erneut anfällt, sowie die jährlichen Wartungskosten in Prozent des Investitionsvolumens. Nach der Eingabe der konkret umgesetzten oder umzusetzenden Maßnahmen werden diese einer Maßnahmenkategorie zugeordnet. Um die Differenz des Energieverbrauchs, der sich durch die Maßnahmen ergibt, d. h. die Steigerung der Energieeffizienz, zu berücksichtigen, wird der Energieverbrauch nach Energieträgern aufgeschlüsselt: Für jeden der Energieträger kann ein Preis pro kWh, die erwartete jährliche Preissteigerung und der erwartete Energiebedarf – sowohl vor als auch nach der Durchführung der Maßnahmen – definiert werden.

Durch die Investitionskosten der einzelnen Maßnahmen, die jährlichen Wartungskosten, die Kosten für eine eventuell notwendige Reinvestition nach der Lebensdauer sowie die (reduzierten) Energiekosten ergeben sich die Zahlungsflüsse. Diese Zahlungsflüsse wurden mithilfe der Kapitalwertmethode verrechnet, um die Wirtschaftlichkeit eines Energiekonzepts abzuleiten. Im nächsten Schritt wurde dieses Tool durch Input der involvierten Projektpartner weiter verbessert.

Im Rahmen der Bewertung der Wirtschaftlichkeit der verwendeten Energiekonzepte wurden die Berechnungen der Wirtschaftlichkeit der Energiemaßnahmen durchgeführt und die Wirtschaftlichkeitsberichte für die beiden Quartiere in Überlingen und Stuttgart erstellt. In diesen wird insbesondere der Vergleich zwischen dem gesetzlichen Mindestmaß an Energieeffizienz mit den zusätzlichen, umgesetzten Maßnahmen gezogen, in dem über die gesamte Projektlaufzeit die Investitions-, Wartungs- und Reinvestitionskosten mit den Einsparungen der gesenkten Energiekosten aufgewogen werden. Hierbei wurden sowohl die Perspektive der Bauunternehmen als auch die Perspektive der Mietenden berücksichtigt.

Für die Fertigstellung dieses Arbeitspakets war es neben der Beschaffung der benötigten Daten notwendig, die bereits erarbeitete Methodik um eine Risikobewertung zu erweitern. Diese Erweiterung besteht im Miteinbeziehen der Volatilität zukünftiger Energiepreise, die eine zentrale Risikoquelle für Investoren in Klimaneutralität darstellt. Geringere Energiekosten einer klimaneutralen Alternative sind ein wesentlicher Treiber der Wirtschaftlichkeit von Klimaneutralität. Die so entstehenden Energiekosteneinsparungen hängen allerdings von zukünftigen Energiepreisen ab, welche sich nicht sicher vorhersagen lassen. Um das Risiko unsicherer Energiepreise in Zukunft in die Wirtschaftlichkeitsbewertung einbeziehen zu können, wurde der Kapitalwert mit Hilfe einer Monte Carlo-Simulation als Zufallsvariable modelliert. Der Kern einer Monte Carlo-Simulation besteht im Durchführen des immer gleichen Zufallsexperiments (z. B. das Werfen eines Würfels). Durch diese

Wiederholung lässt sich eine Verteilung des Ergebnisses des Zufallsexperiments schätzen (bei Werfen eines Würfels würde so eine Gleichverteilung entstehen). Übertragen auf die Berechnung des Kapitalwerts eines klimaneutralen Wohnquartiers bedeutet dies, dass auf Basis verschiedener Energiepreisverläufe in Zukunft verschiedene Kapitalwerte berechnet werden. Mit Hilfe dieser Ergebnisse wird darauf die Verteilung des Kapitalwerts geschätzt. Die verschiedenen Energiepreisverläufe wurden mit Hilfe einer Brownschen Bewegung (Wienerprozess) und auf Basis von Vergangenheitswerten (Energiepreise von 2005 bis 2019) simuliert. Zur Veranschaulichung des Vorgehens wird in Bild 28 eine beispielhafte Simulation zukünftiger Energiepreise vorgestellt.

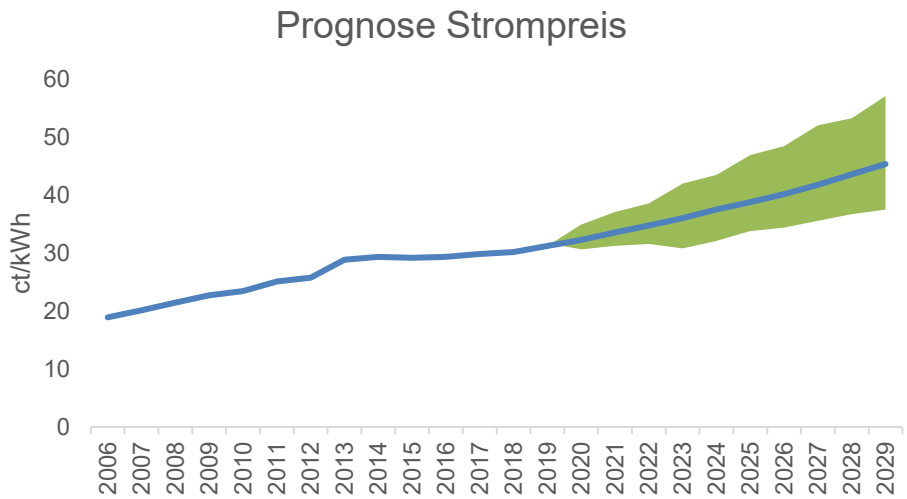


Bild 28:
Prognose zukünftiger Strompreise als Grundlage für die Risikobewertung der Wirtschaftlichkeit.

Mit Hilfe der Monte Carlo Simulation und der geschätzten Verteilung des Kapitalwerts kann so sowohl der erwartete Kapitalwert als auch eine Risikokennzahl bestimmt werden. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung gibt somit Auskunft darüber, ob es sich nach dem Erwartungswert lohnt, in Klimaneutralität zu investieren und wie sich die Wirtschaftlichkeit in einem „Bad Case Scenario“, also einer ungünstigen Entwicklung der Energiepreise, verhält.

Zusätzlich zum oben beschrieben Vorgehen wurden die Auswirkungen einer CO_2-Bepreisung in die Wirtschaftlichkeitsbewertung miteinbezogen. Es wurde daher die Wirtschaftlichkeit a) ohne eine CO_2-Bepreisung sowie b) in Abhängigkeit des CO_2-Preises dargestellt. Dies geschah vor dem Hintergrund der jüngsten Entwicklung der Klimapolitik in Deutschland, aber auch ganz besonders im Zusammenhang aktueller Bestimmungen in Stuttgart. Hier nimmt die Stadt Stuttgart eine Vorreiterrolle ein und will zukünftigen Wirtschaftlichkeitsberechnungen eine CO_2-Bepreisung von 50 €/t im Jahr 2020 (danach jedes Jahr um 15 €/t erhöht) zu Grunde legen.

Um die beiden Wirtschaftlichkeitsberichte zu dem Energiekonzepten in Stuttgart und Überlingen fertigstellen zu können, wurde in weiteren Abstimmungsterminen mit allen am AP beteiligten Projektpartnern die Bewertungsmethodik final abgestimmt sowie die grundlegenden Energiekonzepte der beiden Quartiere festgelegt. Ergebnis der Diskussionen zur Methodik war die Betrachtung dreier verschiedener Perspektiven:

- **Quartierssicht:** Vergleich der Mehrinvestitionen und Energiekosteneinsparungen, die aus einer klimaneutralen Energieversorgung resultieren.

- **Investierendensicht:** Vergleich der Mehrinvestitionen und Mehreinnahmen durch höhere Mieten in den klimaneutralen Wohnquartieren. Diese Sicht stellt somit die Perspektive einer Baugenossenschaft oder Ähnlichem dar.

- **Mietendensicht:** Vergleich der höheren Mietausgaben und Energiekosteneinsparungen in klimaneutralen Quartieren.

In Zusammenhang mit der Investierenden- und Mietendensicht wurde zusätzlich zu den Kapitalwerten eine aus den Energiekonzepten resultierende warmmietneutrale Mehrmiete berechnet. Diese Mehrmiete stellt jene Mehrmiete dar, die den Mietenden nicht zusätzlich belastet. Dies bedeutet, dass sich durch diese Mehrmiete höhere Mietkosten und geringere Energiekosten genau ausgleichen. Eine warmmietneutrale Mehrmiete bildet somit die beiden Projektziele des „klimaneutralen“, aber auch „bezahlbaren“ Wohnens ab.

2.6.3 Ergebnisse

Während die Ergebnisse, Kostengrundlagen und Sensitivitätsanalysen in den Wirtschaftlichkeitsberichten [Fraunhofer FIT 2021-2] detailliert erläutert werden, werden im Folgenden die Kernergebnisse beider Berichte zusammengefasst.

Quartier in Stuttgart

Für das Quartier in Stuttgart wurden im Projekt Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für zwei verschiedene Varianten der klimaneutralen Energieversorgung berücksichtigt. „Variante 1“ beschreibt hierbei eine Versorgung durch ein kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen, Stromversorgung aus dem Netz, sowie Einspeisung des PV-Stroms. Im Gegenzug umfasst „Variante 2“ eine Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe, Stromversorgung aus dem Netz, sowie Einspeisung des PV-Stroms.

Bewertung aus Quartierssicht: Folgende Tabelle zeigt die Wirtschaftlichkeit der beiden Varianten aus Quartierssicht. Sie gibt somit Auskunft über den Trade-off zwischen Energiekosteneinsparungen durch höhere Energieeffizienzstandards der Gebäude und Mehrinvestitionen in Klimaneutralität. Für die Berechnung der Kapitalwerte in folgender Tabelle wurde ein Kalkulationszins von 0,5 % angenommen und ohne eine CO_2-Bepreisung gerechnet.

Tabelle 21:
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung aus Quartierssicht.

	Erwarteter Kapitalwert	„Bad Case“ Kapitalwert (5 % Quantil)	Wahrscheinlichkeit, dass Kapitalwert < 0
Variante 1 Kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen	1,00 Mio. €	-2,0 Mio. €	37%
Variante 2 Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe	0,49 Mio. €	-2,2 Mio. €	44%

Aus Quartierssicht betrachtet haben beide Varianten einen positiven erwarteten Kapitalwert. Somit ist ein klimaneutrales Quartierskonzept für einen risikoneutralen Entscheider und unter Annahme der im Wirtschaftlichkeitsbericht genannten Parameter wirtschaftlicher als ein „Standard“-Quartier. Die Risikobewertung zeigt jedoch, dass es in beiden Varianten ein Risiko gibt, dass die klimaneutrale Energieversorgung nicht wirtschaftlich ist. Dieses Risiko ergibt sich aus unsicheren Energiepreisen und der Inflationsentwicklung.

Bewertung aus Sicht der Investierenden: Ziel des Stadtquartierprojekts ist das Schaffen von klimafreundlichem, aber auch bezahlbarem Wohnraum. Daher wird für die Bewertung aus Sicht des Investierenden eine warmmietneutrale Mieterhöhung unterstellt. Verglichen mit den Kapitalwerten aus Quartierssicht sind die erwarteten Kapitalwerte aus Sicht der Investierenden gleich hoch. Der Unterschied zur Quartierssicht ist das finanzielle Risiko. Da die Mehrmieten in diesem Bericht nicht von Risiko betroffen sind und der Investierende bzw. Vermietende nicht das Risiko sich ändernder Energiepreise trägt, ist das Risiko aus der Perspektive der Investierenden wesentlich niedriger (konkret beträgt der „Bad Case“ Kapitalwert (5 % Quantil) 0,72 Mio. € in Variante 1 und 0,21 Mio. € in Variante 2).

Bewertung aus Sicht der Mietenden: Analog zu beiden vorherigen Analysen wurden auch Kapitalwerte für die Sicht der Mietenden berechnet. Der erwartete Kapitalwert beider Varianten ist hier 0. Dies entspricht der Definition einer warmmietneutralen Mehrmiete. Wie bereits in vorangegangenem Kapitel angekündigt, ist das finanzielle Risiko für Mietende jedoch nicht gleich 0. So gibt es in beiden Varianten ein erhebliches Risiko, dass die Mietenden unter Berücksichtigung einer warmmietneutralen Mehrmiete in einem klimaneutralen Quartier höhere Kosten haben als in einem „normalen“ Wohnquartier. Um dieses Risiko auszugleichen, wird empfohlen, keine warmmietneutrale Mehrmiete anzusetzen, sondern die Mehrmieten geringer zu gestalten. Beispielsweise würde bereits eine um 9 ct geringere Mehrmiete pro Jahr und pro m² die erwarteten Kosteneinsparungen der Mietenden auf 80 € im Jahr erhöhen und für die Investierenden immer noch in einem positiven erwarteten Kapitalwert resultieren.

Zusätzlich sollte an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass klimaneutrale Wohnquartiere durch ihre geringeren Energiebedarfe einen stark positiven Effekt auf das allgemeine finanzielle Risiko von Mietenden haben. So haben Mietendende allgemein geringere Ausgaben für Wärmeenergie und Strom und sind künftig schwankenden Rohstoff- und Strompreisen in einem wesentlich geringeren Umfang ausgesetzt als in einem herkömmlichen Wohnquartier.

Quartier in Überlingen

Analog zu dem Quartier in Stuttgart wurden auch für das Überlinger Quartier Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen aus Quartiers-, Investierenden- und Mietendensicht durchgeführt. Das Wohnquartier in Überlingen besteht aus einem Alt- und einem Neubauteil. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Wirtschaftlichkeitsberichts lag jedoch nur ein Energiekonzept für den Neubaubereich vor, weshalb hier zunächst lediglich die Kennzahlen für den Neubaubereich berechnet werden. Die unterschiedlichen Kosten sowie Energieverbräuche der Basis- und der klimaneutralen Energieversorgungen sind zwei verschiedenen Wohnquartieren der Baugenossenschaft Überlingen entnommen. Bei dem Wohnquartier, das als klimaneutrales Konzept betrachtet wird, handelt es sich um die im Rahmen des Stadtquartierprojekts bereits gebauten Neubauten. Für die drei Perspektiven ergeben sich die Ergebnisse in Tabelle 22:

Tabelle 22:
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung aus Quartierssicht.

Klimaneutrales Energiekonzept	Erwarteter Kapitalwert	„Bad Case“ Kapitalwert (5 % Quantil)	Wahrscheinlichkeit, dass Kapitalwert < 0
Quartierssicht	0,19 Mio. €	0,07 Mio. €	0,04 %
Investierendensicht	0,19 Mio. €	0,13 Mio. €	0 %
Mietendensicht	0 €	-92 €	52 %

Aus Quartierssicht betrachtet hat das klimaneutrale Energiekonzept einen positiven erwarteten Kapitalwert. Somit ist ein klimaneutrales Quartierskonzept im Erwartungswert wirtschaftlicher als ein „Standard“-Quartier. Die Risikobewertung zeigt zudem, dass lediglich ein vernachlässigbares Risiko vorliegt, dass die klimaneutrale Energieversorgung nicht wirtschaftlich ist.

Verglichen mit den Kapitalwerten aus Quartierssicht ist der erwartete Kapitalwert aus Sicht des Investierenden unverändert. Der Unterschied zur Quartierssicht ist das finanzielle Risiko. Da die Mehrmieten nicht von Risiko betroffen sind und der Investierende bzw. Vermietende nicht das Risiko sich ändernder Energiepreise trägt, ist das Risiko wesentlich niedriger.

Der erwartete Kapitalwert aus Mietendensicht ist 0. Dies entspricht der Definition einer warmmietneutralen Mehrmiete. Im Gegensatz dazu ist das finanzielle Risiko für Mietende nicht gleich 0. So gibt es ein erhebliches Risiko, dass die Mietenden unter Berücksichtigung einer warmmietneutralen Mehrmiete in einem klimaneutralen Quartier höhere Kosten tragen als in einem „normalen“ Wohnquartier. Um dieses Risiko auszugleichen, wird Vermietenden empfohlen, eine kleinere Mehrmiete anzusetzen. Beispielsweise würde bereits eine um 9 ct. geringere Mehrmiete pro Jahr und pro m² die erwarteten Kosteneinsparungen der Mietenden auf 106 € im Jahr erhöhen und für die Investierenden immer noch zu einem positiven erwarteten Kapitalwert führen.

Die hier vorgestellten Ergebnisse umfassen beide Deliverables des Arbeitspakets, welche sich mit dem Wirtschaftlichkeitsbericht zu den Energiekonzepten der beiden Quartiere in Stuttgart und Überlingen befassen.

Weiterführende Informationen:

- Wirtschaftlichkeitsbericht zu dem Energiekonzept Stuttgart und Überlingen [Fraunhofer FIT 2021-2]

2.7 Ökobilanzbewertung von Energiekonzepten

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer IBP

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Forschungsinstitut für Wärmeschutz, Landeshauptstadt Stuttgart, Stadtwerk am See, puren

2.7.1 Aufgabenstellung

Für die beiden Energiekonzepte der Demonstrationsquartiere in Stuttgart und Überlingen sowie die generischen Energiekonzepte aus dem Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere [Schrade 2022-1] sollten Ökobilanzen in Anlehnung an ISO 14040/44 [Beuth 2021-1/Beuth 2021-2] erarbeitet werden. Das Ziel war es, robuste Ökobilanzkennwerte (graue Energie auf Quartiersebene und z.B. Feinstaubausstoß) zu generieren. Es sollten Mikro- (Produkt/Technologie), Meso- (Gebäude) und Makroebene (Quartier) eingebunden werden, um relevante Zusammenhänge, Einflussgrößen und Wechselwirkungen zu identifizieren. Die ermittelten Kennwerte flossen in die Entwicklung des Ökobilanz-Moduls für das Softwaretool District ECA (siehe Kapitel 2.15) ein.

Für die in den Konzepten beinhalteten Produkte und Technologien sollten auf Mikroebene bestehende Ökobilanzmodelle genutzt, angepasst oder neue Ökobilanzmodelle erstellt werden. Darauf basierend sollten im nächsten Schritt Gebäudeökobilanz für die verschiedenen beinhalteten Gebäudetypen auf Mesoebene erarbeitet werden, bevor diese dann in der Makroebene zu Ökobilanzmodellen für Quartiere verdichtet werden sollten.

2.7.2 Vorgehen

Methodisches Konzept

Für die Ökobilanzierung wird hierzu ein dreistufiger Ansatz verfolgt (siehe Bild 29), der die Analyse-Ebene (Mikro; Makro; Meso), den Detailgrad der Analyse vollständig; vereinfacht; Screening) [Gantner 2011-1], [Gantner 2011-2] und den Lebenszyklusbezug verknüpft. Der Lebenszyklusbezug ermöglicht die Erweiterung der Bilanzgrenzen für die Fragestellung der Klimaneutralität im Quartier, indem konstruktive Aspekte und Materialeinsatz im Quartier, neben den aus dem Gebäudebetrieb resultierenden CO_2-äquivalenten Emissionen, mit berücksichtigt werden.

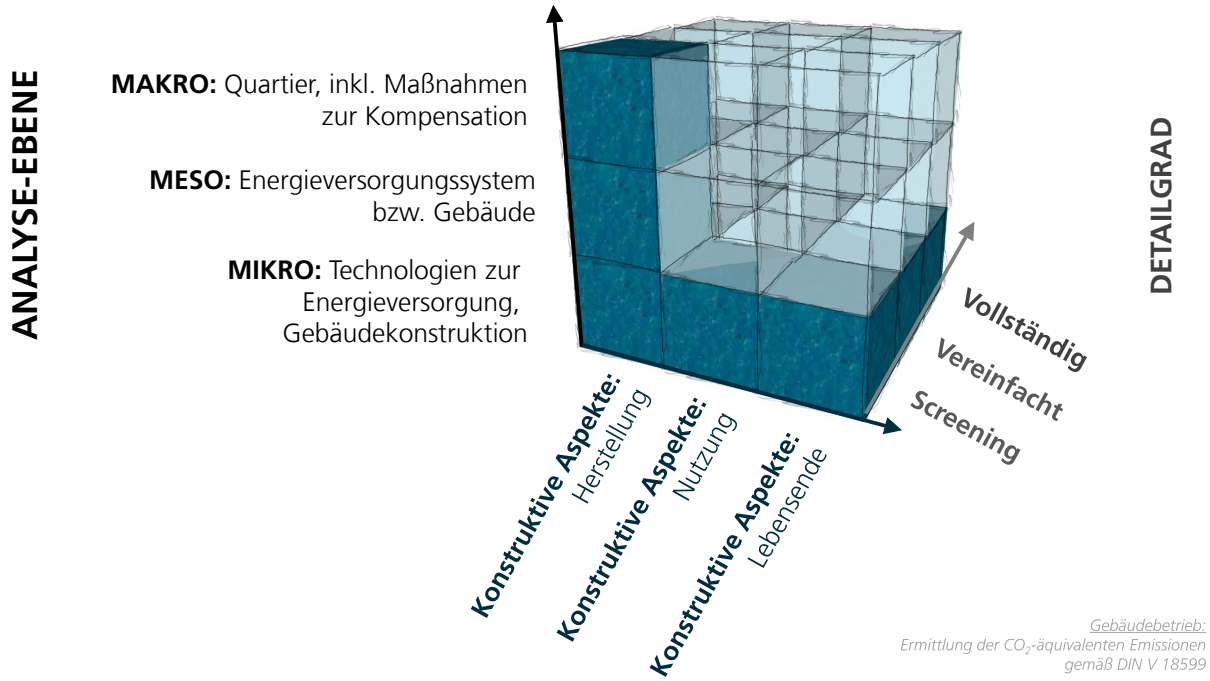


Bild 29:
Dreistufiger Ökobilanz-Ansatz für die Analyse-Ebene, den Lebenszyklusbezug und den Detailgrad. (Eigene Darstellung).

Die Analyse-Ebene definiert die Elemente (Meso und Mikro) des jeweiligen Quartiers (Makro), die Teil des sogenannten Untersuchungsrahmens werden. Diese sind:

- Gebäude (Meso) mit unterschiedlichen Bausteinen der Gebäudekonstruktion (Mikro) sowie unterschiedlichen Technologien der dezentralen Energieversorgung (Mikro);

- Energieversorgungssystem (Meso) mit einzelnen Technologie-Bausteinen für die dezentrale (gebäudenahe/gebäudeintergierte) und zentrale Energieversorgung (Mikro) sowie Maßnahmen zur Kompensation (Mikro).

Die Bilanzgrenzen der ökologischen Analyse erstrecken sich damit also auf die Gebäude sowie die dezentralen und zentralen Technologien der Energieversorgung. Projektspezifische Ökobilanzmodelle für die Gebäude und die Technologien der Energieversorgung bilden die Grundlage für die ökologische Bewertung.

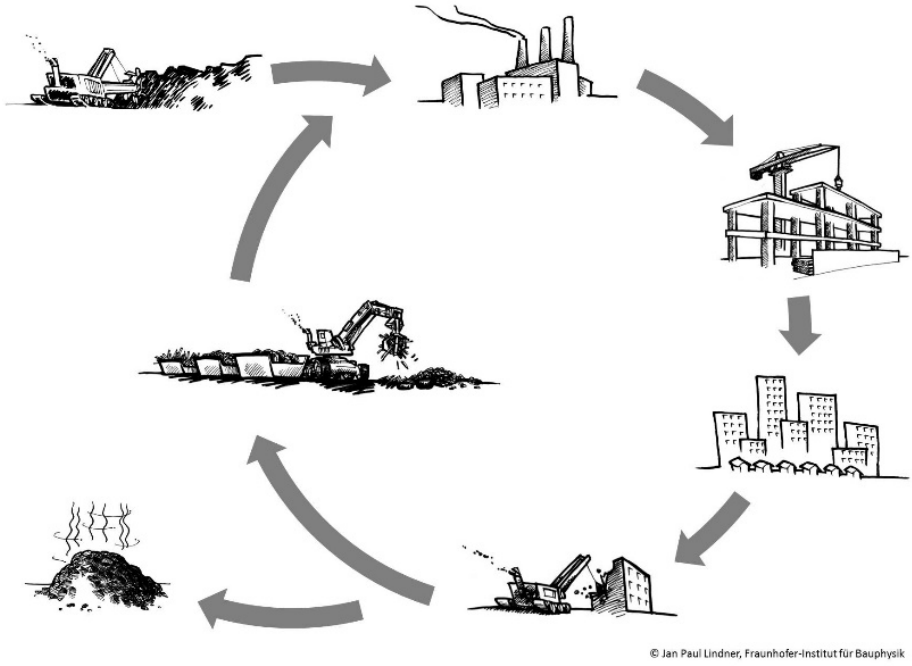


Bild 30:
Lebenszyklus im Bauwesen [Fraunhofer IBP 2016].

Ökobilanz: Technisch hergestellte und vom Menschen genutzte Produkte haben Wirkungen auf die Umwelt – über ihren gesamten Lebenszyklus (Bild 30), von der Entnahme von Ressourcen aus der Natur, über die Herstellung und Nutzung der Produkte bis hin zu ihrem Lebensende. Die Ökobilanz ist eine international anerkannte und genormte Methode [Beuth 2021-1], [Beuth 2021-2], mit Hilfe derer diese potenziellen Umweltwirkungen (auch Umweltleistung genannt) objektiv und vergleichbar beziffert werden können. Es können unterschiedliche Umweltproblemfelder betrachtet werden. Die wohl gängigsten sind z. B. die globale Erwärmung und der Beitrag zum Klimawandel (GWP) oder aber auch der Verbrauch primärenergetischer fossiler Energieträger und Ressourcen (PENRT). Durch die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus sowie verschiedener Umweltthemen stellt die Ökobilanz sicher, dass Problemverlagerungen identifiziert werden und ökologische Optimierungsmaßnahmen zielgerichtet erfolgen können.

Ablauf und Durchführung einer Ökobilanz: Um die potenziellen Umweltwirkungen über den Lebenszyklus ermitteln zu können, müssen Ressourcen und Emissionen entlang der Wertschöpfungskette erfasst werden. Hierzu werden Struktur- und Funktionsmodelle in entsprechender Ökobilanz-Software aufgebaut. Zunächst werden die Zielstellung und ein festgelegter Untersuchungsrahmen definiert, um eine funktionelle Einheit (als vergleichbare Bezugsgröße für die Ergebnisse der Ökobilanz), die Systemgrenzen sowie die zu untersuchenden Lebenszyklusphasen abzugrenzen. In Übereinstimmung mit dem Untersuchungsrahmen, werden anschließend alle relevanten

Stoff- und Energieströme identifiziert und erfasst (Sachbilanz) und deren potenzielle Wirkungen auf die Umwelt bestimmt (Wirkungsabschätzung). Das Ziel (Auswertung und Interpretation) kann hierbei z. B. sein, entwicklungsbegleitend ökologische Hot Spots zu identifizieren, ein Ökobilanz-Screening für eine spezielle Lebenszyklusphase vorzunehmen oder eine umfassende Bilanz im Rahmen einer Nachhaltigkeitszertifizierung durchzuführen.

Ökobilanzen im Bauwesen: Ökobilanzen im Bauwesen stellen eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der ökologischen Qualität von Bauprodukten, Gebäuden und Quartieren dar. Sie sind obligatorisch im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung [DGNB 2023] eingebunden und in Deutschland seit dem Jahr 2021 für die Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG, [KfW 2022], [BMWSB 2022]) verpflichtend. Für eine verbesserte Transparenz in der Kommunikation der Umweltleistung von Bauprodukten werden Umweltproduktdeklarationen (engl. Environmental Product Declaration (EPD) [Beuth 2020]) genutzt. Die ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021-2] stellt die größte europäische und frei zugänglich Datenbank für Bauprodukte dar, die insbesondere im Rahmen der Gebäudeökobilanz zur Anwendung kommt. Sie enthält Umweltinformationen für gängige Bauprodukte und Energieträger in generischer Form als auch spezifische Bauproduktinformation (EPDs). Die Umweltinformationen der ÖKOBAUDAT sind konform zu den Anforderungen der europäischen Normung [Beuth 2020] und basieren in der Regel auf der professionellen, industrienahen Expertensoftware und Datenbank Sphera LCA for Experts [Sphera 2023]. Die mit einem Gebäude verknüpften potenziellen Umweltwirkungen können mit Hilfe des Instruments der Gebäudeökobilanz [Beuth 2012] bewertet werden. Praxisrelevante Tools für die Gebäudeökobilanz verknüpfen vorhandene Umweltinformationen mit den Bestandteilen des Gebäudes, das in einzelne, strukturierte baukonstruktive und anlagentechnische Elemente und Schichten zerlegt wird. Sie unterstützen damit entwicklungsbegleitend sowohl in den frühen Planungsphasen als auch in der Detail-/Ausführungsplanung.

Zielstellung

Mit Hilfe der Ökobilanzbewertung soll die Frage beantwortet werden, welche potenziellen Umweltwirkungen sich über den Lebenszyklus für die analysierten Quartiere und die gewählten Energieversorgungskonzepte ergeben.

Die Analyse soll vereinfacht erfolgen und entsprechende Hintergrunddaten (Technologiemodelle, Gebäudemodelle, Quartiersmodelle) hierfür bereit gestellt werden. Der Fokus der Analyse im Quartier liegt auf der Identifikation der sogenannten „grauen Umweltwirkungen (Emissionen und/oder Energie)“ über die Methode der Ökobilanz. Unter dem Begriff der „grauen Umweltwirkungen“ werden potenzielle lebenszyklusbezogene Umweltwirkungen verstanden, die konstruktiv mit dem Energieversorgungskonzept einhergehen. Sie fallen zusätzlich neben den potenziellen Umweltwirkungen des

Gebäudebetriebes (verursacht durch den Einsatz von Energieträgern für die Bereitstellung von z. B. Wärme, Kälte und Strom) über den Lebenszyklus des Quartiers an. Sie stellen einen zusätzlichen „ökologischen Mehraufwand“ dar, der beim Wunsch zur Zielerreichung einer Klimaneutralität [Braune 2020] über den gesamten Quartierslebenszyklus potenziell mitberücksichtigt und gegebenenfalls zusätzlich kompensiert werden muss.

Mit Hilfe der Ökobilanzbewertung werden folgende Fragestellungen im Projekt untersucht:

- Welche Elemente des Quartierskonzepts (Gebäude, Energieversorgung, Maßnahmen zur Kompensation wie PV) sind maßgeblich und potenziell verantwortlich für den konstruktionsbezogenen Umweltbeitrag über den Lebenszyklus?

- Welche absoluten Werte können die konstruktionsbedingten „grauen Umweltwirkungen“ (Emissionen und Energieeinsatz) des Quartierskonzeptes über den Lebenszyklus von 50 Jahren potenziell aufweisen?

- Welche Energieversorgungskonzepte können für einen möglichst geringen Beitrag zu den potenziellen konstruktionsbedingten Umweltwirkungen über den Lebenszyklus eventuell favorisiert werden?

Funktion und funktionelle Einheit

Für die Analyse von Umweltpotenzialen im Rahmen der Ökobilanz wird eine Bezugsgröße für die Ergebnisdarstellung, die sogenannte funktionelle Einheit, benötigt. Die funktionelle Einheit repräsentiert eine quantifizierbare Größe zur Abbildung der maßgeblichen Funktion eines Quartiers über einen definierten Betrachtungszeitraum.

Die Funktion der bilanzierten Quartiere wird in der vorliegenden Analyse mit der Bereitstellung von thermisch konditionierter Gebäudefläche für unterschiedliche Nutzungszwecke (Wohnen, Nichtwohnen) über einen definierten Zeitraum gewählt. Die Funktion der zu bilanzierenden Energieversorgungskonzepte ist die Bereitstellung von Wärme, Kälte, Strom etc. und die Versorgung der unterschiedlichen Gebäude im Quartier über einen definierten Zeitraum. In Anlehnung an gängige funktionelle Einheiten aus der Nachhaltigkeitszertifizierung (DGNB) beziehungsweise der Gebäudeförderung (QNG) mit Flächenbezug, wird als Bezugseinheit gewählt:

1 m² konditionierte Nettoraumfläche (NRF) und 1 Jahr des Betrachtungszeitraums (1 m^2_{NRF} * a)

Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre zu Grunde gelegt.

Bilanzgrenzen und Abschneidekriterien

Lebenszyklusmodule: Die ökologische Bewertung der konstruktiven Aspekte im Quartier, Energieversorgungskonzepte sowie der Gebäude und eingesetzten Technologien über den Lebenszyklus richtet sich nach den Lebenszyklusmodulen gemäß EN 15978 [Beuth 2012]. Es werden die folgenden Lebenszyklusmodule (Bild 47) berücksichtigt:

- Herstellung (Modul A1-A3),
- Nutzung, d.h. Ersatz und Austausch (Modul B4),
- Lebensende, d.h. Abfallbehandlung für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling (Modul C3) und
- Lebensende, d.h. Entsorgung (Modul C4).

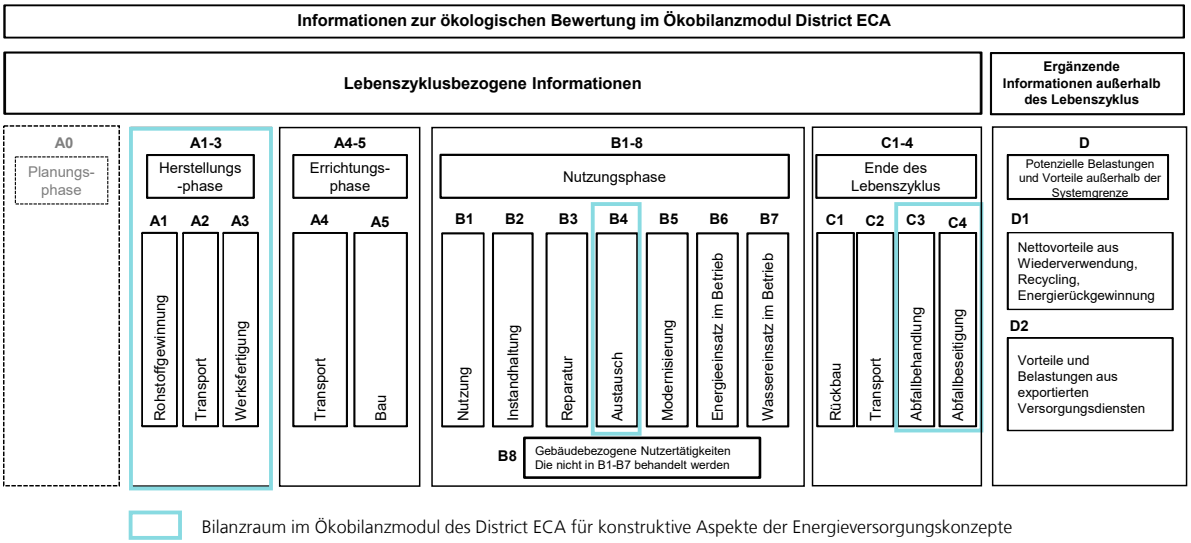


Bild 31:
Berücksichtigte Lebenszyklusmodule für die Ökobilanzbewertung, Darstellung in Anlehnung an EN 15978 [Beuth 2012].

Bestandteile und Elemente: Der Begriff Energieversorgungskonzept schließt nach Projektdefinition sowohl die zu versorgenden Gebäude als auch die zentralen und dezentralen Technologien der Energieversorgung ein, die für die Energieversorgung benötigt werden. In Anlehnung an die Strukturierung von Kostengruppen (KG) der DIN 276 [Beuth 2018-2] werden folgende Kostengruppen differenziert:

- KG300 Baukonstruktion,
- KG400 Technische Anlagen (dezentral), d. h. gebäudeintegriert bzw. gebäudenah eingesetzt und

- KG500 Technische Anlagen (zentral), d. h. gebäudefern.

Betrachtungszeitraum: Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre für die Ökobilanz zu Grunde gelegt.

Annahmen und Abschätzungen

Die im Projekt zu bilanzierenden Quartiere bieten eine breite Variantenvielfalt. Neben der Bewertung von Bestands- und Neubauquartieren müssen auch Sanierungstätigkeiten abgebildet werden. Die hinter der energetischen Analyse liegende Bewertungslogik ist in allen drei Anwendungsfällen (Bestand, Sanierung, Neubau) ähnlich. Für die ökologische Analyse muss an dieser Stelle allerdings differenziert werden, wie nachfolgend erläutert:

- Umgang mit Bestand: Für Bestandsquartiere und vorhandene Energieversorgungskonzepte ist der Beitrag durch konstruktive Aspekte im Rahmen der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung definitionsgemäß „Null". Es erfolgt auch keine teilweise Anrechnung. Es werden nur die CO_2-äquivalenten Emissionen ermittelt, die im Rahmen des Gebäudebetriebes anfallen.

- Umgang mit Neubau: Es werden alle konstruktiven Elemente des Quartiers und des jeweiligen Energieversorgungskonzeptes im Sinne der Bilanzgrenzen bilanziert und vollständig angerechnet. Die Bewertungslogik für konstruktive Aspekte berücksichtigt hier den sogenannten „Bau auf der grünen Wiese".

- Umgang mit Sanierung: Für den Fall der Sanierung werden Maßnahmen auf Basis von Leistungsverzeichnissen (Primärdaten) spezifisch abgebildet, generische Sanierungsmaßnahmen bilanziert oder pauschale Ansätze genutzt. Für die spezifische Bilanzierung werden vereinfacht nur die im Rahmen der Sanierung neu eingebrachten Materialströme berücksichtigt und analog dem Neubau in Herstellung, Ersatz/Austausch und Lebensende bilanziert. Im Falle der Energieversorgung (zentral und dezentral) wird vereinfacht immer von einem kompletten Tausch der Erzeugertechnologien (Strom, Wärme, Kälte, Lüftung etc.) ausgegangen.

Ersatz und Austausch von Komponenten (Modul B4): Der Ersatz und Austausch von Komponenten der Baukonstruktion sowie der technischen Anlagen wird über den Zeitraum von 50 Jahren berücksichtigt, sofern die Lebensdauer dieser Komponenten und Anlagen geringer als der Betrachtungszeitraum ist. Hierzu wird eine Austauschhäufigkeit mit ganzzahligem Austausch berücksichtigt. Für die Baukonstruktion werden die Nutzungsdauern gemäß Leitfaden Nachhaltiges Bauen [BMWSB 2021-1] und für die Technischen Anlagen gemäß VDI 2067 [VDI 2012] genutzt.

Szenarien für das Lebensende (Modul C): In Anlehnung an Vorgaben zur Ökobilanz aus der Nachhaltigkeitszertifizierung [DGNB 2023] beziehungsweise der Gebäudeförderung [BMWSB 2022] werden für das Lebensende materialgruppenspezifische Ansätze genutzt:

- Mineralische Materialien: Stoffliche Verwertung und/oder Entsorgung (Inertstoffdeponie);
- Metalle: Stoffliche Verwertung/Recycling;
- Materialien mit Heizwert: Thermische Verwertung;
- Alle sonstigen Materialien: Entsorgung (Inertstoffdeponie).

In der Regel sind diese materialgruppenspezifischen Ansätze sowie die hiermit verbundenen etwaigen Belastungen und Gutschriften in den hauptsächlich verwendeten Ökobilanzdaten der ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021-2] enthalten. Für projektspezifische Modelle zur Abbildung der Energieversorgung werden diese Ansätze entsprechend übernommen und in der Modellbildung berücksichtigt.

Nicht-energetisch relevante Bauteilflächen: Insbesondere die Typgebäude der übertragbaren Lösungsansätze für Klimaneutralität [Schrade 2022-1] weisen nur energetisch relevante Bauteile der Gebäudehülle aus, die im Rahmen der Energiebedarfsberechnung Berücksichtigung finden. Für die Ökobilanz sind aber auch nicht-energetisch relevante Bauteile wie Gründung/Unterbau (KG320), Innenwände (KG340), Treppen (KG350) und Decken (KG350) von Bedeutung. Für die Innenwände (KG340) und Decken (KG350) wurden hierzu vergleichbare Gebäudeprojekte aus dem Baukosteninformationssystem BKI [BKI 2022] auf Flächeninformationen ausgewertet. Für Gründung/Unterbau (KG320) und Treppen (KG350) wurden Erfahrungswerte für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) aus vergangenen Projekten des Fraunhofer IBP zur Abschätzung gewählt. Die Ansätze nutzen für die Schließung vorhandener Datenlücken für Bauteile jeweils den Bezug zur Nettoraumfläche.

Sicherheitsaufschläge: Sicherheitsaufschläge sind in der vorliegenden Analyse bei Anwendung eines vereinfachten Bilanzierungsverfahrens nicht berücksichtigt. Sie führen bei Anwendung konservativer Bewertungsansätze zu erhöhten, absoluten und potenziellen Umweltwirkungen für die Gebäudekonstruktion sowie die Lebenszyklusmodule Herstellung (A1-A3), Austausch/Ersatz (B4) und Lebensende (C3-C4).

Umgang mit dem Gebäudebetrieb: Die Eingangsdaten für die Bilanzierung des Gebäudebetriebs (Modul B6) werden gemäß Methodik der DIN V 18599 [Beuth 2018-1] ermittelt. Hierzu zählen u. a. Energiebedarfswerte für Strom, Wärme, Kälte als auch für die jährliche Energieproduktion bei Nutzung von Photovoltaik und Windkraft. Die so ermittelten Energiebedarfswerte werden

mit den gemäß DIN V 18599 anzusetzenden Faktoren für die Ermittlung der CO_2-äquivalenten Emissionen verrechnet. Die Faktoren gemäß DIN V 18599 basieren auf dem Rechenmodell von GEMIS [IINAS 2024]. Sie müssen von den Ökobilanzergebnissen für die konstruktiven Aspekte des Quartiers differenziert werden, da hier nicht zwingend Kongruenz und Deckungsgleichheit im methodischen Ansatz der verwendeten Faktoren und Hintergrunddaten gegeben ist.

Datenqualität und Ökobilanzsoftware

Umweltinformationen zur Berücksichtigung der Emissionen aus dem Gebäudebetrieb werden auf Grundlage der DIN V 18599 [Beuth 2018-1] ermittelt. Umweltinformationen zur Berücksichtigung von potenziellen Emissionen aus Herstellung (A1-A3), Ersatz/Austausch (B4) und Lebensende (C3-C4) werden konsistent zur EN 15804+A1 [Beuth 2020] bereitgestellt.

Die Datengrundlage der Ökobilanzmodelle für die Gebäude und die Technologien zur Energieversorgung stellen zu einem großen Anteil (in etwa 90 %) öffentlich verfügbare Umweltinformationen dar. Hierbei werden zumeist generische Daten der ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021-2] verwendet, welche um produktspezifische Daten sogenannter Umweltproduktdeklarationen ergänzt werden. Im Fall von Datenlücken, wurde für Hintergrunddaten der Ökobilanzmodelle der Technologien der Energieversorgung das Software und Datenbanksystem Sphera LCA for Experts [Sphera 2023] genutzt. Die verwendeten Hintergrunddaten sind geografisch repräsentativ für Deutschland und decken zeitlich den Zeitraum der Jahres 2018 bis 2022 ab. Ökologische Informationen für die Technologien der Energieversorgung sind unter Berücksichtigung spezifischer Bandbreiten für unterschiedliche Leistungsbereiche (z. B. Wärmepumpen im Leistungsbereich von 5 bis 500 kW) und auf Basis der Festlegung von Stellvertreter-Technologien (z. B. Photovoltaik, Silizium, monokristallin) bereitgestellt.

Wirkungsabschätzung

Für die Wirkungsabschätzung werden international akzeptierte Umweltindikatoren und Wirkungskategorien verwendet, die u. a. auch im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung und Gebäudeförderung Anwendung finden. Ihnen liegen belastbare wissenschaftliche Modelle zur Wirkungsabschätzung zu Grunde. Es werden die Umweltindikatoren und Wirkungskategorien gemäß EN 15804+A1 [Beuth 2020] genutzt.

Es werden Ergebnisse für folgende Wirkungskategorien und Umweltindikatoren mit Relevanz für die ökologische Bewertung im Projekt zur Verfügung gestellt:

- Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, total (PENRT) in [MJ]: als potenzieller Beitrag zur stofflichen und energetischen Nutzung von nicht erneuerbaren primärenergetischen Ressourcen sowie

- Treibhauspotenzial (GWP) in [kg CO_2-Äquivalenten]: als potenzieller Beitrag zum Treibhauseffekt (Klimaerwärmung) beziehungsweise zur globalen Klimaänderung und zum globalen Klimawandel.

Anmerkung: Für eine vereinfachte Kommunikation und in Analogie zur energetischen Gebäudebilanzierung werden die Ökobilanzergebnisse zum Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT) in Kilowattstunden angegeben.

2.7.3 Ergebnisse

Für die Interpretation der Ökobilanzergebnisse sind grundsätzlich folgende Sachverhalte relevant:

- Auftretende (negative) potenzielle Umweltwirkungen, die es zu vermeiden gilt, werden aus Sicht der Ökobilanz im mathematischen Sinne als positiver Wert dargestellt. Je geringer der Wert, desto vorteilhafter und desto weniger Emissionen sind potenziell mit dem Quartier verbunden.

- Auftretende (positive) potenzielle Umweltwirkungen, die es gegebenenfalls zu maximieren gilt, werden dagegen im mathematischen Sinne als negativer Wert dargestellt.

- Je näher die ermittelten Werte für das Treibhauspotenzial (GWP) an „Null“ liegen, desto eher kann Klimaneutralität erreicht werden.

Bild 32 gibt einen schematischen Einblick in die Visualisierung und Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Quartiere Stuttgart und Überlingen. Dabei konzentrieren sich alle Ergebnisse und Darstellungen auf die „konstruktiven Aspekte“ der Ökobilanz. Die Lebenszyklusphase B6 Betriebsphase wird herausgenommen, da sie im Vorhaben Stadtquartier 2050 über Ansätze aus dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) berechnet wurde und auch entsprechend des Projektziels klimaneutral sein soll. Der Fokus lag in diesem Arbeitsbereich auf den konstruktionsbedingten Auswirkungen der Gebäude und Technischen Anlagen (zentral und dezentral). In der Nutzungsphase werden Umweltwirkungen, die mit dem Austausch/Ersatz von Komponenten verbunden sind, berücksichtigt (Modul B4).

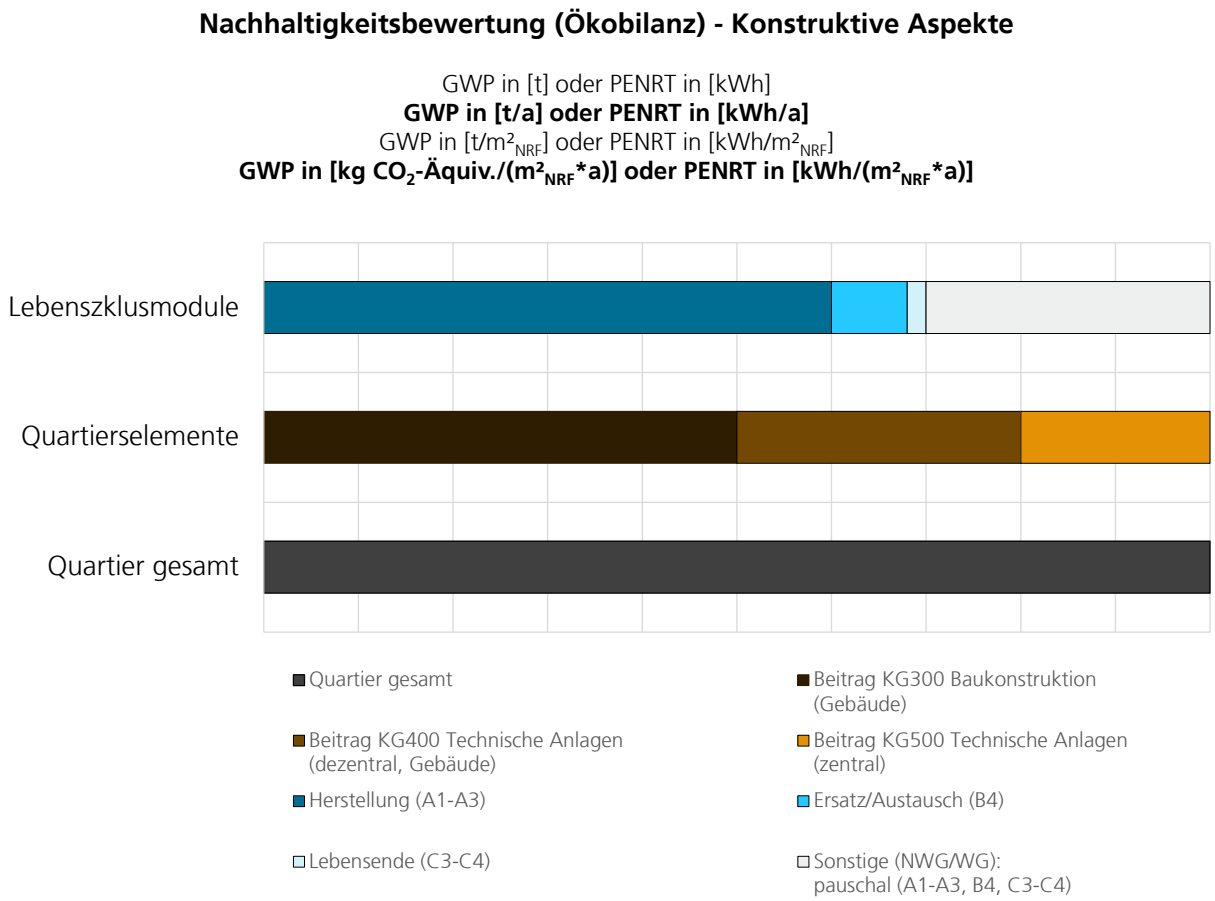


Bild 32:
Schematische Darstellung der Visualisierung von Ökobilanzergebnissen für die konstruktiven Aspekte – nach Elementen des Quartiers am Beispiel eines mischgenutzten Quartiers. (Eigene Darstellung).

Zum einen werden die Ergebnisse der Ökobilanz für konstruktive Aspekte des Quartiers über den Lebenszyklus als absoluter Gesamtwert ausgewiesen. Weiterhin wird differenziert nach den Beiträgen der einzelnen Bausteine des Quartiers: KG300 Baukonstruktion (Gebäude), KG400 Technische Anlagen (dezentral, Gebäude), KG500 Technische Anlagen (zentral). Zum anderen wird für den Gesamtwert nach den Beiträgen der einzelnen Lebenszyklusmodule unterschieden: Herstellung (A1-A3), Ersatz/Austausch (B4) und Lebensende (C3-C4). Die Unterscheidung nach Lebenszyklusmodulen ist nur für die Wohngebäude (WG) umsetzbar. Auf Grund der fehlenden Verfügbarkeit und vorhandenen Struktur von Hintergrunddaten zur Ökobilanz für Nichtwohngebäude, können diese nicht nach Lebenszyklusmodulen differenziert werden. Für die Nichtwohngebäude (NWG) wird nur ein aggregierter Wert aus den Lebenszyklusmodulen ausgewiesen und visualisiert (Wert „Sonstige NWG/WG“).

Die Ergebnisse der ökobilanziellen Bewertung der Quartiere Stuttgart und Überlingen geben Aufschluss über die Relevanz der Technischen Anlagen (zentral/dezentral) sowie der Baukonstruktion für die Erreichung von

Klimaneutralität. Im Folgenden sind beispielhafte Ergebnisse herausgegriffen. Dabei fokussieren sich die dargestellten Ergebnisse für Stuttgart auf zwei Energiekonzeptvarianten, die beide gemäß Projektziel in der Betriebsphase (B6) klimaneutral sind: Heizzentrale mit zentraler Sole Wasser-Wärmepumpe (in der Nachhaltigkeitsbewertung für das Stuttgarter Quartier Variante 2 und ursprünglich priorisiertes Energiekonzept, vgl. Kapitel 2.2) und Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel (Nachhaltigkeitsbewertungs-Variante 3).

In Bild 33 bis Bild 36 sind die Ökobilanzergebnisse des Quartiers Stuttgart exemplarisch für Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel dargestellt. In Bild 33 und Bild 34 ist zu erkennen, dass die Kostengruppe KG300 die höchsten klimarelevanten Umweltwirkungen bedingt. Etwa 58 % des GWPs des Quartiers sind auf dieses Quartierselement zurückzuführen. Mit Blick auf die Lebenszyklusmodule zeigt sich, dass die Herstellung einen signifikanten Anteil der Umweltwirkungen verursacht.

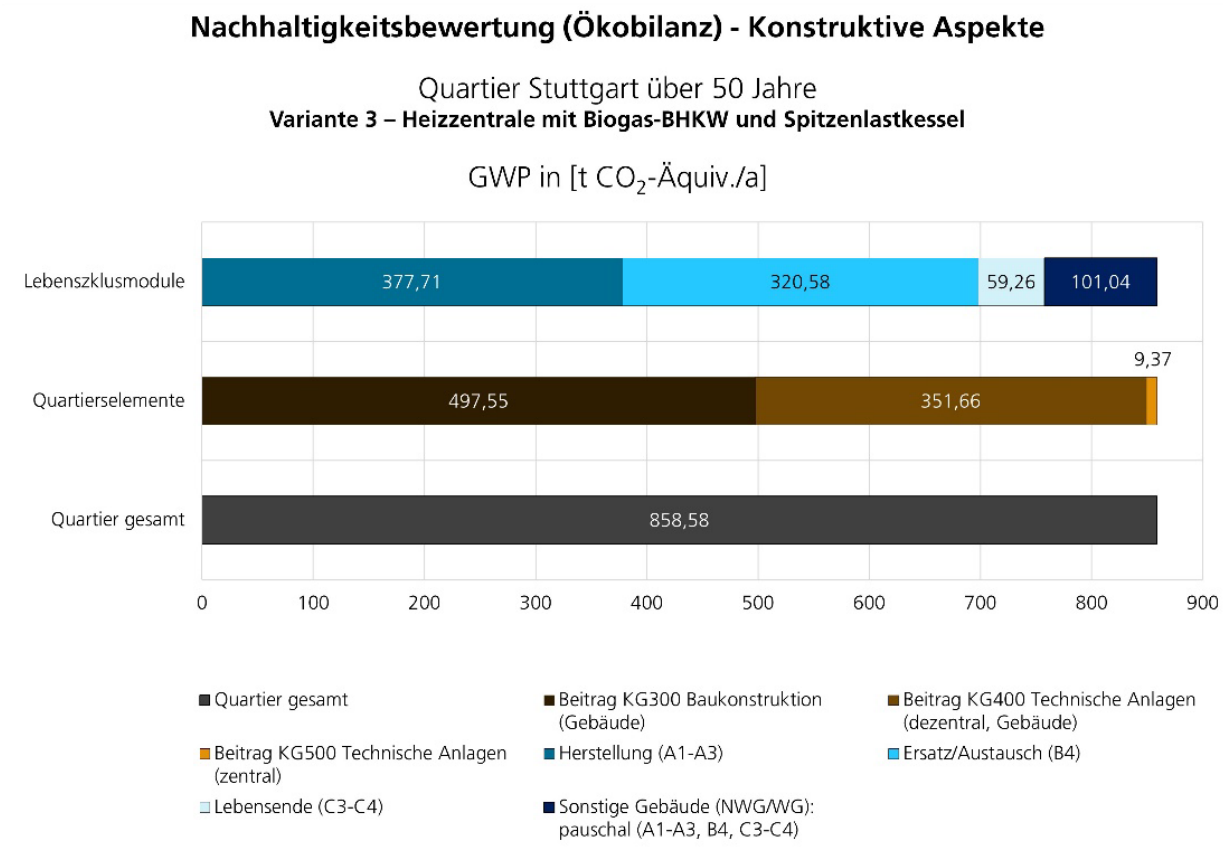


Bild 33:
Ökobilanzergebnisse GWP in [t CO_2-Äquiv./a] – Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel. (Eigene Darstellung).

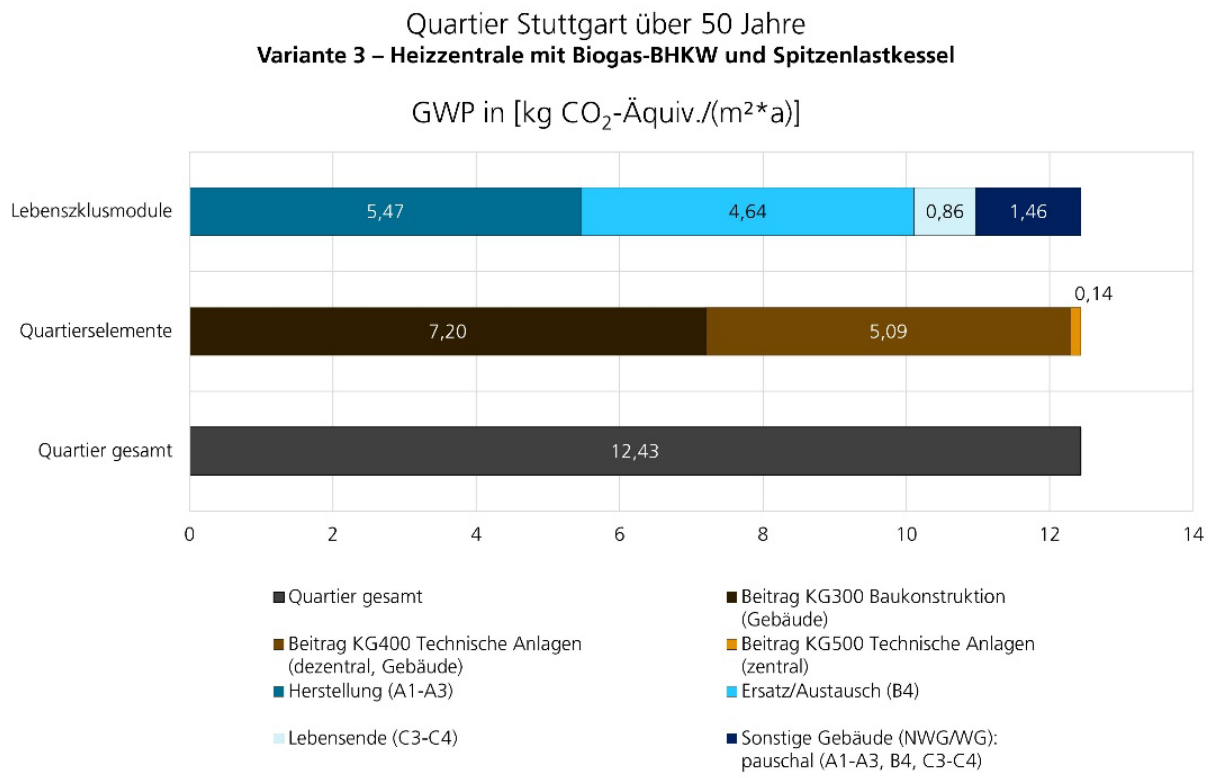


Bild 34:
Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO_2-Äquiv./(m²*a)] – Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel. (Eigene Darstellung).

Die Betrachtung des PENRT-Einsatzes in Bild 35 und Bild 36 zeigt, dass die Kostengruppe KG500 lediglich etwa 1 % der Umweltwirkungen im Quartier verursacht. Der Großteil der Umweltwirkungen des Lebenszyklusmoduls Lebensende sind auf die KG300 zurückzuführen. Dieses Quartierselement bedingt ca. 85 % des PENRT-Einsatzes am Lebensende.

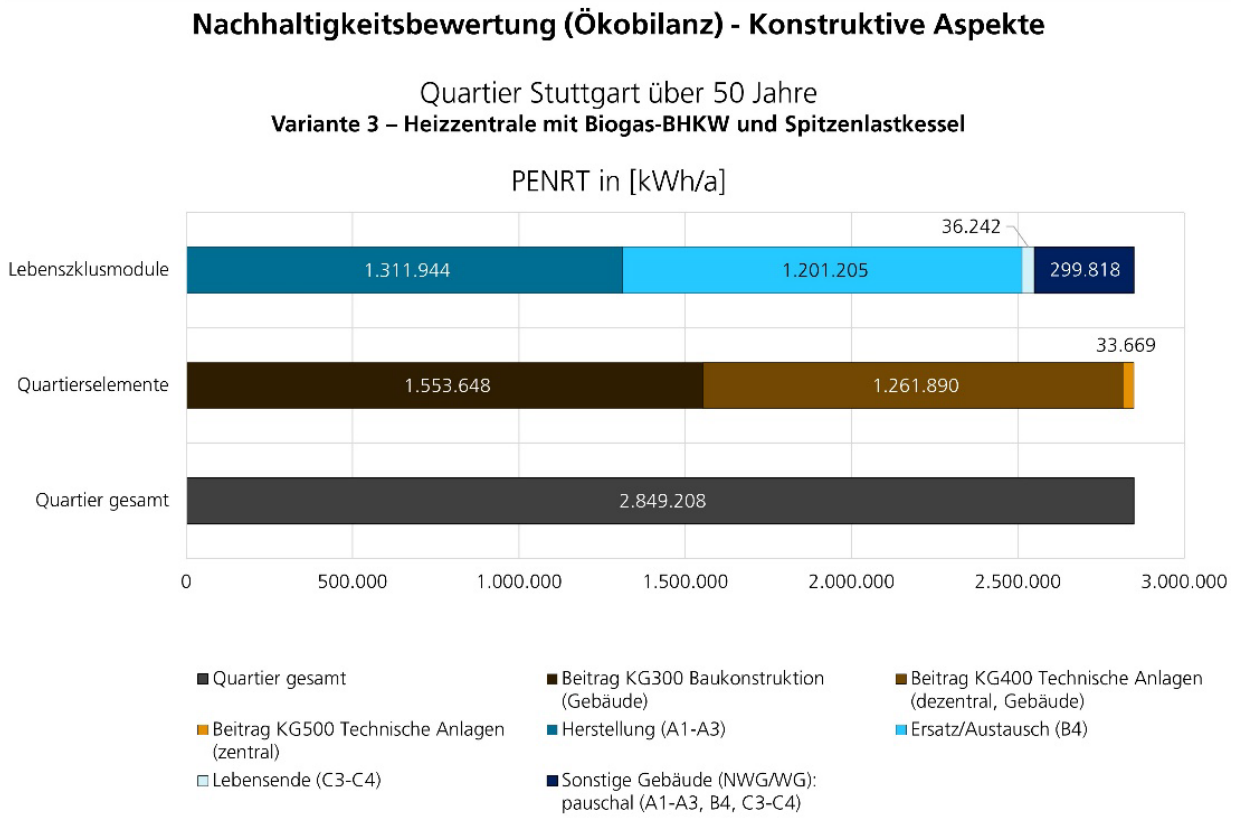


Bild 35:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/a] – Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel. (Eigene Darstellung).

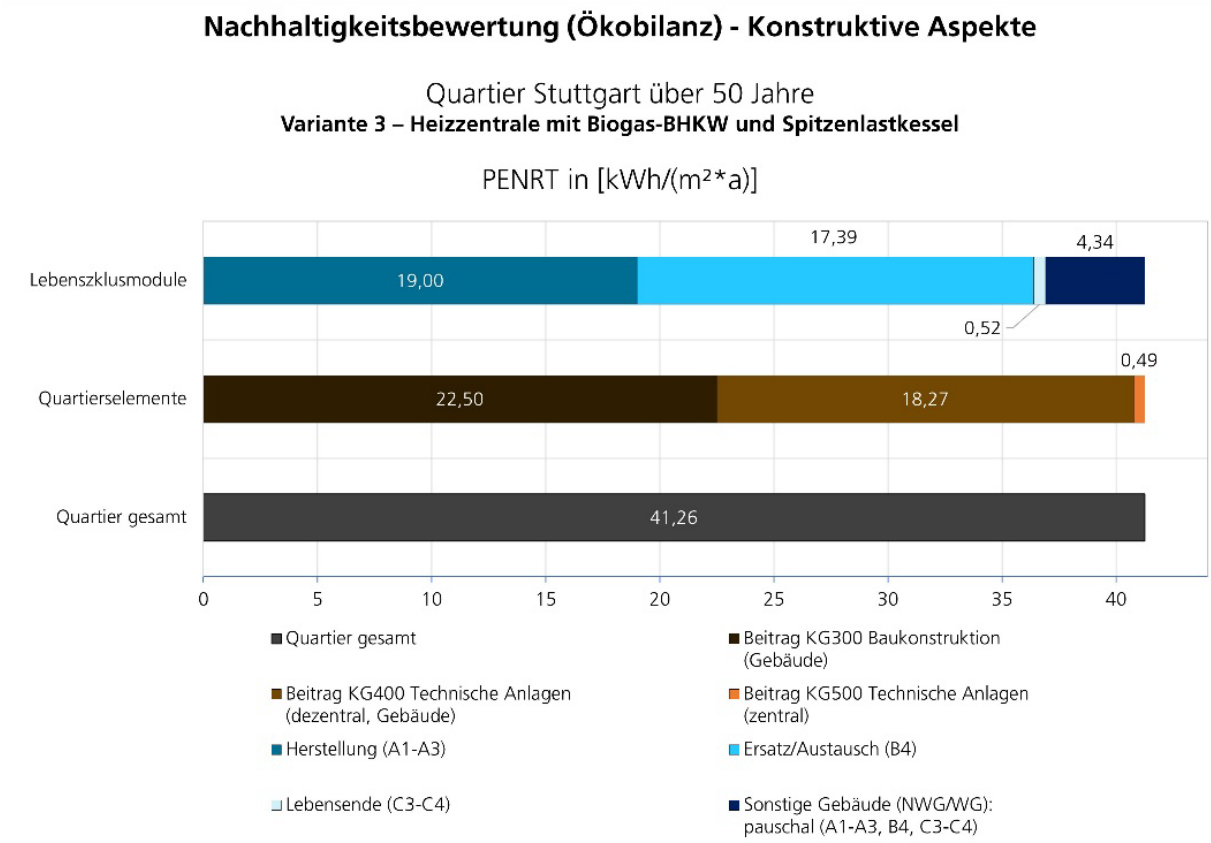


Bild 36:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/(m²*a)] – Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel. (Eigene Darstellung).

In Bild 37 bis Bild 40 sind die Ökobilanzergebnisse beispielhaft für das Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe dargestellt.

Der Vergleich des GWPs der Variante 2 mit Variante 3 des Quartiers Stuttgart zeigt den Einfluss der Kostengruppe KG500 Technische Anlagen (zentral). Während Variante 2 eine zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpe vorsieht, umfasst die Variante 3 ein Biogas-BHKW und einen Biogas-Spitzenlastkessel als zentrale Technische Anlagen. In Variante 2 ist das GWP der KG500 etwa um Faktor 2,5 höher als in Variante 3.

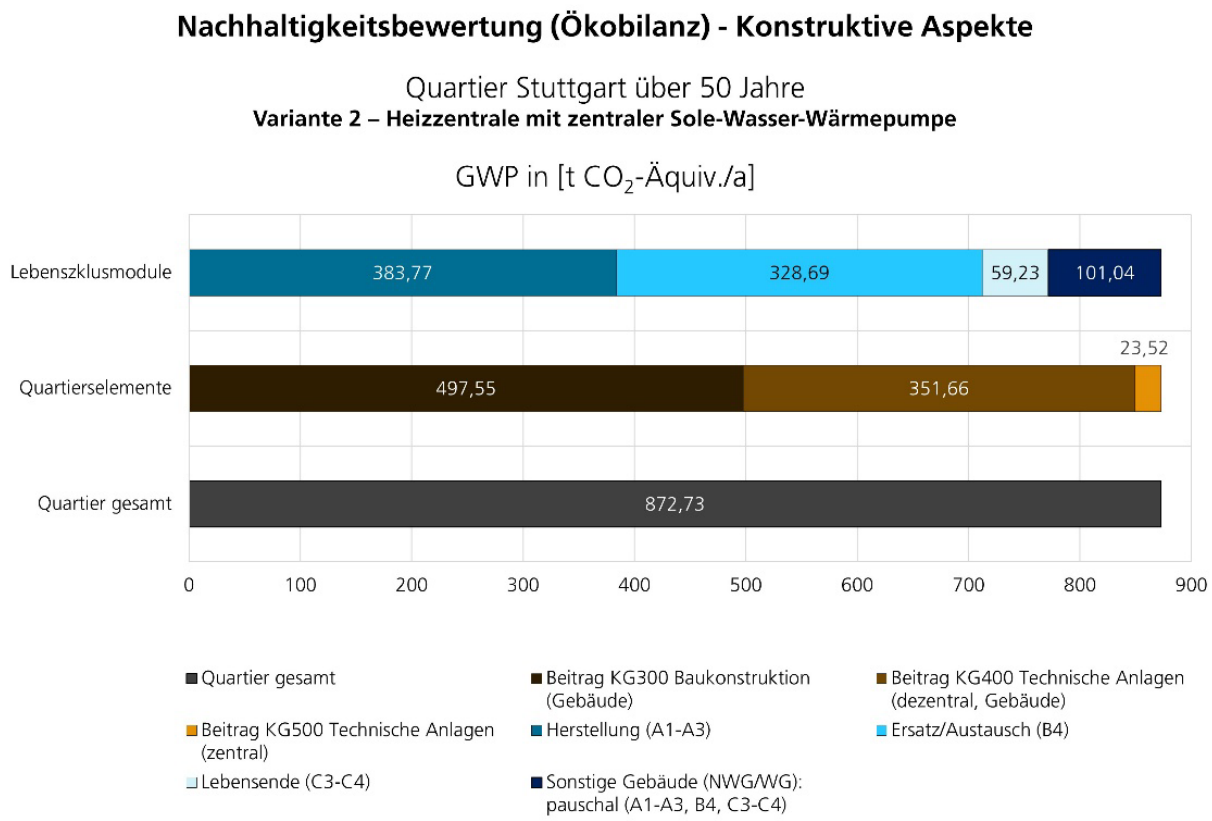


Bild 37:
Ökobilanzergebnisse GWP in [t CO_2-Äquiv./a] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe. (Eigene Darstellung).

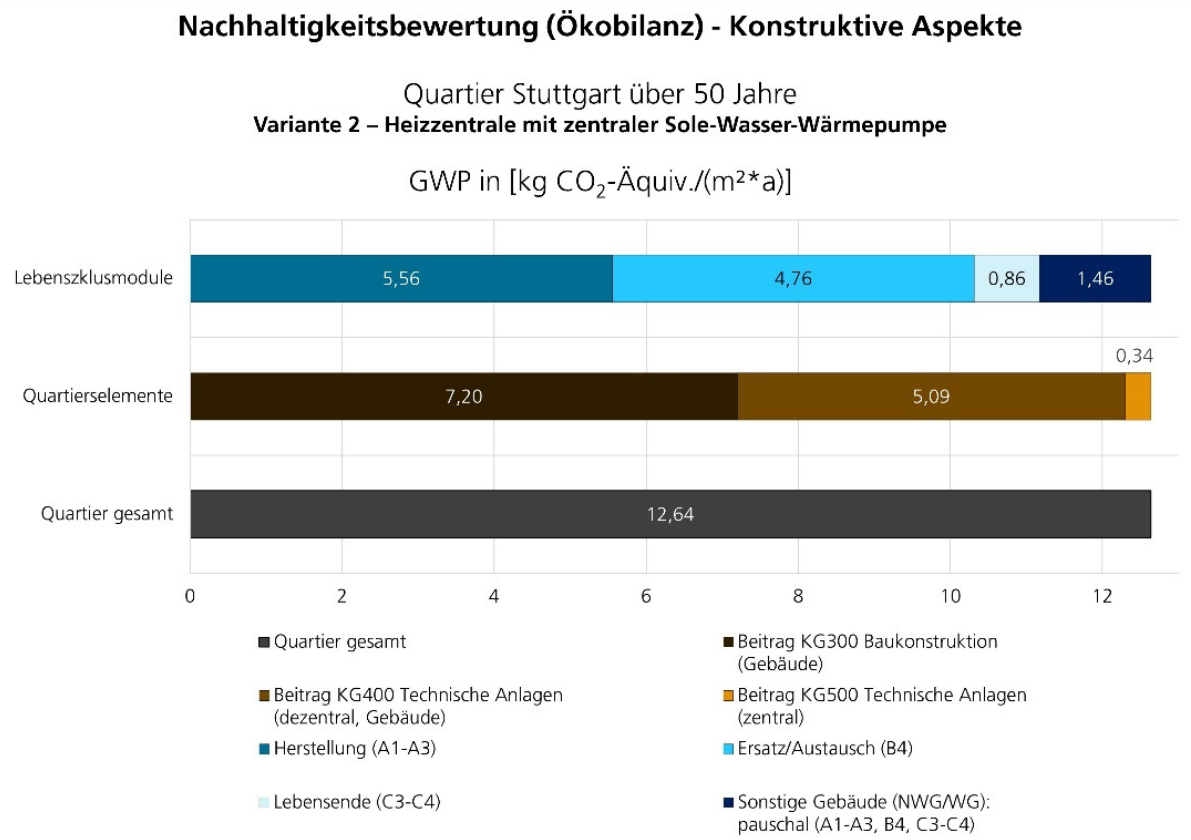


Bild 38:
Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO_2-Äquiv./(m²*a)] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe. (Eigene Darstellung).

In Bild 39 und Bild 40 sind die Ökobilanzergebnisse für den PENRT-Einsatz der Variante 2 des Quartiers Stuttgart über 50 Jahre dargestellt. Die Umweltwirkungen des Quartiers gesamt sind in Variante 2 leicht höher als in Variante 3. Dies ist auf die Kostengruppe KG500 zurückzuführen.

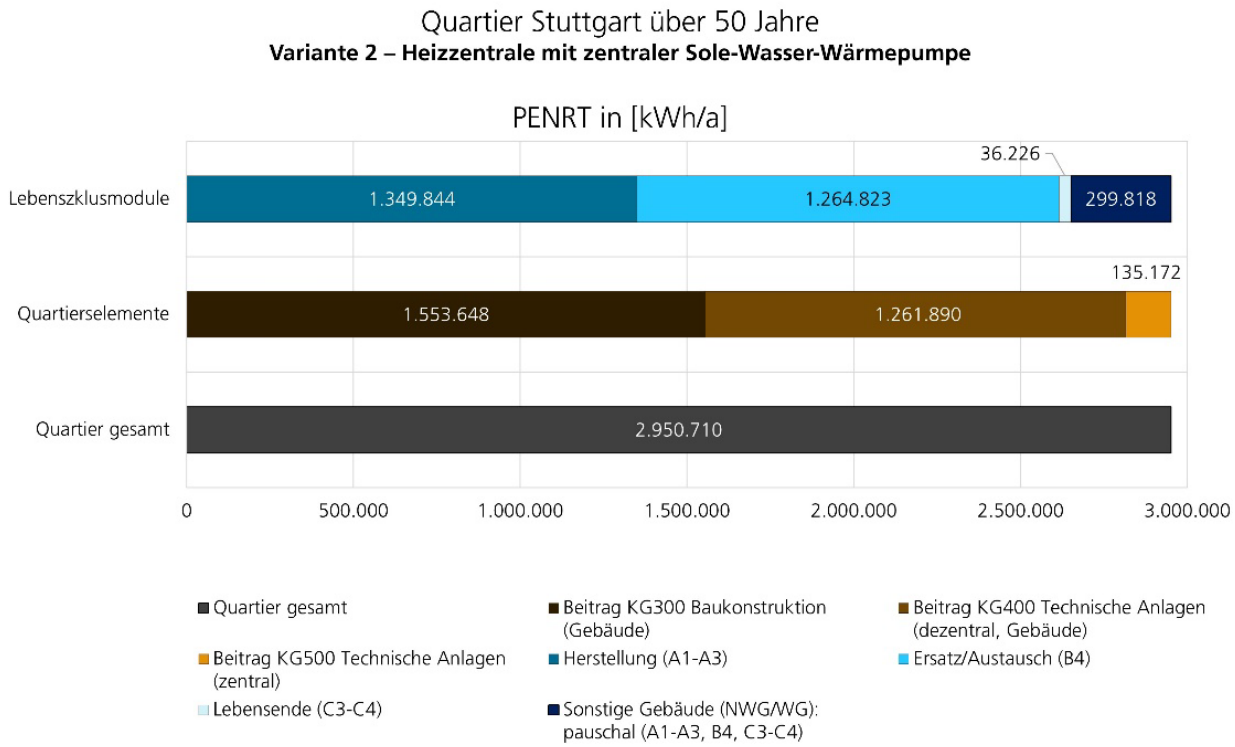


Bild 39:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/a] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe. (Eigene Darstellung).

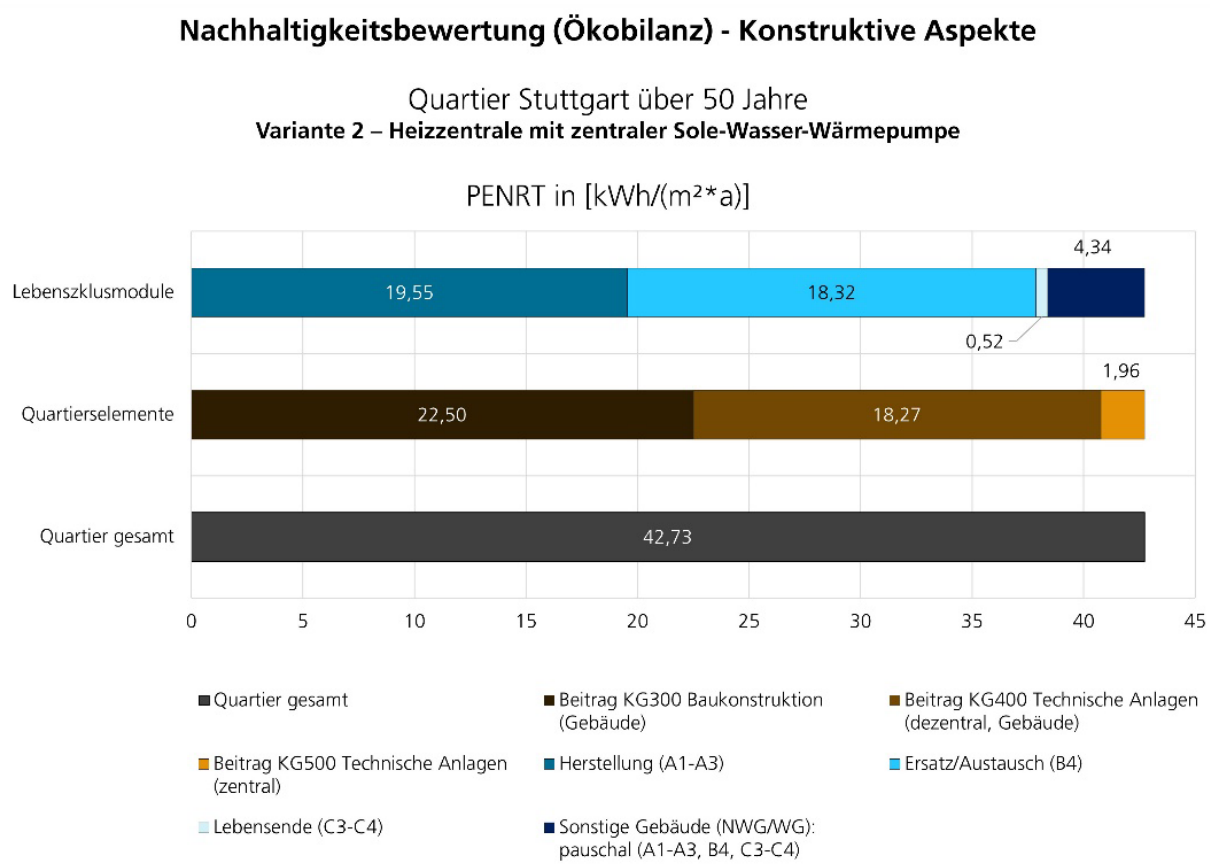


Bild 40:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/(m²*a)] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe. (Eigene Darstellung).

Die Ökobilanzergebnisse des Quartiers Überlingen sind in Bild 37 bis Bild 44 veranschaulicht. In Bild 37 und Bild 38 ist zu erkennen, dass die Kostengruppe KG300 die größten Umweltwirkungen der verschiedenen Quartierselemente verursacht. Etwa 81 % des GWPs sind auf diese Kostengruppe zurückzuführen. Etwa 59 % der Umweltwirkungen sind durch das Lebenszyklusmodul Herstellung bedingt. Um die 94 % des GWPs der Herstellungsphase werden durch die KG300 verursacht.

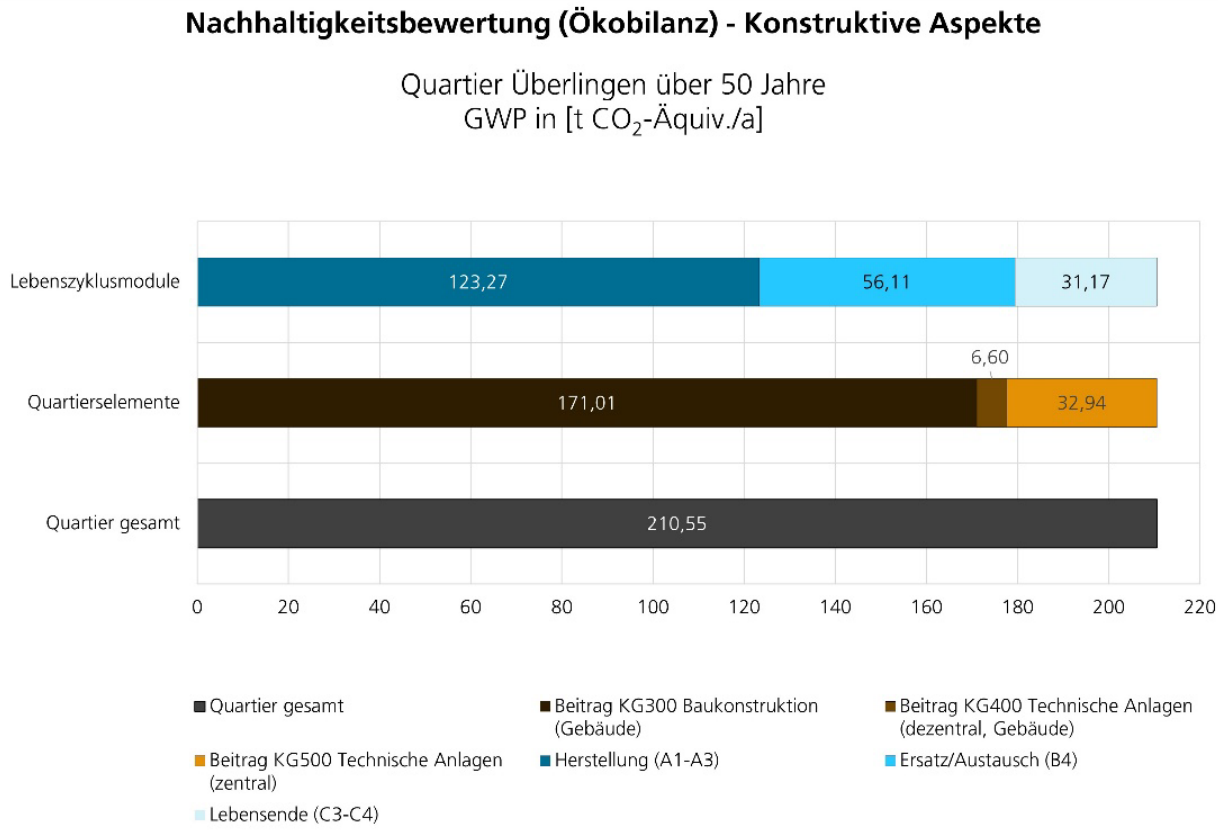


Bild 41:
Ökobilanzergebnisse GWP in [t CO_2-Äquiv./a] – Quartier Überlingen. (Eigene Darstellung).

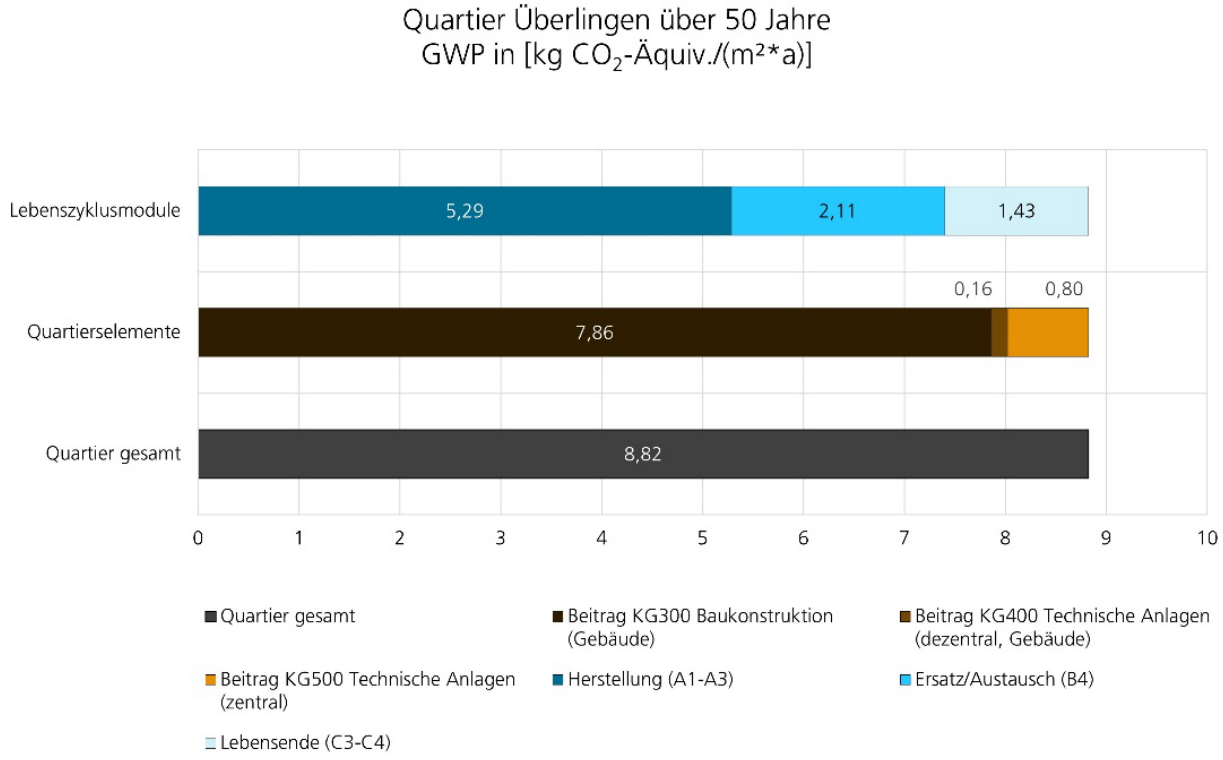


Bild 42:
Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO_2-Äquiv./(m²*a)] – Quartier Überlingen. (Eigene Darstellung).

Der Blick auf Bild 43 und Bild 44 zeigt den großen Einfluss der Kostengruppe KG300 auf die Umweltwirkungen mit Blick auf den PENRT-Einsatz. Auch die Kostengruppe KG500 ist hier nicht unwesentlich. Die zentralen Technischen Anlagen verursachen etwa 16 % der Umweltwirkungen des Quartiers.

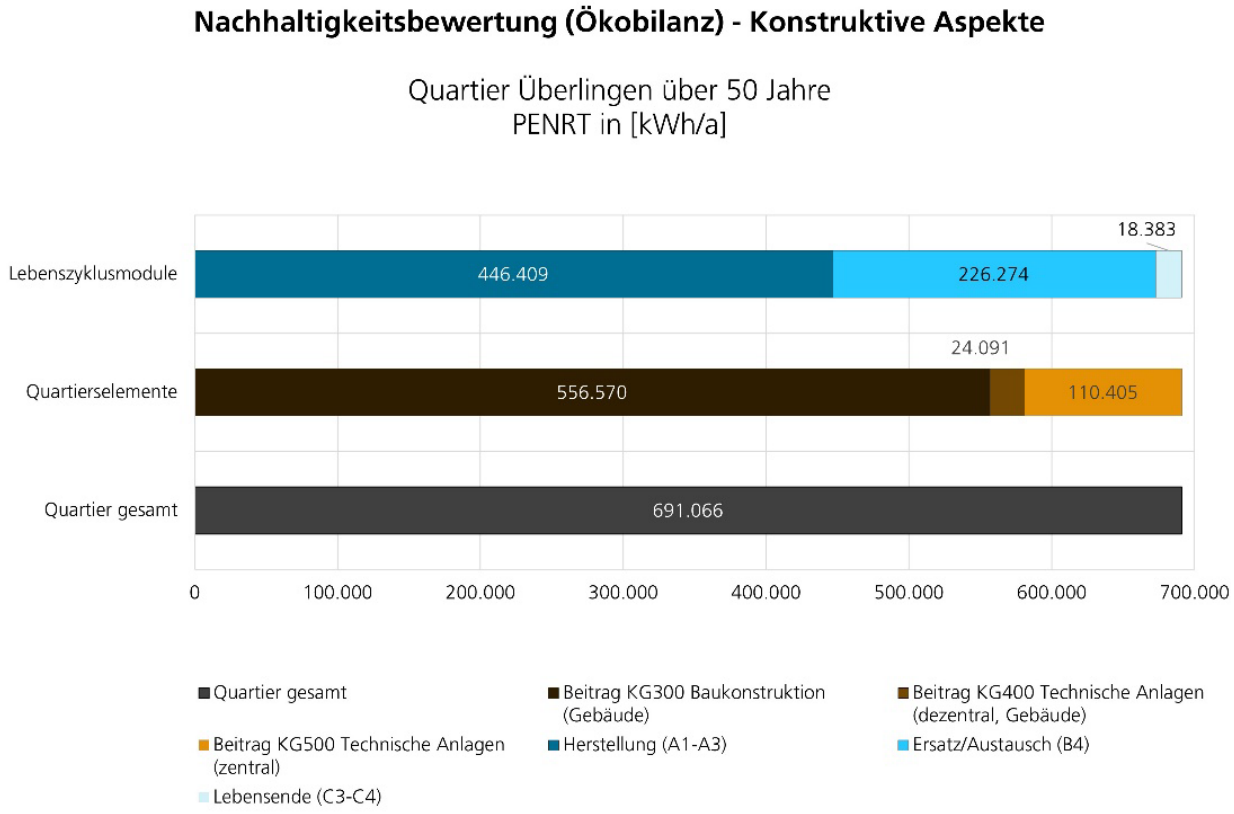


Bild 43:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/a] – Quartier Überlingen. (Eigene Darstellung).

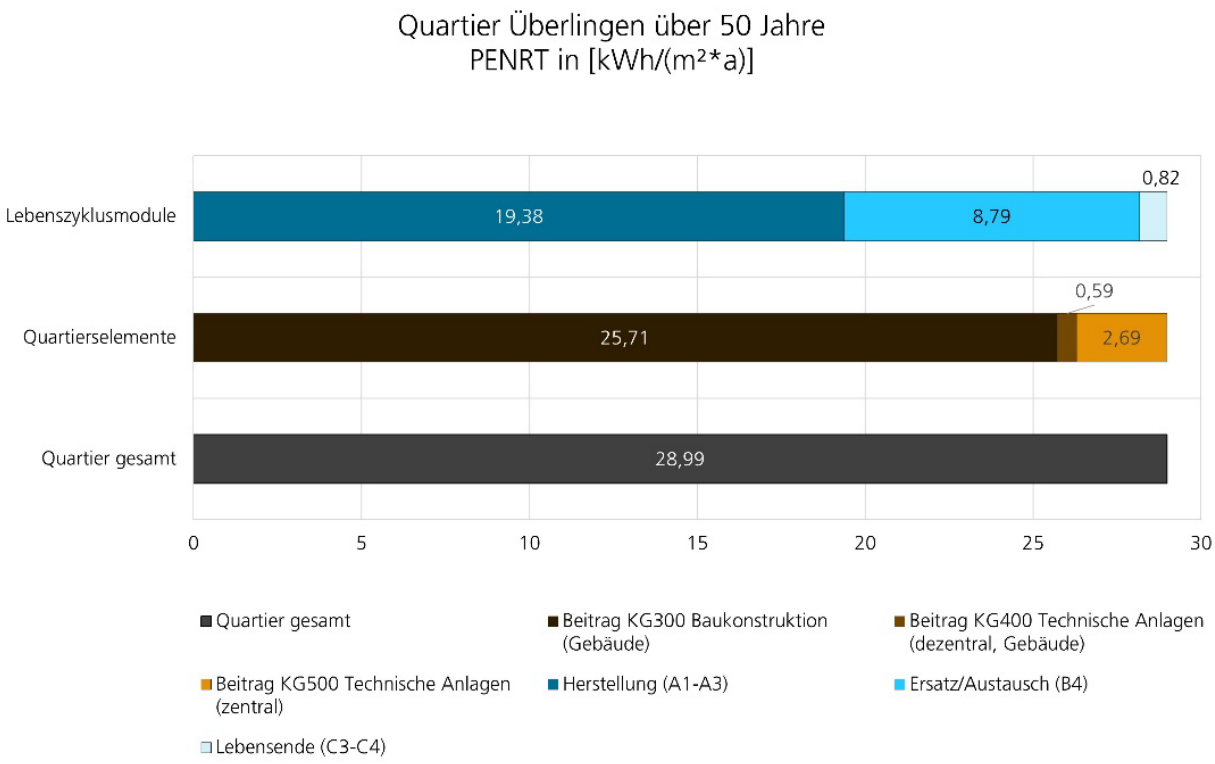


Bild 44:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/(m²*a)] – Quartier Überlingen. (Eigene Darstellung).

Weiterführende Informationen:

- Ökobilanzbewertung der Energiekonzepte für die Quartiere in Stuttgart und Überlingen [Lenz 2024-1]

2.8 Modellhafter Abstimmungsprozess bezüglich erhaltenswerter Bausubstanz

Leitung des Arbeitsbereichs: Universität Stuttgart (IWB)

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Landeshauptstadt Stuttgart, IREES, Stadt Überlingen

2.8.1 Aufgabenstellung

Im Stuttgarter Demonstrationsquartier „Bürgerhospital“ war zu Projektbeginn ein Gebäude beinhaltet, das zwar nicht dem Denkmalschutz unterlag, jedoch als erhaltenswerte Bausubstanz eingeordnet wurde. Der Klinikbau „Bürgerhospital“, auch „Bettenhaus“ genannt ist ein typisches Beispiel für die mehrgeschossige und großvolumige Bauweise in Stahlbeton der Nachkriegsmoderne für die damals dringend benötigten Verwaltungs-, Schul- und Klinik- und Bürobauten. Dabei wurden typischerweise eine massive betonierte Kernzone mit Treppenhäusern und Fahrstühlen zur Aussteifung des Gebäudes angeordnet und die umschließende Gebäudebereiche in Stahlbetonskelettbauweise realisiert. Die Gefache wurden geschossweise mit Mauerwerk gefüllt. Das äußere Erscheinungsbild der Fassaden selbst, ist von einer hohen Architekturqualität geprägt. Im Falle des Klinikbaus „Bürgerhospital“ wurde die Fassade des Bürgerhospitals mit einer ausgesprochen qualitätsvollen Fliesenbekleidung versehen.

Im Vorhaben STADTQUARTIER 2050 war deshalb zu prüfen, inwieweit die Fliesenbekleidung, die in Teilbereichen gefährdet war, infolge der bestehenden Absturzgefahr gesichert werden konnte und mit welcher konstruktiven Lösung eine dem Bauwerk und den Denkmalaspekten gerecht werdende energetische Ertüchtigungsmaßnahme am besten gefunden werden konnte. Entsprechend war es das Ziel, mit materialkundlichen und ingenieurmäßigen Untersuchungen den Ist-Zustand zu erfassen und die seitens der Fachplaner vorgeschlagenen Lösungsansätze auf deren bauphysikalische Eignung aber auch deren Denkmalgerechtigkeit hin zu überprüfen und diese im Dialog und Austausch entsprechend zu verbessern bzw. anzupassen. Die hierfür notwendigen Prozesse und notwendigen Schritte, von der Erfassung und Ausarbeitung der konstruktiven Ausbildung wie auch die Abstimmungen mit allen Beteiligten, neben den Fachplanern besonders auch den Betreibern/Nutzern und der Denkmalpflege, sollten in einer Dokumentation aufgezeigt und erläutert werden. Folgende Arbeitsschritte waren dafür vorgesehen:

- Erläuterung und Dokumentation von Methoden und Werkzeugen zur energiebezogenen Bauwerksanalyse und Ausarbeitung denkmalgerechter Lösungsansätze

- Zusammenstellung der erarbeiteten Lösungsansätze zur energetischen Ertüchtigung von Hüllflächenbauteilen im erhaltenswerten Baubestand

- Konzeption eines Leitfadens und Katalogs zur Veranschaulichung von Maßnahmen zur energetischen Bauteilertüchtigung im geschützten Baubestand der 60er Jahre

2.8.2 Vorgehen und Ergebnisse

Die Arbeiten in diesem Bereich des Projekts sind im Abschlussbericht des Projektpartners Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart zusammengefasst [Garrecht 2023].

Weiterführende Informationen:

- Abschlussbericht für das Verbundprojekt „STADTQUARTIER 2050“ - Arbeitsbericht des Zuwendungsempfängers IWB [Garrecht 2023]

2.9 Motivation / Koordination der Baugesellschaften im Demonstrationsquartier Überlingen

Leitung des Arbeitsbereichs: Baugenossenschaft Überlingen

Mitarbeit im Arbeitsbereich: IREES, Stadt Überlingen, Landeshauptstadt Stuttgart

2.9.1 Aufgabenstellung

Das Bestandsquartier „Hildegardring“ in Überlingen mit insgesamt 240 Wohnungen weist eine heterogene Eigentümerstruktur auf (u.a. Genossenschaften, mehrere private WEGs). Insbesondere bei Wohnungseigentümergemeinschaften ist es meist schwierig, Potenziale von energieeffizienten Sanierungsmaßnahmen zu erschließen, da in einer solchen Gemeinschaft verschiedene Interessenslagen zusammenkommen und unterschiedlich priorisiert werden. Im Rahmen des Vorhabens galt es, sämtliche Eigentümergruppen in den Sanierungsfahrplan zu integrieren und zu einer Investition zu motivieren. Dies gilt für Verwalter ebenso wie für Verwaltungsbeiräte und alle Wohnungseigentümer. Hierzu sollten Instrumente wie z. B. Experteninterviews und Informationsveranstaltungen beitragen. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse können auf analoge Ausgangssituationen übertragen werden.

Die geplanten Arbeiten umfassten die Definition von Zielgruppen und die Erarbeitung strukturierter Interviewleitfäden, die Durchführung von Experteninterviews und die Durchführung von Partizipationsveranstaltungen.

2.9.2 Vorgehen

Im Teilprojekt Überlingen liegt eine heterogene Zielgruppe vor, bestehend aus Wohnungseigentümergemeinschaften (WEGs, VermieterInnen und

Bewohnende der Eigentumswohnungen), Mieterschaft der WEGs, Mieterschaft der Baugenossenschaft im Bestandsgebiet und im Neubaugebiet. Um Werthaltungen, Einstellungen, Hemmnisse, Verhalten oder Verhaltensabsichten von relevanten Zielgruppen im Projekt besser zu verstehen, wurde eine Zielgruppenanalyse zu Spezifika durchgeführt. Dabei wurden Spezifika zu verschiedenen Kriterien zusammengetragen.

Die relevanten Zielgruppen sollten betrachtet und eingebunden werden, Eigentümergruppen sollten in den Sanierungsfahrplan integriert und möglichst zu Investition motiviert werden. Dies galt für Verwalter ebenso wie für Verwaltungsbeiräte und Wohnungseigentümer. Auch die Bedarfe der Mieterschaft wurden im Kontext des Projektes mitberücksichtigt.

Nach der Beschreibung der Zielgruppe der WEGs war der nächste Schritt, deren Motivation und Vorbehalte im Kontext von Investitionsbereitschaft in energetische Sanierungsmaßnahmen zur Erreichung der klimaneutralen Energieversorgung im Bestandsquartier in Überlingen zu eruieren. Als qualitative Forschungsmethode bieten sich für den Erkenntnisgewinn Einzelinterviews und Fokusgruppen an. Die Befragten werden dabei als Experten mit Erfahrungs- und Faktenwissen zum Befragungsgegenstand verstanden (vgl. [Helfferich 2014]). Ein qualitativer Forschungsansatz bietet zudem im Vergleich zu quantitativen Befragungen (schriftliche Befragung) den Vorteil, auf das Gesagte eingehen zu können, Rückfragen stellen und in die Tiefe gehen zu können. Aus organisatorischen und inhaltlichen Gründen wurden überwiegend Fokusgruppen durchgeführt. In einem gemeinsamen Gespräch mit mehreren Teilnehmenden können sich im Gesprächsverlauf Synergieeffekte ergeben und die Teilnehmenden sich über die Leitfragen hinaus zu ihren Erfahrungen gegenseitig ergänzen. In einem Fall wurde ein Telefoninterview geführt.

Für die geplanten Experteninterviews sowie für die Einbindung der Mietenden im Rahmen von Fokusgruppen wurde auf Basis der Zielgruppendefinition jeweils ein teilstrukturierter Leitfaden entwickelt. Damit wurde eine Grundlage für die Gestaltung von Partizipations- und zielgruppengerechten Kommunikationsprozessen geschaffen. Dabei standen insbesondere Hemmnisse beim Adressieren von Sanierungen und Fragen zur Energieversorgung im Vordergrund. Darüber hinaus wurden Erfahrungen und Erwartungen an das Quartier als soziale Einheit erfragt. Die Moderation verlief leitfadengestützt, folgte jedoch dem Fragen- und Diskussionsbedarf der Teilnehmenden. Mit Einverständnis der Teilnehmenden wurde ein Audioskript für die spätere Analyse mittels MAXQDA erstellt. Wörtliche Zitate der Teilnehmenden ergänzen die Ausführungen.

Eine größere Partizipationsveranstaltung war der „Tag der offenen Tür“ am 29.09.2021 im Überlinger Demonstrationsquartier. Vertreten waren fast alle Projektpartnerorganisationen und es wurde auch auf die parallel entwickelten Quartiere in Überlingen und Stuttgart eingegangen. Jeder der vertretenen Projektpartner stellte einen eigenen Stand auf dem bis dato noch nicht

bewohnten 2. Bauabschnitt des Neubaus. Über den Tag hinweg wurden zudem Vorträge der Projektpartner angeboten, die auch einen Blick über den Tellerrand des Projektes hinaus ermöglichten. Ergänzend fand eine gemeinsame Gesprächsrunde statt, bei der u. a. auf Fragen der Teilnehmenden eingegangen wurde. Auch zwei Führungen zur Energiezentrale waren Teil des Programms, die die Energieversorgung vor Ort greifbar machen sollten.



Bild 45:
Einladungsleporello zur Bewerbung des Tags der offenen Tür im Überlinger Demonstrationsquartier.

Neben den Quartiersbewohnenden wurden u. a. die vor Ort vertretenen Hausverwaltungen explizit eingeladen. Über verschiedene Informationskanäle wurden auch andere Interessierte eingeladen, um transparent über den aktuellen Stand zu informieren und Bekanntheit für das Projekt zu generieren und über den aktuellen Stand sowie weitere geplante Schritte zu informieren. Der Tag wurde ebenfalls genutzt, um Teilnehmerinnen und Teilnehmer für die zeitnah stattfindende Fokusgruppe mit Bewohnenden des Neubau- und Bestandsgebietes zu gewinnen.

2.9.3 Ergebnisse

Als zusammengefasstes Ergebnis der Analysen und Gesprächen lässt sich ableiten, dass (bezogen auf die Zielgruppe der WEGs und Hausverwaltungen) im Vorfeld einer Umsetzung von energetischen Maßnahmen auf Quartiersebene folgende Punkte den Erfolg wesentlich beeinflussen können.

- gezielte Ansprache der relevanten Akteure
- Zeitpunkt der Einbindung
- Berücksichtigung der aktuellen energiepolitischen Situation (u.a. Fördermöglichkeiten, rechtliche Grundlagen)
- Neubewertung des Bedarfs für Sanierungsmaßnahmen

Darüber hinaus spielt die Wahl der Kommunikationskanäle eine entscheidende Rolle. Die Entscheidungsfindung von Eigentümergemeinschaften ist eng an deren Stimmung und Informationsstand gebunden, auf die die Hausverwaltung einen wesentlichen Einfluss hat.

Viele Hemmnisse und Erfolgsfaktoren, die sich in anderen Studien in Bezug auf WEGs finden (u. a. Weiß 2020), spiegeln sich auch in diesen Befragungen im Quartier in Überlingen wider. So wurden beispielsweise mangelnder Konsens für Investitionsentscheidungen, Finanzierungsprobleme und sehr unterschiedliche Interessen der Eigentümerschaft deutlich. Ebenso spielte der Faktor Fachberatung als Wissens- und Entscheidungsbasis eine wichtige Rolle. Allgemein bestand unter den Befragten Interesse an konkreten Maßnahmen und damit verknüpften Umsetzungskonsequenzen wie rechtlichen Fragen oder langfristiger Amortisation von Ausgaben sowie Klimaneutralität der der Technologien. Im Vordergrund standen dabei auch Optionen wie Einzelmaßnahmen zur klimaneutralen Sanierung.

Aus der Perspektive der Eigentümerschaft als Bewohnende wurden die Veränderungen im Quartier auf die Wohn- und Aufenthaltsqualität gemischt bewertet. Auf der einen Seite der Verlust von Idylle und landschaftlicher Qualität (Natur). Es wurde aber auch das Urbane als Weiterentwicklung des Quartiers gesehen. Wie in vielen empirischen Studien zu Bauprozessen Studien [Hacke 2014] wurden während der Bauphase Lärm und Staub als störend empfunden und im Überlinger Quartier zusätzlich die neue Verkehrsstruktur als störend erlebt.

Die Befragten waren über das Projekt Stadtquartier 2050 mittels unterschiedlicher Kommunikationskanäle (z. B. Gemeinderat) informiert worden. An einer Teilnahme an der Testphase der Quartiers-App bestand Interesse

und die Mehrheit der Befragten konnte sich eine Anwendung als nutzbringend vorstellen.

Die Bindung zum Quartier besteht in besonderem Maße bei den „alteingesessenen“ Eigentümerinnen und Eigentümern. Hier wurde der emotionale Aspekt deutlich: Gemeinsame Aktivitäten und Verantwortungsgefühl für die Wohnumgebung und Bestreben nach Erhaltung wurden als Erfolgsfaktoren betont. Gerade Wohneigentum im Quartier trägt zu einer Ortsbindung bei (Flade 2006). Chancen für eine Stärkung des Quartiers als soziale Einheit wurden in gemeinsamen Aktivitäten der verschiedenen Bewohnergruppen nach Abschluss der Bauphase gesehen. Das Café als Ort für informelle Begegnungen wurde begrüßt.

Der Anschluss an das Nahwärmenetz zeigte bei den Bestandsgebäuden zeigte zum 29.02.2024 folgenden Stand:

- 2/10 Gebäuden angeschlossen und mit Wärme versorgt
- 6/10 Gebäuden Hausanschluss bis Gebäudekante hergestellt (Versorgung erfolgt nach Ende der Projektlaufzeit)
- 1/10 Gebäuden im Bau befindlich (Hildegardring 44-48 Verlegung Leitung in der Tiefgarage)
- 1/10 Gebäuden ohne Aktivität

Es konnten zwei zusätzliche Gebäude akquiriert werden, die ursprünglich nicht in der Planung vorgesehen waren; eines davon ist bereits versorgt und eines ist mit einem Hausanschluss versehen.

Weiterführende Informationen:

- Übersicht über relevante Zielgruppen und Entwicklung von Interviewleitfäden – Teilprojekt Überlingen [Schakib-Ekbatan 2024-1]
- Ergebnisse der Experteninterviews einschließlich Handlungsempfehlungen für Partizipationsveranstaltungen [Schakib-Ekbatan 2024-2]
- Durchführung von Partizipationsveranstaltungen [Schakib-Ekbatan 2024-3]

2.10 Entwicklung eines Bonus-Systems zur Unterstützung eines energiebewussten Verhaltens

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer FIT

Mitarbeit im Arbeitsbereich: IREES, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See, Landeshauptstadt Stuttgart

2.10.1 Aufgabenstellung

Besonders in Sozialwohnungen, in denen Wärme und Strom in der Wohnung gestellt werden und somit kein ökonomischer Anreiz für eine energieeffiziente Nutzung vorliegt, können Bewohner, die weniger (für sie kostenlose) Wärme oder Stromverbrauchen durch andere Vergünstigungen, wie z. B. günstige Elektromobilität, belohnt werden. Das Ziel des Arbeitsbereichs war deshalb die Identifizierung der Anreize zu energiebewusstem Handeln verschiedener Personengruppen sowie die Entwicklung zielgruppenspezifischer Bonussysteme zur Unterstützung energiebewussten Handelns.

Zunächst sollte auf Basis wissenschaftlicher Literatur und praktischer Erfahrung der beteiligten Projektpartner analysiert werden, welche Anreize Personen verschiedener (sozialer) Gruppen dazu veranlassen energieeffizient zu handeln. Dabei sollten sowohl wirtschaftliche (z. B. Vergünstigungen bei der Elektromobilität) als auch psychologische (z. B. Vergleich mit Benchmark, Gamification) Aspekte mit einbezogen werden um schließlich neue, zusätzliche Anreize aus dem Quartiersgedanken abzuleiten.

Um das Bonussystem optimal auf die einzelnen Zielgruppen anpassen zu können, ist es notwendig, dass diese zunächst vollständig erfasst und analysiert werden. Dazu wurden die geplanten Demonstrationsquartiere in Stuttgart und Überlingen bezüglich der zu erwarteten Mietergruppen analysiert und diese zu Zielgruppen (u. a. hinsichtlich des sozialen Hintergrunds) geclustert.

Im Anschluss wurden die vorhergegangenen Ergebnisse kombiniert und zielgruppenspezifische Bonussysteme entwickelt, die energiebewusstes Gruppenverhalten fördern und belohnen. Dabei sollten die Eigenschaften, Bedürfnisse und Wünsche jeder Zielgruppe bestmöglich berücksichtigt werden, um zum Erfolg zu führen. Es musste jedoch stets sichergestellt werden, dass das jeweilige Bonussystem auch aus wirtschaftlicher Sicht vertretbar ist.

2.10.2 Vorgehen

In einer Auftaktbesprechung wurden die Interessenslagen der einzelnen Projektpartner diskutiert sowie Ansätze zur Incentivierung von energiebewusstem Wohnverhalten bei relevanten Personengruppen erarbeitet. Eine Übersicht geeigneter Anreize zur Unterstützung energiebewussten Verhaltens verschiedener Personengruppen, welche die theoretischen Grundlagen von Verhalten, Motivation und Wissen vorstellt, wurde erarbeitet. Konkret wurden dabei altruistisch-ökologische, egoistische und hedonistische Anreize unterschieden, die jeweils unterschiedliche Motive ansprechen. Diese Übersicht wurde um eine Übersicht relevanter Personengruppen ergänzt, die als Adressaten des Bonussystems in den Quartieren in Stuttgart und Überlingen in Frage kommen. Die in der Übersicht geeigneter Anreize zur Unterstützung energiebewussten Verhaltens verschiedener Personengruppen untersuchten Ansätze zur Incentivierung werden zu Beginn des Ergebniskapitels kurz skizziert.

In einer Übersicht relevanter Personengruppen in den beiden Demonstrationsquartieren wurden Personengruppen anhand folgender Dimensionen unterschieden: Energieeffizienzverhalten, Motivationstyp und soziales Milieu. Weitere Beschreibungsmerkmale von Personengruppen sind: Haushaltsgröße, Alter sowie beruflicher Status. Die Einteilung in der Übersicht wurde mit den oben genannten Anreizmöglichkeiten verbunden, um möglichst effektiv alle Personengruppen ansprechen zu können. Dabei wurde eine Beschreibung deutscher Haushalte anhand ihrer Lebensumstände und Einstellungen zu Energieeffizienz angestrebt, um diese später flexibel auf Bewohnergruppen in den Quartieren anpassen zu können. Die Ergebnisse der Akteurs- und Zielgruppenanalyse wurden bei der Erstellung der Übersicht relevanter Personengruppen ebenfalls berücksichtigt. Personengruppen, welche in den einzelnen Dimensionen gruppiert wurden, lassen sich anhand der einheitlichen Kriterien Familienstand, Alter, Kaufkraft, Bildung, Wertvorstellung sowie „sonstige Merkmale“ miteinander vergleichen.

Ein auf verschiedene Personengruppen zugeschnittenes Anreizsystem für energiebewusste Verhaltensweisen wurde entwickelt. Dazu wurden im Rahmen einer umfassenden Literaturrecherche und Auswertung von Praxisbeispielen insgesamt fünfzehn Interventionsmaßnahmen identifiziert und an den Kontext „energieeffizientes Verhalten“ angepasst. Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden die Maßnahmen unterschiedlichen Kategorien (Bequemlichkeit/Salienz, Informationsvermittlung, Monitoring/Feedback sowie sozialer Einfluss) zugeordnet und es wurden jeweils zugrundeliegende Maßnahmenformen mitsamt Effektstärken beschrieben. Diese Einordung diente bei der späteren Umsetzung der Maßnahmen als Guidelines sowohl für das Erwartungsmanagement als auch die Auswertung.

Um einhergehende Interventionsmaßnahmen zu den einzelnen Personengruppen zuordnen zu können, wurde im Kreis der Stadtquartier 2050-Konsortialpartner ein Online-Card-Sorting durchgeführt. Diese Methode hilft,

verschiedene Meinungen hinsichtlich der Wirksamkeit der Interventionsmaßnahmen bei den Personengruppen zu strukturieren und daraus am Ende eine Zuordnung treffen zu können. Insgesamt haben 15 Expert*innen am Card-Sorting teilgenommen.

Für die Beschreibung der einzelnen Interventionsmaßnahmen wurde ein konsistentes Vorgehen gewählt, welches die Maßnahmen zuerst allgemein beschreibt und technische Voraussetzungen für ihre Umsetzung erklärt (z. B. Notwendigkeit von Sensoren, technischer Geräte, o. ä.). Anschließend wurde anhand der Ergebnisse des Card-Sortings beschrieben, bei welcher bzw. welchen Personengruppe(n) die Maßnahme besonders effektiv sein könnte. Zuletzt wurde darauf eingegangen, welche Kooperationen für eine praktische Umsetzung beachtet werden könnten oder müssen und über welche Kommunikationskanäle die Maßnahmen an die Bewohnenden gespielt werden können. Weiter wurden mithilfe der Ergebnisse schließlich zwei eigenständige Bonussysteme entwickelt. Ziel dabei ist es, solche Interventionsmaßnahmen zu bündeln, die möglichst gut mit den (zukünftigen) Bewohnerstrukturen in den Quartieren Stuttgart und Überlingen übereinstimmen.

Da die künftigen Bewohnerstrukturen für das Quartier in Stuttgart zu dem Zeitpunkt noch unbekannt sind, wurde in Abstimmung mit der LH Stuttgart ein Überblick zur Soziodemographie in einem ähnlichen Quartier in der Nähe des Areals Bürgerhospital angefertigt, welches als Approximation für das Quartier Stuttgart diente. Basierend auf diesen Annahmen wurden entsprechende Interventionsmaßnahmen ausgewählt und vorgestellt. In Zusammenarbeit mit der Quartiers-App zur Verbraucherschulung wurden dazu auch erste Entwürfe für mögliche Umsetzungen einzelner Maßnahmen (z. B. Anzeige des Energieverbrauchs eines Haushalts) in der Quartiers-App erstellt. Da in Überlingen die ersten Bewohner bereits eingezogen waren, konnte für das Quartier in Überlingen über die BGÜ auf vorhandene (anonymisierte) soziodemographische Daten zurückgegriffen werden, welche eine Hochrechnung zur Verteilung der verschiedenen Personengruppen möglich machen. Analog zum oben beschriebenen Vorgehen wurden anschließend passende Interventionsmaßnahmen ausgewählt und vorgestellt sowie mit Umsetzungsentwürfen für die Quartiers-App komplementiert. Anschließend wurde ein generischer Baukasten für zielgruppenspezifische Bonus-Systeme vorgestellt. Dieser zeigt ein Bündel verschiedener Maßnahmen auf, welches die Bewohner zu nachhaltigem und energieeffizientem Verhalten motivieren soll. Dieser Baukasten baut dazu entsprechend auf der Übersicht geeigneter Anreize zur Unterstützung energiebewussten Verhaltens und relevanter Personengruppen auf.

2.10.3 Ergebnisse

Grundlage der Incentivierungsmechanismen war eine Übersicht geeigneter Anreize zur Unterstützung energiebewussten Verhaltens verschiedener Personengruppen. Die Anreize umfassen die folgenden drei Kategorien:

- **Altruistische & ökologische Anreize:** Altruistisches oder ökologisches Denken ist gekennzeichnet von dem Willen, etwas Gutes für andere Personen, die Gesellschaft oder die Natur und Umwelt zu tun. Personen, bei denen diese Denkweise besonders ausgeprägt ist, sind deshalb intrinsisch – also von sich heraus – motiviert, Handlungen auszuführen, die dabei helfen können, dieses Ziel zu erreichen, ohne daraus einen direkten persönlichen Nutzen zu ziehen.

  Zu den möglichen Stellschrauben zur Verhaltensänderung mithilfe altruistisch wirkender Anreize gehört es einerseits, altruistisches und ökologisches Verhalten sowie die zugrundeliegenden Werte und Einstellungen gesellschaftlich zu fördern, sowie andererseits, umfassend über die Relevanz des Problems und Möglichkeiten zur Einflussnahme zu informieren. Ersteres bezieht sich auf normzentrierte Herangehensweisen, letzteres fokussiert Information und Wissensaufbau.

- **Egoistische Anreize:** Um Menschen anhand von egoistisch gerichteten Anreizen zu energiebewussten Handlungen zu motivieren, muss der handelnden Person ein persönlicher Nutzen vermittelt werden. Dieser Nutzen kann ökonomischer Art, z. B. in Form von finanziellen Vorteilen, oder sozialer und selbstbezogener Art, beispielsweise durch Gewinn von Einfluss innerhalb einer Gemeinschaft, sein.

- **Hedonistische Anreize:** Eine weitere Möglichkeit zur Incentivierung ergibt sich aus dem menschlichen Streben nach Glück und Freude, das ein hohes Potenzial zur intrinsischen Motivation birgt. Dieser Aspekt kann durch hedonistische Anreize, also Anreize, die auf Lustgewinn ausgerichtet sind, angesprochen werden. Dazu zählen beispielsweise Wettbewerbssituationen oder die Möglichkeit zum Vergleich mit anderen. Aufgrund des hohen Wirkungspotenzials hedonistischer Maßnahmen finden diese viel Beachtung in der wissenschaftlichen Literatur. Auf diese Weise sind unter anderem Maßnahmen entstanden, die alltägliche Aktivitäten, die häufig nur einen geringen Spaßanteil beinhalten, in ein Spiel verwandeln. Diese Strömung wird üblicherweise als Gamification bezeichnet.

Die Zusammenfassung aller im Baukasten enthaltenen Maßnahmen ist Bild 46 zu sehen.

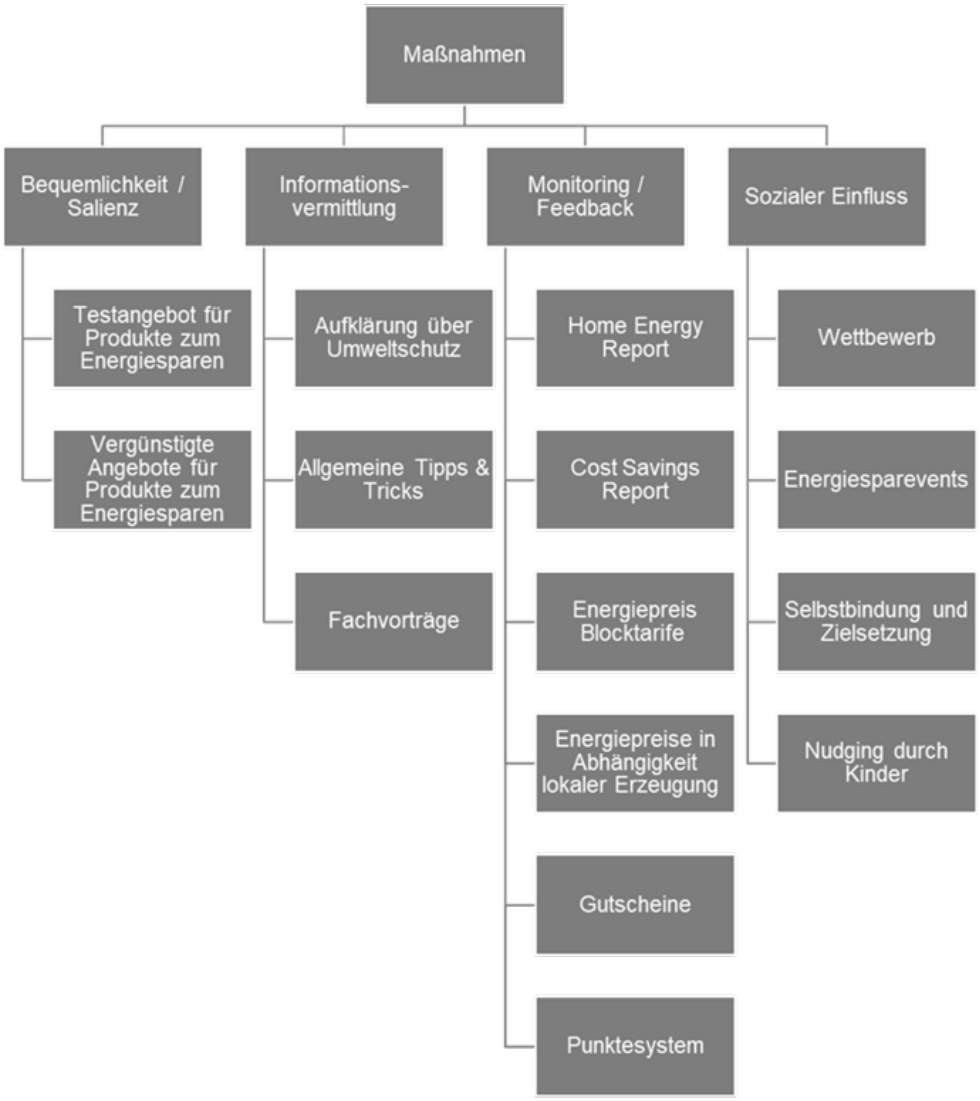


Bild 46:
Überblick zu den Maßnahmen des Bonussystems.

Im Folgenden werden die Maßnahmen kurz vorgestellt:

- **Testangebot für Produkte zum Energiesparen**: Energiesparende Geräte, aber auch smarte Steckdosen oder wassersparende Duschköpfe können den Haushalten zum Test kostenlos oder gegen eine geringe Gebühr für einen bestimmten Zeitraum zur Verfügung gestellt werden.

- **Vergünstigte Angebote für Produkte zum Energiesparen**: Energiesparende Geräte, aber auch smarte Steckdosen oder wassersparende Duschköpfe können den Haushalten vergünstigt angeboten werden, sodass diese zum Kauf der Produkte angeregt werden.

- **Aufklären über Umweltschutz**: Diese Maßnahme zielt darauf ab, Menschen zum energieeffizienteren Handeln anzuregen, indem die Auswirkungen des Klimawandels aufgezeigt werden.

- **Allgemeine Tipps & Tricks**: Durch Tipps und Tricks zum Energiesparen können den Haushalten einfache Möglichkeiten zum Einsparen von Energie aufgezeigt werden.

- **Fachvorträge**: Regelmäßige Fachvorträge im Quartier über Klimawandel, erneuerbare Energien und energieeffizientes Verhalten sollen die Haushalte motivieren, ihr Verbrauchsverhalten zu ändern.

- **Home Energy Report**: Haushalte erhalten in einem regelmäßigen Bericht verschiedene Details zu ihrem Energieverbrauch. Dabei werden die Details den Haushalten mit Vergleichen zu vorherigen Zeiträumen und zum Quartier zusammen mit individuellen Verhaltensempfehlungen zur Verfügung gestellt.

- **Cost Savings Report**: Basierend auf individuellen Verhaltensempfehlungen wird den Haushalten im Cost Energy Report angezeigt, wie viel Geld sie durch die Änderung ihres Verhaltens oder ihrer Geräte einsparen könnten.

- **Energiepreis-Blocktarife**: Bei einem Blocktarif steigen die Energiekosten stufenweise an, sobald eine gewisse Energiebedarfsmenge in einem bestimmten Zeitraum überschritten wurde.

- **Energiepreise in Abhängigkeit lokaler Erzeugung**: Energiepreise werden bei dieser Maßnahme in Abhängigkeit von lokal erzeugter Energie bestimmt. Wenn viel erneuerbare lokale Energie erzeugt wird, fallen die Preise. Sobald beispielsweise Strom aus dem Stromnetz bezogen wird, steigt der Preis wieder an.

- **Gutscheine**: Bei dieser Maßnahme erhalten Haushalte, deren Energiebedarf unter einem gewissen Schwellenwert liegt, Gutscheine. Je nach Schwellenwert können verschiedene Belohnungen in unterschiedlicher Höhe vergeben werden.

- **Punktesystem**: Auf der Basis ihres Energiebedarfs werden Haushalte auf einer Punkteskala eingeordnet. Je nachdem wie viele Punkte man erreicht hat, ist es möglich, in verschiedene Levels aufzusteigen.

- **Wettbewerb**: Aufbauend auf einem Punktesystem, das jedem Haushalt basierend auf dem jeweiligen Energiebedarf Punkte zuordnet, wird eine Rangliste erstellt. Auf dieser können sich die Haushalte untereinander anonymisiert vergleichen und kleine Wettbewerbe veranstalten, um z. B. den sparsamsten Quartiershaushalt zu ermitteln.

- **Energiesparevents**: Durch Energiesparevents soll das Verhalten der Haushalte im Quartier nachhaltig verändert werden. Die Bewohner des Quartiers könnten beispielsweise zu einem Candle-Light-Dinner ermutigt werden und ihre Lichter an diesem Tag zu einer gewissen Uhrzeit ausschalten.

- **Selbstbindung und Zielsetzung**: Bei dieser Maßnahme können sich Haushalte entweder selbst ein Energiereduktionsziel setzen oder bekommen von Externen ein Ziel gestellt (bspw. eine Energieeinsparung von 5 % im Vergleich zum Vormonat). Der eigene Antrieb zur Zielerreichung führt somit zur Energiereduktion.

- **Nudging durch Kinder**: Bei dieser Maßnahme werden Kinder im Quartier spielerisch auf das Thema Klimaschutz durch Energiesparen aufmerksam gemacht. Sie lernen Fakten und Tipps zum Energiesparen, möchten diese zu Hause umsetzen und motivieren somit auch ihre Eltern.

Darauf aufbauend wurde ein zielgruppenspezifisches Bonussystem für das Quartier in Stuttgart bzw. für das Quartier in Überlingen unter Berücksichtigung der jeweiligen lokalen Gegebenheiten entworfen. Die Auswahl geeigneter Maßnahmen für ein quartiersbezogenes Bonussystem orientiert sich maßgeblich an der Bewohnerstruktur des Quartiers. Die im generischen Baukasten, welcher zielgruppenspezifische Bonus-Systeme ermöglicht, vorgestellten Maßnahmen wurden hierfür bestimmten Oberkategorien von Personengruppen zugeordnet. Die Oberkategorien wurden aus der Übersicht relevanter Personengruppen übernommen und beschreiben vier sogenannte Energy Cultures, die von Barton et al. [Barton 2013] entwickelt wurden. Da es sich bei Bewohnenden oft um sehr heterogene Typen handelt, stellt die Kategorisierung in Energy Cultures den Versuch dar, Bewohnende in möglichst homogene Gruppen hinsichtlich ihres Energieverbrauchverhaltens einzuteilen, sie jedoch hinreichend anhand ihrer Soziodemographie, Wertevorstellungen und Anreize unterscheiden zu können, um eine sinnvolle Variation der Maßnahmen zu ermöglichen. Die Zuordnung der Gruppen zu den Maßnahmen wurde methodisch durch ein Card-Sorting begründet, dessen Ausführung im Baukasten näher beschrieben wird.

Bei den ausgewählten Maßnahmen kann zwischen generellen Maßnahmen und spezifischen Maßnahmen unterschieden werden. Generelle Maßnahmen zeichnen sich insbesondere durch eine einfache Übertragbarkeit zwischen Quartieren aus. Aufgrund ihrer Ausgestaltung sind sie in fast allen Quartieren anwendbar und unterscheiden sich nur leicht in ihrer Ausführung. Die Ausführung hängt dabei von den technischen Rahmenbedingungen und der Anwendung anderer Maßnahmen ab. Spezifische Maßnahmen richten sich nach den im Quartier lebenden Personengruppen. Hier sollte darauf geachtet werden, dass die gewählten Maßnahmen die im Quartier lebenden Personengruppen ansprechen. So erreicht man zum Beispiel mit Maßnahmen, die ökonomische Anreize bieten, manche Gruppen leichter als andere.

Die Anzahl der ausgewählten Maßnahmen richtet sich grundsätzlich nach den dafür bereitgestellten Mitteln. Jedoch sollte auch bei ausreichenden Mitteln von einem zu variationsreichen Maßnahmenpaket abgesehen werden, um Verwirrung, Überforderung und zunehmende Aversion bei den Bewohnenden zu vermeiden.

Als generelle Maßnahmen werden hier der Home Energy Report, Cost Savings Report sowie Allgemeine Tipps und Tricks verwendet. Die benötigten Daten des Home Energy Reports sollten grundsätzlich in jedem Quartier verfügbar sein. Hier unterscheidet sich lediglich die Art der Datenerfassung. Auch sind die hierbei erfassten Daten eine Grundlage für weiterführende Maßnahmen wie Punktesystem und Gutscheine. Allgemeine Tipps und Tricks sind leicht quartiersübergreifend zu erstellen und zu verwenden. Des Weiteren bieten sie grundlegendes Wissen zum Thema Energiesparen, das innerhalb weiterer Maßnahmen vertieft und gefestigt wird.

Bei der Auswahl spezifischer Maßnahmen muss zuerst mithilfe der soziodemographischen Beschreibung des Quartiers festgelegt werden, welchen Oberkategorien die Bewohnenden größtenteils zugeordnet werden können. Im Fall des Stadtquartiers Bürgerhospital wurde die Auswahl auf Basis der Altersverteilung sowie der Wohnungsstruktur festgelegt. Große Teile des Wohnungsbestands sind für niedrige bis mittlere Einkommen veranlagt. Die Bewohnenden des Quartiers weisen daher starke Überschneidungen mit den Gruppen Energy Efficient und Energy Economics auf. Der Altersdurchschnitt von 41 Jahren spricht ebenfalls für eine solche Zuordnung.

Auf Basis der Ergebnisse des im Rahmen des für die Entwicklung des Bonussystems durchgeführten Card-Sortings wurden die folgenden spezifischen Maßnahmen für das Quartier in Stuttgart ausgewählt:

- Vergünstigte Angebote für Produkte zum Energiesparen
- Gutscheine
- Punktesystem
- Energiesparevents
- Energiepreise in Abhängigkeit lokaler Erzeugung

Im Fall des Quartiers Überlingen wurde die Auswahl auf Basis der Altersverteilung sowie der Mietpreise festgelegt. Ein vergleichsweises hohes Einkommen in Verbindung mit über dem Mietspiegel liegenden Mietpreisen lassen auf wohlhabende Bewohnende schließen. Die Bewohnenden des Quartiers weisen daher starke Überschneidungen mit den Gruppen Energy Extravagant und Energy Easy auf. Der Altersdurchschnitt von 49 Jahren sowie ein Anteil von 15 % an sich in Rente befindenden Bewohnenden spricht gegen einen hohen Anteil an Energy Economics.

Auf Basis der Ergebnisse des im Baukasten durchgeführten Card-Sortings wurden die folgenden spezifischen Maßnahmen für das Quartier in Überlingen ausgewählt:

- Testangebot für Produkte zum Energiesparen
- Aufklären über Umweltschutz
- Wettbewerb
- Energiesparevents

Die hier vorgestellten Ergebnisse umfassen alle fünf Deliverables des Arbeitspakets, welche sich mit geeigneten Anreizen zur Unterstützung energiebewussten Verhaltens, sowie konkreten Bonus-Systemen für die Quartiere in Stuttgart und Überlingen befassen.

Weiterführende Informationen:

- Übersicht geeigneter Anreize zur Unterstützung energiebewussten Verhaltens [Schmidt 2019],
- Identifizierung und Analyse relevanter Personengruppen [Schmidt, 2020]
- Entwicklung eines zielgruppenspezifischen Bonussystems [Graf-Drasch 2021]
- Bonussystem Stuttgart [Graf-Drasch 2023-1]
- Bonussystem Überlingen [Graf-Drasch 2023-2]

2.11 Energiegerechtigkeit durch warmmietneutrale und sozialverträgliche Sanierung

Leitung des Arbeitsbereichs: Baugenossenschaft Überlingen

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Energieagentur Ravensburg, IREES, Landeshauptstadt Stuttgart, Stadt Überlingen

2.11.1 Aufgabenstellung

Lösungsansätze, die das bezahlbare und sozial gerechte Wohnen im hocheffizienten Geschoßwohnungsbau im Fokus haben und aus der Perspektive von Siedlungskonzepten entwickelt werden, waren zum Startpunkt des Vorhabens, abgesehen von einigen wenigen Ansätzen wie in Karlsruhe-

Rintheim, nicht umfänglich untersucht worden. Sie stellten aber aus Sicht des Projektkonsortiums eine große Chance dar, die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zu verbessern.

Unter Energiegerechtigkeit versteht man die Bereitstellung von sicherer, bezahlbarer und nachhaltiger Energie für alle Individuen über alle Regionen und Bereiche hinweg [McCauley 2013]. Dabei wird in drei grundlegenden Prinzipien, die im Energiesystem angewendet werden unterschieden: Verteilungs-Gerechtigkeit (z. B. Aussetzen eines Risikos), prozedurale Gerechtigkeit (z. B. transparente, demokratische, nicht-diskriminierende Prozesse) und Wahrnehmungs-Gerechtigkeit (z. B. Einbeziehung verschiedener Perspektiven der Akteure). Diese Aspekte wurden in dem Arbeitsbereich des Vorhabens adressiert.

Der besondere, auf Energiegerechtigkeit fußende soziale Gedanke des Überlinger Quartiers „Schättlisberg“ sollte sich u. a. dadurch auszeichnen, dass auch ohne Inanspruchnahme von staatlichen sozialen Wohnungsbaumitteln das Ziel eines sozial ausgeglichenen und durchmischten Quartiers einschließlich Belegungsrechte für die Stadt Überlingen realisiert werden kann. Dazu bedurfte es besonders genossenschaftlicher Merkmale sowie fein austarierter Mietpreiskategorien, die eine Ghettobildung vermeiden und soziale Integration fördern. Der Vielzahl der entscheidungsrelevanten Akteure sollte in einem moderierten Partizipationsprozess Rechnung getragen werden.

An die jeweilige Bewohnerstruktur angepasste Mietpreismodelle können aufgrund der notwendigen sozialen Akzeptanz nur unter Mithilfe von ausgewählten betroffenen Personen entwickelt werden. Die Herausforderung ging hier weit über energetische Aspekte hinaus, da hier auch die soziale Nachhaltigkeit und das Miteinander unterschiedlicher Gruppen im Fokus standen.

Die Arbeiten sahen die Indentifikation und Strukturierung der potenziellen Akteursgruppen im Quartier (Akteursanalyse), die Bedürfnis- und Werteanalyse über Veranstaltungen mit Akteursgruppen und die Erarbeitung von Mietpreismodellen und Handlungsempfehlungen vor.

2.11.2 Vorgehen

Zu Beginn eines Sanierungsprojektes ist es sinnvoll, sich die Akteure und ihre potenzielle gegenseitige Einflussnahme vor Augen zu führen. Das erleichtert im Projektablauf die Kommunikation und ermöglicht die konkrete Einbeziehung eines jeden Akteurs in den entsprechenden Projektphasen. Mögliche Vorbehalte gegen das Vorhabens können identifiziert und die Akteure gezielt eingebunden werden.

Um Lösungsansätze zu entwickeln wurden folgende Schritte umgesetzt:

Analyse der Bewohnertypen im Quartier

Die Akteursanalyse wurde in drei Schritte gegliedert:

- Identifikation der Akteure
- Zuordnung der Akteure zu einem Kategoriensystem
- Abgleich der Akteure im Hinblick auf den Projektverlauf.

Bewohner- und Werteanalyse

Für die Bewohner- und Werteanalyse wurden Fokusgruppen und eine Bewohnerbefragung umgesetzt. Neben einem assoziativen Ansatz zur Bedürfnis- und Werteanalyse wurde nach dem Verständnis eines klimaneutralen Quartiers gefragt. Es wurde auch die Bereitschaft für Mietpreismodelle eruiert.

Vorbereitend wurde zur Information der Quartiersbewohner über das Projekt „Stadtquartier 2050“ eine Mieter- bzw. Quartiersinformation erstellt und darüber hinaus im Zuge eines Tag der offenen Tür die Möglichkeit für persönlichen Kontakt geboten.

Auswertung der Analyse

Auf Basis der Auswertung der Akteursanalyse sowie der Bewohner- und Werteanalyse wurden Anforderungen und Grenzen für Mietpreismodelle identifiziert, aus denen Umsetzungsmöglichkeiten für energiegerechte und sozial integrierte Ansätze abgeleitet werden konnten.

2.11.3 Ergebnisse

Analyse der Bewohnertypen im Quartier

In der Akteursanalyse [Roser 2019] wurden die Akteure hinsichtlich der Attribute Macht, Legitimität und Dringlichkeit untersucht. Für die Erarbeitung von Mietpreismodellen sind insbesondere die Akteure relevant, denen das Attribut „Dringlichkeit“ zugeordnet wurden. Dieses wurde im Teilprojekt Überlingen den Akteuren Stadt Überlingen (Stadt), der Baugenossenschaft Überlingen eG (Wohnungseigentümer) und den Mietenden/Bewohnern zugeordnet. Davon maßgeblich betroffen hinsichtlich energierechter Mietpreismodelle, sind Mietende/Bewohner und Eigentümer. Die Stadt profitiert von durch-

mischten Quartieren, die eine Ghettobildung vermeidet, spielt hinsichtlich des Mietpreismodells allerdings nur eine untergeordnete Rolle. Mietende haben wenig bis keinen Einfluss auf das Mietpreismodell, können sich aber gegen ihren Vermieter auflehnen, andere Mieter beeinflussen und in diesem Sinne aktiv werden. Eigentümer sind hauptsächlich ökonomisch vom Mietpreismodell betroffen, können darüber entscheiden und haben das Interesse die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zu optimieren.

Die Mieterinnen und Mieter am Hildegardring haben verhältnismäßig wenig Einfluss, jedoch sind sie die maßgeblich Betroffenen des Projekts. Für eine größtmögliche Akzeptanz und Unterstützung des Vorhabens sollte eine möglichst positive Haltung bezüglich der Quartierssanierung erreicht werden. Hierzu sind eine umfangreiche Information und eine stetige Beteiligung an Entscheidungen (wo möglich) notwendig.

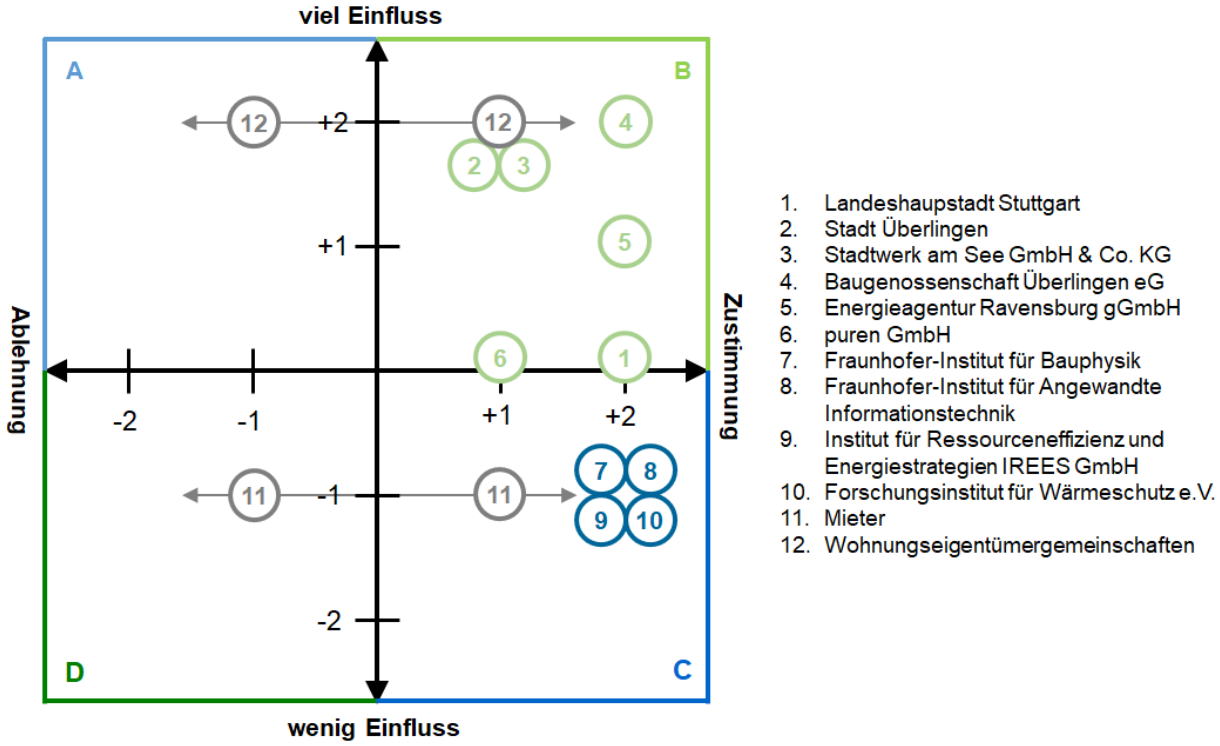


Bild 47:
Bewertungsmatrix nach den Indikatoren Ablehnung/Zustimmung und viel Einfluss/wenig Einfluss.

Um die Meinungen bezüglich der energetischen Quartierssanierung genauer bestimmen zu können, sollte eine umfangreiche Informationskampagne gestartet werden. Damit können in einem ersten Schritt informatorische Hemmnisse verringert werden. Im Anschluss daran sollten die Mieterinnen und Mieter sowie die privaten Eigentümer involviert und nach ihrer Meinung befragt werden. Dahingehend wurde eine Mieter- bzw. Quartiersinformation erstellt und darüber hinaus im Zuge eines Tag der offenen Tür die Möglichkeit für persönlichen Kontakt geboten.

Bewohner- und Werteanalyse

Die Durchführung der ersten Bewohner- und Werteanalyse wurde mit 12 Mieterinnen und Mietern der BGÜ am 06.02.2019 im Rahmen einer Fokusgruppe begonnen. Neben einem assoziativen Ansatz zur Bedürfnis- und Werteanalyse wurde nach dem Verständnis eines klimaneutralen Quartiers gefragt. Es wurde auch die Bereitschaft für Mietpreismodelle eruiert. Ökologische Aspekte, soziale, finanzielle und kulturelle Aspekte wurden genannt. Zum Gebäudeaspekt wurde die Meinung geäußert, der Vermieter soll ganz im Sinne von ressourcenschonendem Umgang mit dem Gebäude pflegsam umgehen, zukunftsorientiert investieren, den Bestand schützen und erneuerbare Energien einsetzen. Auf Grundstücksspekulationen soll er sich nicht einlassen.

Auswertung der Analyse

Als Alternative zu herkömmlichen Mietpreismodellen bietet sich entweder die Möglichkeit, energieeffizientes Wohnverhalten zu fördern, oder unerwünschtes Verhalten über eine Kostensteigerung zu maßregeln. Die Förderung im Sinne einer Belohnung für energieeffizientes Wohnverhalten bietet Potenzial ein sozial integriertes Quartierswohnen positiv zu beeinflussen, in dem sich die „Belohnung“ auf Quartiersangebote bezieht und/oder Bewohner mit geringerem Einkommen integriert. Diese Möglichkeit bietet sich beispielsweise mit Freikontingenten für Sharing-Angebote im Quartier, übertragbare ÖPNV-Tickets oder Vorteile bei der Nutzung von Mieterstrom wie kostenloses Laden von Lastenrädern. Um den Rebound-Effekt in Bezug auf einen verschwenderischen Energieverbrauch zu regulieren, könnte ein erhöhter Verbrauch über Kostensteigerungen sanktioniert werden. Mit dieser Maßnahme wird allerdings weder sozial integriertes Quartierswohnen gefördert, noch besteht für Mieter ein Anreiz sich für eine Wohnung in diesem Quartier zu entscheiden.

Energiegerechte Mietpreismodelle

Im Zuge der Analyse möglicher Mietpreismodelle zeigt sich das klassische Mietpreismodell mit freiwilligem Verbrauchskontingent, in Verbindung mit Zusatzangeboten im Quartier als ein vielversprechender Ansatz. Bei einer pauschalen, also nicht verbrauchsabhängigen, Abrechnung des Energieverbrauchs würde der monetäre Anreiz bei den Bewohnern fehlen, die sich nicht für energieeffizientes Wohnverhalten interessieren [Werner 2024].

Weiterführende Informationen:

- Akteursanalyse für das Sanierungsgebiet Hildegardring in Überlingen [Roser 2019]

- Dokumentation energiegerechter Mietpreismodelle [Werner 2024]

2.12 Tool „Quartiers-App zur Verbraucherschulung“

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer FIT

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Baugenossenschaft Überlingen, IREES, Landeshauptstadt Stuttgart, Stadtwerk am See, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart

2.12.1 Aufgabenstellung

Ziel des Arbeitsbereichs war die Entwicklung einer App zur Verbreitung von Tipps und Schulungen zum klimabewussten Leben sowie zur Analyse des Energiekonsumverhaltens der Bewohner. Das Energiekonsumverhalten sollte anschließend unter Einhaltung der gegebenen Datenschutzbestimmungen mit anderen Bewohnern der gleichen Zielgruppe verglichen werden. Dieser Vergleich führt zu einem natürlichen Wettbewerb und fördert somit das klimabewusste Handeln jedes Einzelnen. Zusätzlich sollten andere Services, z. B. Car-Sharing, in die App integriert werden.

Um die Erfolgsaussichten und Nutzerakzeptanz der App zu gewährleisten, musste zunächst sichergestellt werden, dass sämtliche notwendigen Anforderungen bei der Entwicklung berücksichtigt werden. Hierzu zählen neben technischen Anforderungen (Betriebssystem, Datenbanksystem, benötigte Inputparameter, etc.) auch soziologische Aspekte (benutzerfreundliche und intuitive Bedienung, etc.) sowie die glaubhafte Sicherstellung des Datenschutzes. Der Einbezug der soziologischen Aspekte ist besonders vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Bewohner (insbesondere im Hinblick auf Alter und Technikaffinität) ein entscheidender Erfolgsfaktor. Zudem wurden Schnittstellen definiert, mit denen z. B. die Energieverbräuche der Bewohner erfasst oder externe Services angebunden werden können.

Um die geplante Analyse des Energieverbrauchsverhaltens der Bewohner umsetzen zu können, mussten deren Verbräuche feingranular erfasst und ausgewertet werden. Daher war die Einhaltung des Datenschutzes von großer Wichtigkeit. Hier konnte teilweise auf die Ergebnisse aus der Aufarbeitung des Datenschutzes aus einem vorherigen Arbeitsbereich (siehe Kapitel 2.4) zurückgegriffen und darauf aufgebaut werden.

Um den Bewohnern Feedback zu ihrem Energieverbrauchsverhalten geben zu können, wurden Features entwickelt, die den Datenpool einzelner Bewohner analysieren und ein Benchmarking (z. B. bei Stromverbrauch, Wärmeverbrauch etc.) unter Einhaltung des Datenschutzes ermöglichen. Das Benchmarking sollte dazu verwendet werden, den Nutzern noch weitere Anreize zu geben sich energieeffizienter zu verhalten und so einen Kaskadeneffekt auszulösen, der das gesamte Quartier nach und nach energieeffizienter macht.

Abschließend flossen die Ergebnisse in die Entwicklung der App ein. Bei der Entwicklung war auf einen modularen Aufbau zu achten, so dass auch zu einem späteren Zeitpunkt weitere Aspekte ergänzt oder herausgenommen werden können. Zudem ermöglicht dieses Vorgehen die Entwicklung einer generischen Quartiers-App, die auch in anderen Quartieren bzw. Städten genutzt werden kann.

Die App wurde aufgrund des Projektfortschritts vorrangig auf die Spezifika des Demonstrationsquartiers in Überlingen zugeschnitten und dort angewendet. Es wurde jedoch auch ein Frontend für das Demonstrationsquartier in Stuttgart gestaltet und entwickelt.

Im Wesentlichen sollten zwei große Artefakte entstehen: das erweiterte Datenschutzkonzept sowie die Quartiers-App für die Demonstrationsquartiere Stuttgart und Überlingen, welche im Folgenden getrennt voneinander betrachtet werden.

2.12.2 Vorgehen

Erweitertes Datenschutzkonzept

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein individuelles Datenschutzkonzept für das Projekt Stadtquartier 2050 entworfen und ausgearbeitet. Dieses adressiert alle datenschutzrechtlichen Aktivitäten bei Entwicklung und Betrieb der Quartiers-App, des Bonussystems, des GridOptimizers sowie der Messdatenbanken in den Demonstrationsquartieren im Kontext des Projekts Stadtquartier 2050.

Das Datenschutzkonzept wurde im Verlauf der Ausarbeitung von einem externen Experten im Bereich Datenschutzrecht geprüft, um den hohen Qualitätsstandards an die Sicherung des Schutzes der Bewohnerdaten gerecht zu werden. Über den Zeitraum der Ausarbeitung wurden Teilergebnisse in regelmäßigen Abständen an Verbundpartner übermittelt: Die Verbundpartner wurden zunächst per E-Mail und am Verbundtreffen über neue Ergebnisse informiert. Im Anschluss erfolgte ein gemeinsamer Datenschutztermin, bei dem die Rechtsgrundlagen für die Verarbeitung personenbezogener Daten sowie die Vereinbarung der gemeinsamen Verantwortlichen zum

Datenschutz allen Verbundpartnern ausführlich vorgestellt und mit ihnen diskutiert wurden. Für die Verbundpartner bestand im Nachgang im Rahmen einer ersten Feedbackrunde die Möglichkeit, Stellung zu den Inhalten des Datenschutzkonzeptes zu beziehen. Hierzu wurde das Datenschutzkonzept an die zuständigen Rechtsabteilungen bzw. Datenschutzbeauftragten des jeweiligen Verbundpartners übergeben. Ihr Feedback wurde zunächst gesammelt, in der Arbeitsgruppe diskutiert und notwendige Anpassungen in das Datenschutzkonzept eingearbeitet. Dabei wurde konkret der Gültigkeitsbereich des Datenschutzkonzeptes angepasst sowie die jeweiligen Verantwortlichkeiten und Pflichten der einzelnen Projektpartner geschärft und explizit aufgelistet.

Im Rahmen einer zweiten Feedbackrunde wurden weitere Anmerkungen der Verbundpartner (insbesondere die der Rechtsabteilung zweier Verbundpartner) sowie die Kontaktdaten der im Datenschutzkonzept genannten Ansprechpartner für Datenschutz eingeholt. Nach abgeschlossener Prüfung erfolgte ein nochmaliges Integrieren des Feedbacks der Verbundpartner. Im Zuge dessen wurde in mehreren Gesprächen mit den entsprechenden Rechtsabteilungen und Datenschutzbeauftragten die Einwilligungserklärung überarbeitet. Das finale Datenschutzkonzept wurde abschließend ein letztes Mal allen Projektpartnern zur Durchsicht zur Verfügung gestellt. Nachdem keine weiteren Änderungswünsche geäußert wurden, wurde das Dokument unter Leitung der LH Stuttgart an alle Projektpartner zur Unterschrift verschickt. Das Dokument wurde im Anschluss von allen bis auf einen Verbundpartner des Projekts unterschrieben.

Quartiers-App der Demonstrationsquartiere Stuttgart und Überlingen

Mit Beginn der Arbeiten fanden mehrere Besprechungen zum möglichem Funktionsumfang und zu Schnittstellen der Quartiers-App statt. Da die Entwicklung der App maßgeblich von der langfristigen Perspektive für den Weiterbetrieb der App abhing, war eine zentrale Fragestellung, wer Interesse hat, die Quartiers-App nach Projektende weiter zu betreiben. Von dieser Entscheidung hing unter anderem der zu realisierende Funktionsumfang der Quartiers-App ab. Um möglichen zukünftigen Betreibenden der Quartiers-App die Entscheidung zu erleichtern, fanden im Konsortium einige Diskussionsrunden zu diesem Thema statt. Dabei wurden detaillierte Informationen zum finanziellen und zeitlichen Aufwand im Betrieb von Apps recherchiert und aufbereitet. Zusätzlich wurden Synergien zwischen dem parallelen Betrieb der Quartiers-App in Stuttgart und Überlingen andiskutiert.

In einem Workshop zu Beginn, siehe Bild 48, wurde im Detail über den Funktionsumfang der Quartiers-App sowie konkrete Ausgestaltungsmöglichkeiten der einzelnen Funktionalitäten diskutiert. Konkret wurden dabei mit den verschiedenen Projektpartnern die folgenden Leitfragen diskutiert:

- Welche Funktionen würden Sie sich in einer Quartiers-App wünschen?

- Wie kann sinnvoll Feedback zum Energieverbrauch gegeben werden? Welche Kennzahlen fänden Sie persönlich spannend?

- Wie könnte eine App dazu beitragen, dass sich Bewohner mehr/besser mit dem Quartier identifizieren können?

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Workshops Kernfunktionalitäten identifiziert, die in jedem Fall in der Quartiers-App enthalten sein sollten, was insbesondere Funktionalitäten mit Einfluss auf den Energieverbrauch des Quartiers betrifft. Diese Kernfunktionalitäten sind den Dimensionen „Services“, „Sozial“ und „Verwaltung“ zuzuordnen. Darüber hinaus wurden zahlreiche Funktionalitäten identifiziert, die mindestens eines der folgenden beiden Kriterien erfüllen:

- Funktionalitäten, die in Alltagssituationen Nutzen stiften und somit dazu beitragen, dass die App regelmäßig genutzt wird.

- Funktionalitäten, die dazu beitragen, dass der soziale Zusammenhalt im Quartier gestärkt wird.



Bild 48:
Foto während des Workshops zur Quartiers-App.

Im nächsten Schritt wurden die identifizierten möglichen Funktionalitäten im Rahmen von Fokusgruppen mit (potenziellen) Bewohnern der Quartiere diskutiert und anschließend priorisiert. Zudem wurden im Projektteam erste Ideen zur Darstellung des Feedbacks zum Energieverbrauch erarbeitet.

Auf Basis der Ergebnisse eines Workshops wurden erste Mockups für alle definierten Kernfunktionalitäten sowie zu großen Teilen für die weiteren optionalen Funktionalitäten erstellt.

Ziele des nächsten Workshops waren die Schaffung eines Überblicks über die im ersten Workshop definierten Funktionalitäten anhand der erstellten Mockups, der Austausch zu Optimierungspotenzialen bei diesen Funktionalitäten sowie die Konkretisierung der Anforderungen an die Quartiers-App. Im Workshop wurden insbesondere die Kernfunktionalitäten detailliert ausdiskutiert und priorisiert. Hierbei wurden die Inhalte der mehr als zweistündigen Präsentation protokolliert und auf einem digitalen Whiteboard für alle Teilnehmer des Workshops in einer Mindmap strukturiert dokumentiert. Bild 50 zeigt beispielhaft ein für den Workshop vorbereitetes Mockup der Funktionalität „Feedback zum Energieverbrauch“. Bild 50 zeigt einen Ausschnitt des digitalen Whiteboards.

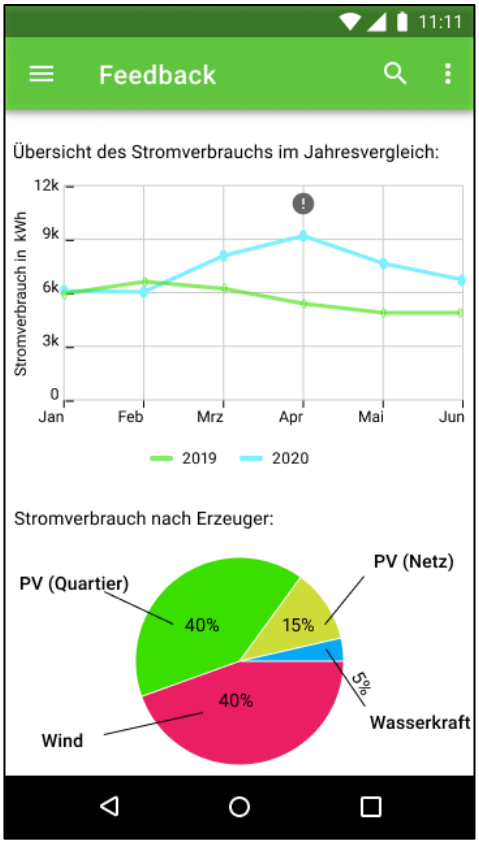


Bild 49:
Mockup der Kernfunktionalität „Feedback zum Energieverbrauch“.

Aus den Ergebnissen des Workshops wurden Anforderungen an die einzelnen Kernfunktionalitäten der Quartiers-App skizziert. Dabei handelte es sich um eine erste „Light-Version“ des Anforderungskatalogs. Aus dieser Version wurde im nächsten Schritt eine detaillierte und vollständige Systemanforderungsspezifikation erstellt und der Anforderungskatalog finalisiert.

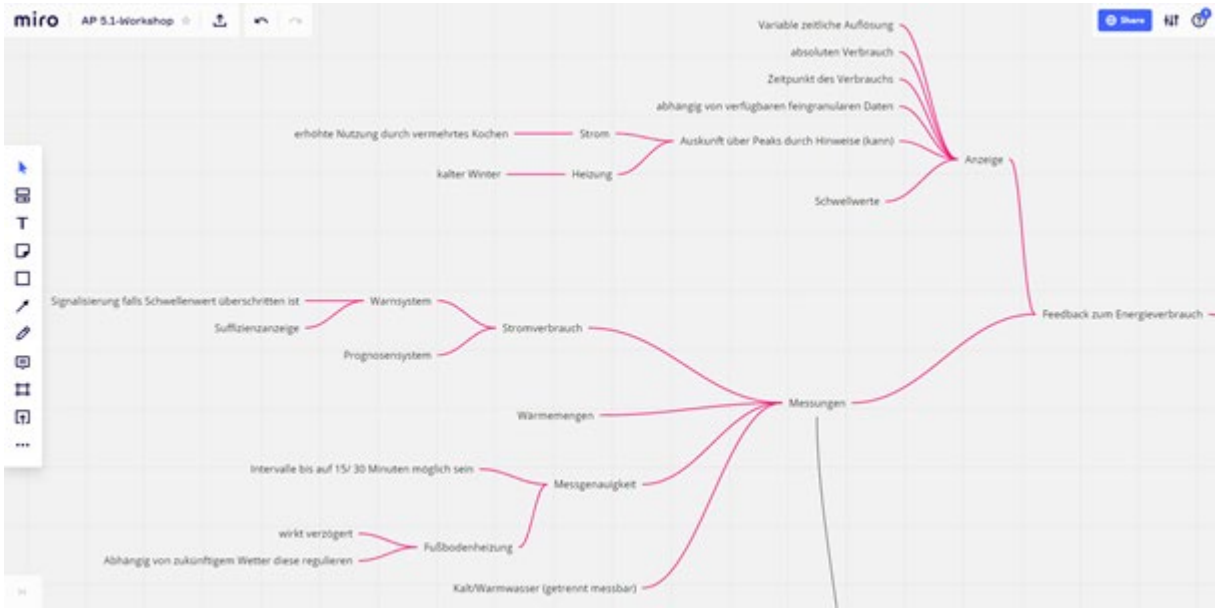


Bild 50:
Ausschnitt aus dem digitalen Whiteboard zur Dokumentation des Workshops.

Zusätzlich wurde ein Klick-Prototyp des Frontends der Quartiers-App entworfen und ausgearbeitet. Dieser Prototyp visualisierte die bereits festgehaltenen Anforderungen und sollte die Zusammenarbeit mit anderen Arbeitspaketen erleichtern, indem die technische Komplexität durch den Prototypen im Dialog abgefangen werden kann. Ferner wurde der erstellte Klick-Prototyp zur Evaluation geeigneter, plattformunabhängiger Entwicklungsframeworks genutzt. Mit dem Fraunhofer IBP wurden darüber hinaus mehrere Termine durchgeführt, um die Schnittstellen hinsichtlich der Messdatenbank in Überlingen sowie des Grid Optimizers zu spezifizieren. Die neuen und aktualisierten Anforderungen wurden dokumentiert und festgehalten.

Der erarbeitete Anforderungskatalog diente als Ausgangsbasis der weiteren Quartiers-App-Entwicklung. Im nächsten Schritt wurde eine initiale und lauffähige Alpha-Version der Quartiers-App entwickelt, welche erste, quartiersunabhängige Komponenten aus den erstellten Mockups und Anforderungen umsetzte. Die erste Alpha-Version der Quartiers-App kann als „Light Version“ der Quartiers-App Stuttgart bzw. Überlingen verstanden werden. Konkret handelte es sich dabei um eine nicht vollumfängliche Version der App, die noch funktional erweitert wurde. Damit konnten innerhalb einer speziell konfigurierten Testumgebung Oberflächen auf einem virtuellen Smartphone vorgezeigt und bedient werden. Dadurch waren bereits frühzeitige Tests mit

potenziellen Benutzenden möglich. Darüber hinaus konnten aktuelle Screenshots den Verbundpartnern zur Verfügung gestellt werden.

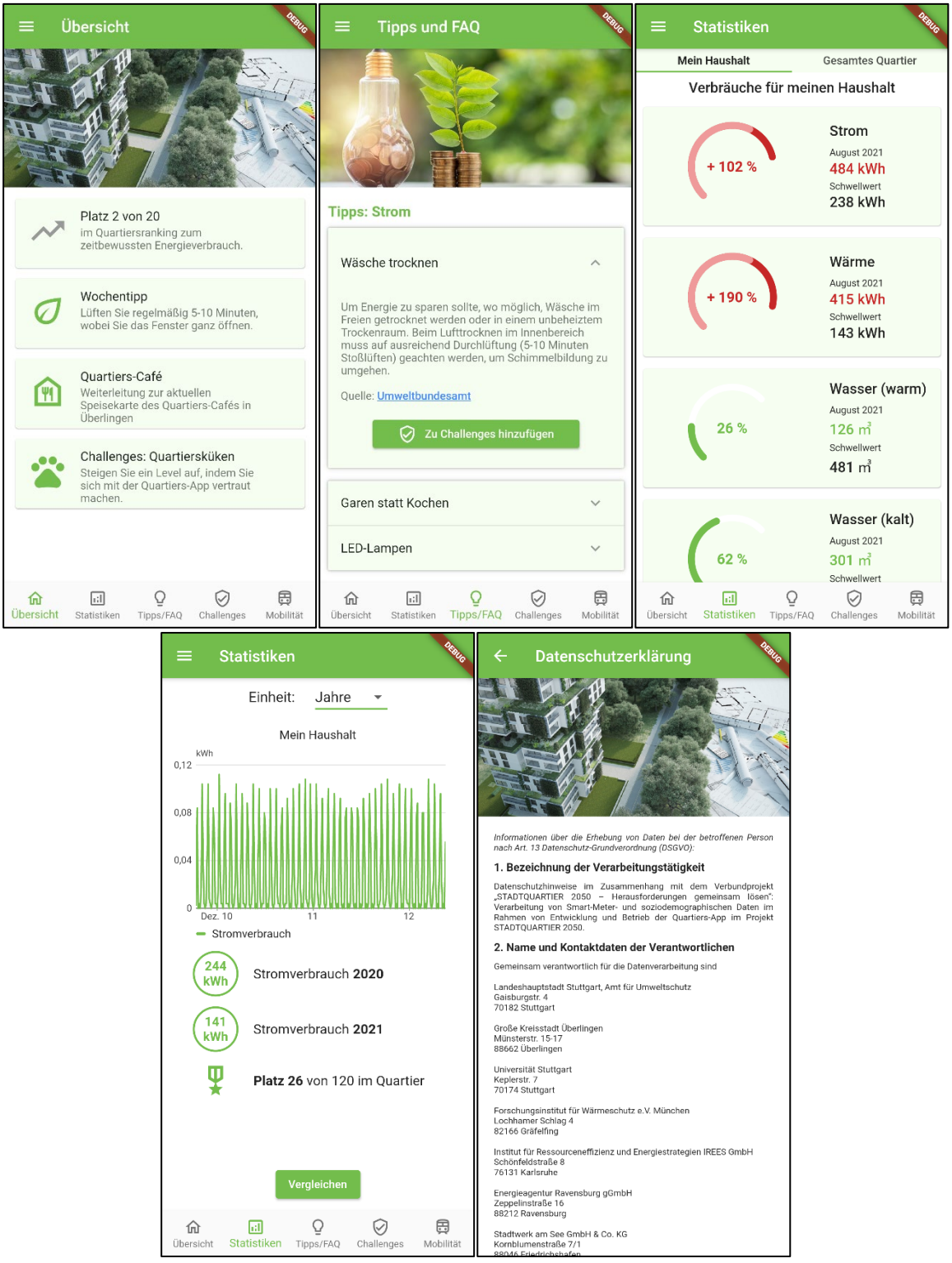


Bild 51:
Screenshots der ersten Alpha-Version der Quartiers-App.

Für die Entwicklung der ersten Alpha-Version wurde zunächst eine Auswahl an für die Bewohnenden relevanten Funktionalitäten anhand der in der Anforderungsspezifikation genannten Business Use Cases (BUC) getroffen. Im Kern handelt es sich dabei um folgende Funktionsbereiche und den dazugehörigen BUC:

- Energiespartipps: Anzeige einer Kategorie-Übersicht sowie Informationen und Tipps je Kategorie.

- Exemplarische Energieverbräuche: Anzeige einer Übersicht der wohnungs- bzw. quartiersbezogenen Energieverbräuche mit den jeweiligen Detailansichten je Energie- bzw. Ressourcenart.

- Registrierung: Ausgestaltung eines ansprechenden, robusten und datenschutzkonformen Registrierungsprozesses zur Erfassung aller für den Betrieb der App notwendigen Informationen.

Zur Implementierung dieser Funktionalitäten wurde ein temporärer Testserver mit einer realitätsnahen Testdatenbank aufgesetzt, da die Serverinfrastruktur in beiden Demonstrationsquartieren noch nicht bereitstand. Ein zugrundeliegendes, entwickeltes Datenbankschema sollte dabei den geplanten Realbetrieb simulieren. Während der Entwicklung sollte dieses weiter ausgearbeitet werden, sodass bei Inbetriebnahme der Messdatenserver in Stuttgart und Überlingen eine Übernahme eines fehlerfreien Datenbankschemas sichergestellt wird. Die darin enthaltenen ersten simulierten Testdaten wurden über eine fortlaufend weiterentwickelte Schnittstelle auf dem Testserver für die App-Entwicklung zur Verfügung gestellt. Auch hier wurde auf eine quartiersübergreifend nutzbare Architektur großen Wert gelegt, um die Portierbarkeit auf die Messdatenserver in Stuttgart und Überlingen sicherzustellen.

Parallel zur Implementierung der Quartiers-App wurden den Verbundpartnern aktuelle Entwicklungsstände mehrfach vorgestellt und das dort erhaltene Feedback zur Quartiers-App umgesetzt, wie beispielsweise die Implementierung eines zusätzlichen Informationsdialogs vor der Anzeige der Datenschutzerklärung. Ferner wurden zusätzlich mit dem Fraunhofer IBP weitere Abstimmungstermine durchgeführt, um die Schnittstellen hinsichtlich der Messdatenbank in Überlingen als auch des GridOptimizers zu konkretisieren. So wurde hier beispielsweise die Schnittstelle der Messdatenbank in Überlingen in einem gemeinsam erarbeiteten Leistungsverzeichnis festgehalten.

Auch wurde an einem wissenschaftlichen Transferbeitrag gearbeitet, mit dem Ziel, Handlungsempfehlungen zur Gestaltung und Entwicklung von Quartiers-Apps für Praktiker zugänglich zu machen. Dieser Beitrag wurde in der Zeitschrift „HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik“ veröffentlicht und trägt den Titel „Handlungsempfehlungen für die Gestaltung mobiler Apps in smarten und nachhaltigen Quartieren“ [Bonenberger 2021]. Neben dem

wissenschaftlichen Transferbeitrag wurden durch das Unternehmen Covestro AG – Rohstoffpartner des Projektpartners puren GmbH – neben anderen Videos zum Projekt selbst, mehrere Videos über die Entwicklungen der Quartiers-App aufgenommen und auf YouTube öffentlich bereitgestellt [Covestro 2021].

Um Feedback von den Bewohnenden zu erhalten, wurde am Tag der offenen Tür in Überlingen die erste Alpha-Version der Quartiers-App interessierten Bewohnenden und Verbundpartnern vorgestellt. Um eine Live-Demonstration zu ermöglichen, wurden mehrere Tablets mit einer lauffähigen Version der Alpha-Version der Quartiers-App bespielt, sodass die Nutzenden selbständig innerhalb der Quartiers-App navigieren konnten. Im Dialog wurden Verbesserungsvorschläge erarbeitet und für die weiteren Entwicklungen für eine zweite Alpha-Version festgehalten.

Die zweite Alpha-Version wurde auf Basis des gesammelten Feedbacks und den ausstehenden Funktionalitäten aus dem Anforderungskatalog entwickelt und an den Test-Server mit Testdatenbank mit entsprechender Datenverarbeitungslogik angebunden. Dabei wurden die folgenden Funktionsbereiche mit den jeweiligen Business Use Cases (weiter-)entwickelt und verbessert:

- Detaillierte wohnungsbezogene und quartiersübergreifende Energie- und Ressourcenverbräuche: Visualisierung und Vergleich von Energie- bzw. Ressourcenverbräuchen in verschiedenen Zeitintervallstufen (Jahr, Monat, Woche, Tag oder Stunde).

- Persönliche Einstellungen: wohnungsbezogene Informationen für die Quartiers-App speichern (z. B. Verbrauchstarifdaten, Schwellwerte für Verbräuche, etc.).

- Gamification: Möglichkeit zum spielerischen Kennenlernen der Quartiers-App, z. B. durch Absolvieren selbstgewählter Herausforderungen, entdecken der App oder die Umsetzung von Empfehlungen durch den Grid Optimizer.

- Mobilitätsübersicht: Übersicht über die im jeweiligen Quartier verfügbaren Mobilitätsangebote.

Darüber hinaus wurde umfangreiches Schulungsmaterial innerhalb des Verbunds zusammengetragen und ausgearbeitet, welches als Energiespartipps und häufig gestellten Fragen (FAQ) in der Quartiers-App zur Verfügung gestellt wird. Die entwickelte zweite Alpha-Version, siehe Bild 52, wurde innerhalb des Verbundes vorgestellt und dabei noch einmal Feedback eingeholt, um die Verständlichkeit und die fachliche Korrektheit der entwickelten Funktionalitäten zu überprüfen.

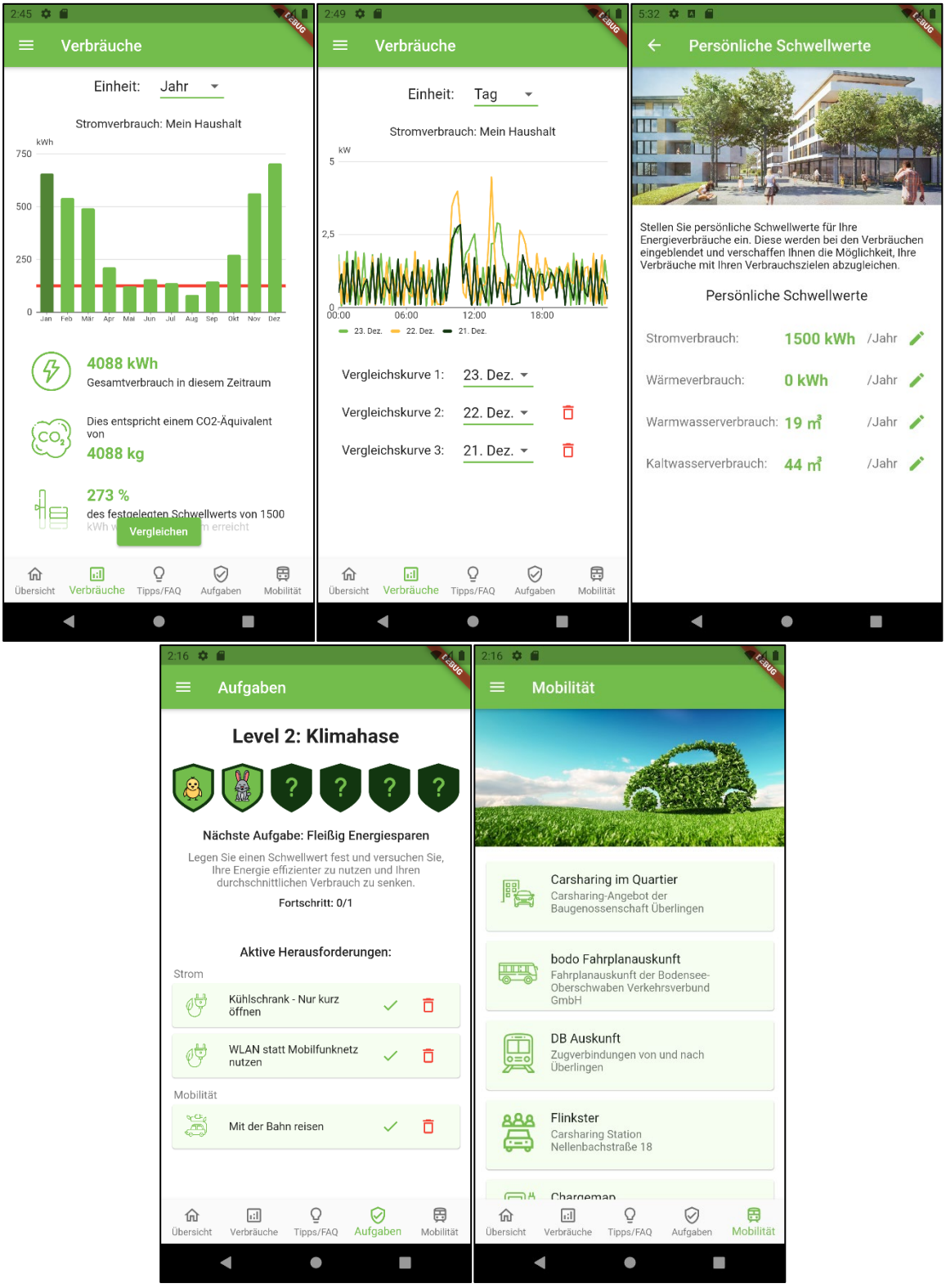


Bild 52:
Ausgewählte Screenshots der zweiten Alpha-Version der Quartiers-App.

Im weiteren Verlauf wurde die zweite Alpha-Version der Quartiers-App weiter optimiert, um eine erste Testung der App in einem Realweltsetting in

Überlingen zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang wurden sowohl im Frontend, als auch im Backend Feinheiten ausgebessert. Dazu zählten u. a. Anpassungen in der Visualisierung der Energieverbräuche, das Streamlining des Registrierungsprozesses, sowie eine optimierte Anbindung von Front- und Backend.

Eine Testung der Quartiers-App in einem Realweltsetting ist wichtig, um die Passung der angebotenen Funktionalitäten mit den Bedürfnissen und technischen Fähigkeiten der App-Nutzenden zu überprüfen. Daher wurde die BGÜ angefragt, um einige Bewohnende des Überlinger Quartiers zu identifizieren, die die Quartiers-App ggf. in einem Pilotverfahren testen wollen würden. Ziel war es einige Testhaushalte zu finden, die alle Funktionalitäten der Quartiers-App im Vorfeld ausprobieren. Die dadurch gewonnen Daten dienten der Vorbereitung möglicher Datenauswertungen, der Überprüfung aller technischen Schnittstellen, und dem strukturierten Einholen von Feedback der Nutzenden. Insgesamt konnten 14 Interessenten für einen Testbetrieb der Quartiers-App im Demonstrationsquartier Überlingen gewonnen werden. Diese Interessenten konnten die Quartiers-App im Rahmen einer kurzen Testphase bis zum regulären Projektende für das Fraunhofer-Institut für angewandte Informationstechnik FIT Ende Februar 2023 nutzen.

Zur Finalisierung der Quartiers-App für den Testbetrieb erfolgte eine Portierung der Alpha-Version auf den Server in Überlingen. Im Zuge der Portierung erfolgte die Anbindung einer serverinternen API, welche als Schnittstelle zwischen der Messdatenbank und dem Back-End der Quartiers-App fungiert. Diese API wurde durch den externen Dienstleister fit-ware GmbH nach einer gemeinsamen Anforderungsspezifikation der Fraunhofer-Institute FIT und IBP implementiert. Neben der Anbindung der API wurden weitere serverseitige Funktionalitäten der Quartiers-App implementiert, beispielsweise die Integration des Tools GridOptimizer und die manuelle Erfassung von Verbrauchsdaten, die nicht durch die API abgefragt werden können (mangels vorhandener Datenerfassung durch Smart Meter). Im Front-End wurden zur Finalisierung für den Testbetrieb einige Änderungen implementiert. Zudem wurde ein neues Feature hinzugefügt: Auf der Übersichtsseite der Quartiers-App wurde eine dynamische Kachel hinzugefügt, die alle Energieverbräuche und selbst festzulegende Schwellenwerte in Form eines Benchmarks zusammenfasst (siehe Bild 53).



Bild 53:
Beispielhafte Integration von Benchmarks in die Quartiers-App.

Zur Abstimmung über die Ausgestaltung der Quartiers-App für das Demonstrationsquartier in Stuttgart fand ein Termin mit allen interessierten Projektpartnern statt. Hierbei wurde beschlossen, für das Demonstrationsquartier Stuttgart ein lokalisiert gebrandetes Front-End zu konzipieren, um einen lokal lauffähigen Demonstrator ohne Messdatenanbindung bereitstellen zu können. Dieses lokalisierte Front-End beinhaltet analog zum bisher auf Überlingen ausgerichteten Front-End Bilder des Quartiers, den Bezug zum Quartier in der Visualisierung der Verbrauchsinformationen sowie die Verlinkung zu lokalen relevanten Mobilitätsangeboten.

Die App-interne Schnittstelle zwischen Front-End und Back-End (implementiert als RESTful-API) wurde strukturierten Funktionstests unterzogen. Hierzu wurde eine automatisierte Testsuite mit einer Vielzahl von Testfällen für alle Endpunkte der App-internen Schnittstelle erstellt.

2.12.3 Ergebnisse

Funktionalitäten der Quartiers-App

Login-Seite:

- Für bereits registrierte Nutzer: Login in die Quartiers-App mit persönlichem Zugangscode und selbst gewähltem Passwort.
- Für neue Nutzer: Möglichkeit den Registrierungsprozess zu starten unter Angabe des persönlichen Zugangscodes und des zugehörigen Initialpassworts.

Registrierung:

- Nach Eingabe des persönlichen Zugangscodes sowie des zugehörigen Initialpassworts wird eine Informationsseite zur Quartiers-App angezeigt. Diese informiert über:
  - Funktionen der Quartiers-App
  - Notwendigkeit der Registrierung
  - Die Daten, die die Quartiers-App verarbeiten muss
  - Den Grund, warum die Quartiers-App diese Daten benötigt
- Nach der Informationsseite wird den Nutzern die Datenschutzerklärung der Quartiers-App angezeigt und sie müssen in die Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten einwilligen.
- Nach erfolgter Einwilligung wählen die Nutzer ein sicheres Passwort für den künftigen Zugang zur Quartiers-App.
- Nach der Passworterstellung geben die Nutzer die Anzahl der Bewohner ihres Haushalts, sowie deren Alter und die Information an, ob die Bewohner tagsüber normalerweise zuhause sind.

Seite „Übersicht“:

- Integration des GridOptimizer: Informationen zur Verfügbarkeit von klimaneutralem Quartiersstrom sowie die Möglichkeit, Feedback zur Befolgung der Empfehlung an das Fraunhofer IBP zu senden.
- Dynamische Verbrauchskachel: Benchmarking der eigenen Energieverbräuche gegen selbst festgelegte Schwellenwerte mit farblicher Hervorhebung der Status „unter Schwellenwert“, „kurz unterhalb des Schwellenwerts“, „Schwellenwert überschritten“.

- Verlinkung zu Gamification-Feature der Quartiers-App.
- Verlinkung zu Quartiers-Restaurant (nur Überlingen).

Seite „Verbräuche“:

- Persönliche Verbrauchsübersicht über die Energiearten Strom, Wärme, Warmwasser, Kaltwasser
    - Anzeige der absoluten Verbräuche des aktuellen Monats.
    - Anzeige der prozentualen Erreichung eines selbst festgelegten Schwellenwerts für den aktuellen Monat.
    - Anzeige des selbst festgelegten Schwellenwerts für den aktuellen Monat.
    - Übersicht über die Gesamtverbräuche im Quartier bzgl. der Energiearten Strom, Wärme, Warmwasser, Kaltwasser.
- Detailansicht zu Verbräuchen aller Energiearten:
    - Darstellung der Verbräuche in einem Balkendiagramm für Jahresansicht, Monatsansicht, Wochenansicht inklusive Visualisierung des selbst festgelegten Schwellenwerts für den gewählten Zeitraum.
    - Darstellung der Verbräuche in einem Liniendiagramm (Lastprofil) für Tagesansicht und Stundenansicht.
    - Anzeige der Kennzahlen „Gesamtverbrauch im ausgewählten Zeitraum“, „Greifbare Umrechnung des Gesamtverbrauchs“ in Vergleichseinheiten des täglichen Lebens, „Prozentualer Anteil des Gesamtverbrauchs am Schwellenwert für den ausgewählten Zeitraum“, „Geschätztes Kostenäquivalent für den Gesamtverbrauch im ausgewählten Zeitraum“.
- Vergleichsansicht zu Verbräuchen aller Energiearten:
    - Paralleler Vergleich von bis zu 3 Datensätzen von Verbräuchen derselben Zeiteinheit (d. h. Stromverbrauch 2022, 2021, 2020; Wärmeverbrauch letzter Monat, vorletzter Monat, vorvorletzter Monat; Kaltwasserverbrauch aktueller Tag 8-9 Uhr, 11-12 Uhr, 14-15 Uhr; etc.).
    - Verfügbare Zeiteinheiten: Jahr, Monat, Woche, Tag, Stunde
    - Es können jeweils die letzten 12 Einheiten miteinander verglichen werden (z. B. die letzten 12 Jahre, 12 Monate, 12 Wochen, 12 Tage oder 12 Stunden).

Seite „Tipps/FAQ“:

- Beinhaltet eine Sammlung von Tipps und FAQ zu sechs Kategorien.
- Kategorien: Strom, Mobilität, Wärme, Wasser, Abfall/Recycling, Allgemein.
- Die Tipps können auf den Status „zu Herausforderungen hinzufügen“ gesetzt werden, und somit für die Gamification-Komponente aktiviert werden.

Seite „Aufgaben“:

- Zeigt das aktuelle Level des Nutzers in der Gamification-Komponente der Quartiers-App (es gibt die Level „Küken“ (1), „Hase“ (2), „Biene“ (3), „Adler“ (4), „Robbe“ (5) und „Eisbär“ (6).
- Zeigt die Aufgabe an, die der Nutzer erledigen muss, um das nächste Level der Gamification-Komponente zu erreichen:
    - Aufstieg zu Level 2: Die Seiten „Mobilität“, „Verbräuche“ und „Tipps/FAQ“ öffnen.
    - Aufstieg zu Level 3: Einen Schwellenwert in den Einstellungen der Quartiers-App festlegen.
    - Aufstieg zu Level 4: Die Quartiers-App in Summe an drei Tagen öffnen.
    - Aufstieg zu Level 5: Eine bestimmte Anzahl an markierten Tipps als „abgeschlossen“ markieren.
    - Aufstieg zu Level 6: Die Quartiers-App in Summe an 14 Tagen öffnen.
- Zeigt aktive Herausforderungen an: Tipps, die in der Seite „Tipps/FAQ“ markiert wurden, werden hier gelistet und können entweder als „abgeschlossen“ markiert werden oder die Markierung kann aufgehoben werden.

Seite „Mobilität“:

- Verlinkungen zu verschiedenen Mobilitätsdienstleistern.
- Für Überlingen:
    - Carsharing-Angebot der Baugenossenschaft Überlingen

- Bodo Fahrplanauskunft
- DB Auskunft
- Flinkster Carsharing
- Chargemap – Ladestation für Elektroautos in Überlingen
- Parkinformation der Stadt Überlingen

- Für Stuttgart:
  - VVS Fahrplanauskunft
  - Stella-Sharing: Elektroroller-Sharing der Stadtwerke Stuttgart
  - Stadtmobil Carsharing
  - DB Auskunft
  - Flixtrain Auskunft

Optionsseite „Persönliche Schwellenwerte“:

- Möglichkeit, persönliche Schwellenwerte für alle Energiearten festzulegen.
- Die Schwellenwerte werden auf Jahresbasis angegeben und von der Quartiers-App dynamisch in kleinere Zeiteinheiten heruntergerechnet (unter Berücksichtigung jahreszeitlich bedingter Verbrauchsunterschiede).
- Möglichkeit, alle Schwellenwerte auf einen Standardwert zurückzusetzen, der auf Basis der angegebenen Bewohnerinformationen (Anzahl Bewohner, Alter Bewohner, Angabe ob tagsüber anwesend oder nicht) berechnet wird.

Optionsseite „Persönliche Energiekosten“:

- Möglichkeit, persönliche Energiekosten für alle Energiearten festzulegen.
- Für jede Energieart können jährliche Grundkosten und Verbrauchskosten pro Verbrauchseinheit (kWh, m³) angeben werden.
- Diese werden verwendet, um eine Kostenschätzung in der Verbrauchsansicht der Quartiers-App zu ermitteln.

- Möglichkeit, alle Schwellenwerte auf einen Standardwert zurückzusetzen, der auf marktüblichen, durchschnittlichen Energiepreisen basiert.

Optionsseite „Manuelle Dateneingabe“:

- Möglichkeit, für alle Energiearten, die in der Wohneinheit des Nutzers nicht durch Smart-Metering erfasst werden, selbst Verbräuche zu tracken.
- Es können beliebig oft Zählerstände für jede verfügbare Energieart eingetragen werden.
- Die bisher erfassten Zählerstände können eingesehen und bearbeitet bzw. gelöscht werden.
- Die erfassten Zählerstände werden in den Verbrauchsansichten der Quartiers-App visualisiert.

Optionsseite „Bewohnerdaten ändern“:

- Möglichkeit, die Anzahl sowie das Alter der hinterlegten Bewohner zu ändern.

Optionsseite „Passwort ändern“:

- Möglichkeit, das Passwort für den persönlichen Login zur Quartiers-App zu ändern.

Optionsseite „Datenschutzerklärung“:

- Möglichkeit, die Datenschutzerklärung der Quartiers-App einzusehen.

Optionsseite „Impressum“:

- Möglichkeit, das Impressum der Quartiers-App einzusehen.

Option „Ausloggen“

- Ausloggen aus der Quartiers-App.

Auswahl von Bildschirmfotos zum finalen Stand der Quartiers-App

- Login-Seite:



Bild 54:
Bildschirmfoto der Login-Seite der Quartiers-App.

- Registrierung:



Bild 55:
Bildschirmfotos der Registrierung für die Quartiers-App.

- Seite Übersicht:

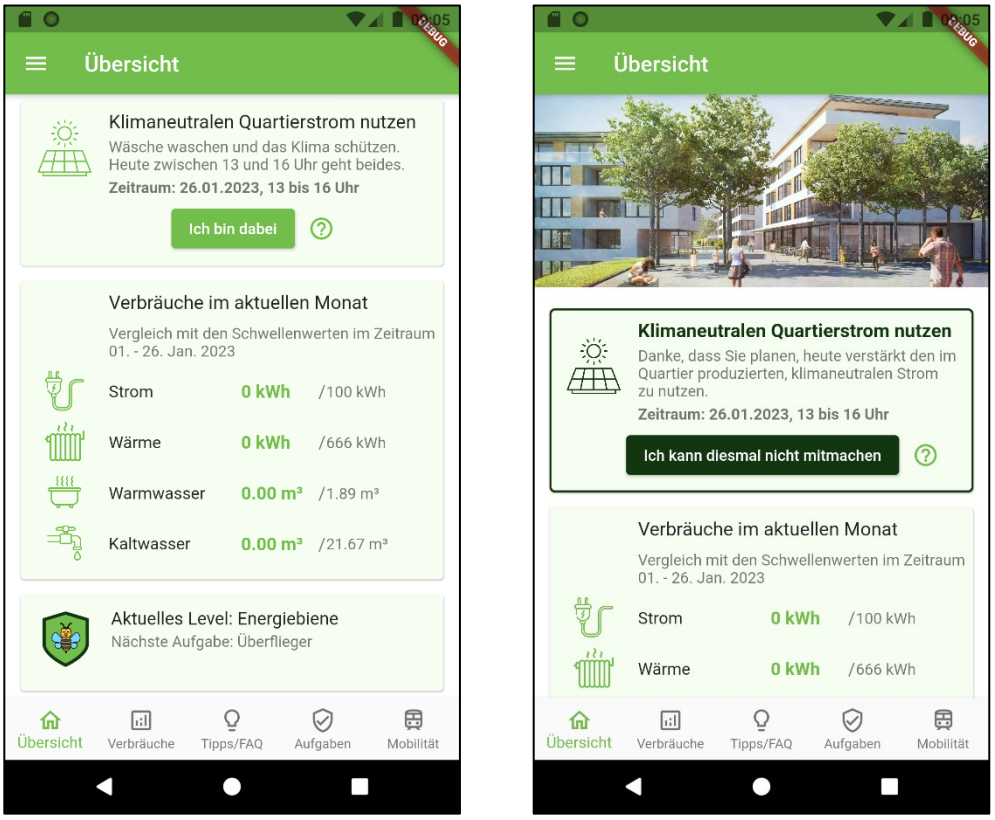


Bild 56:
Bildschirmfotos der Seite Übersicht mit Einbindung des GridOptimizers.

- Seite „Verbräuche“:

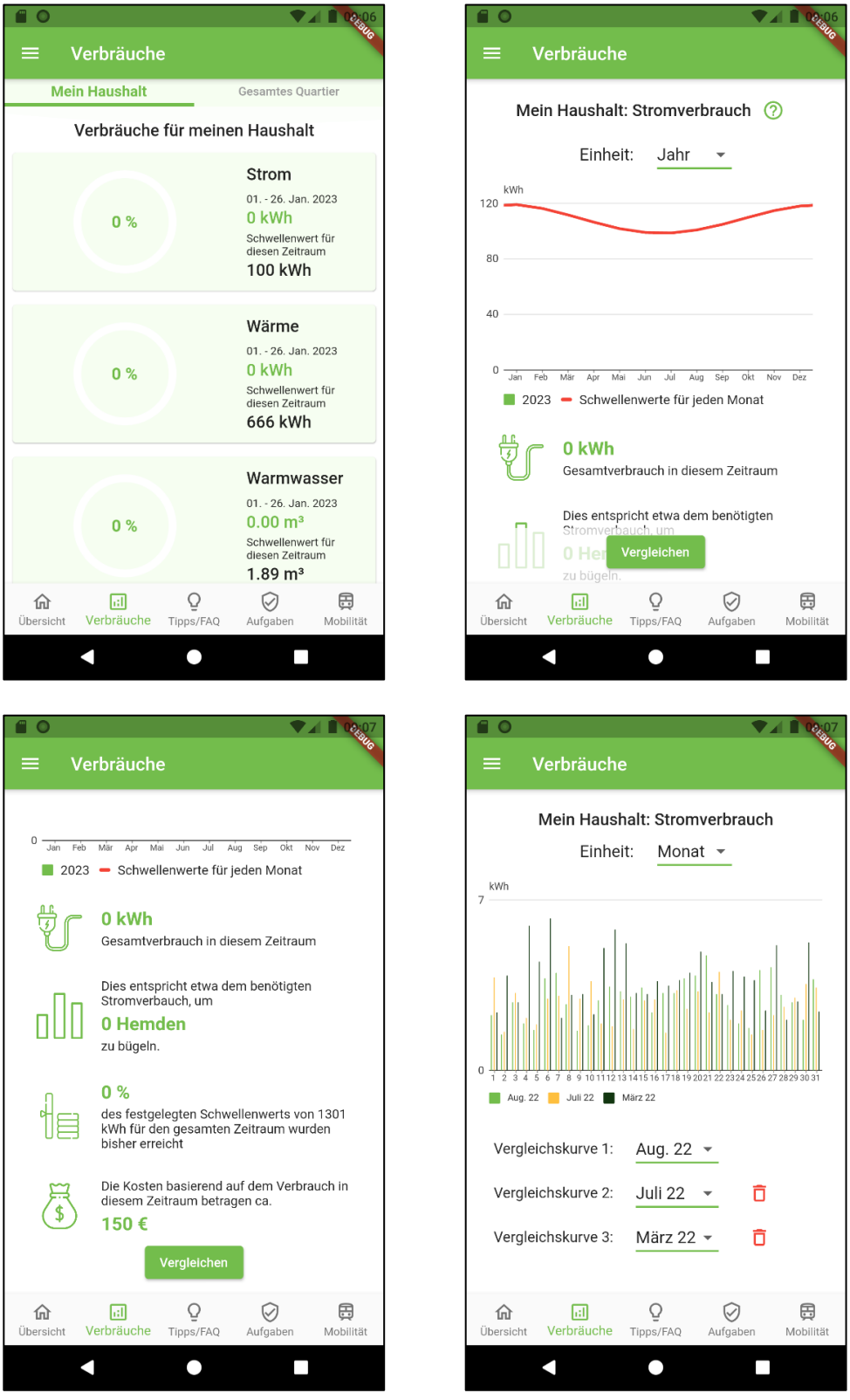


Bild 57:
Bildschirmfotos der Seite Verbräuche.

- Seite „Tipps/FAQ“:

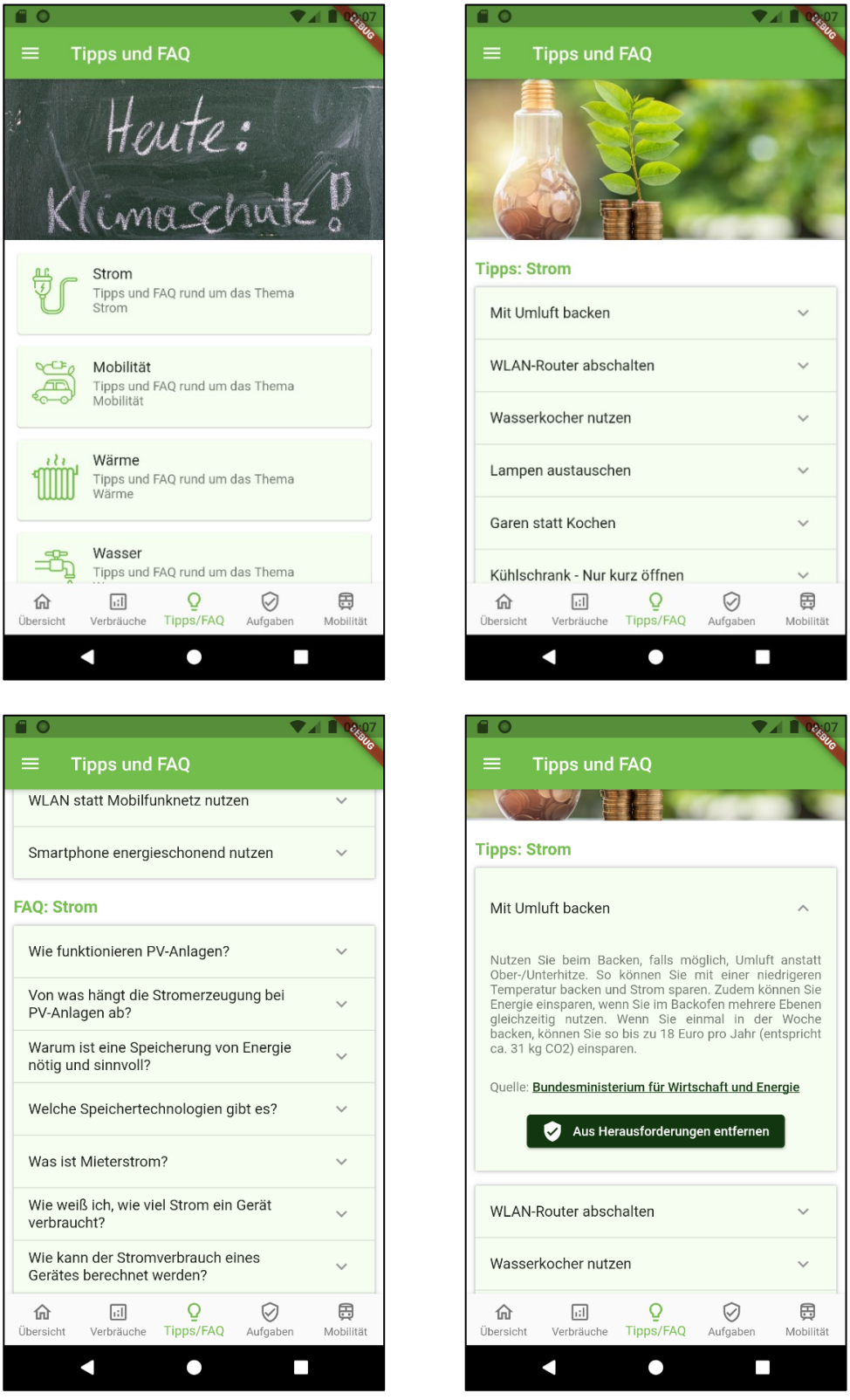


Bild 58:
Bildschirmfotos der Seite „Tipps/FAQ“.

- Seite „Aufgaben“:



Bild 59:
Bildschirmfoto der Seite „Aufgaben“.

- Seite „Mobilität“:



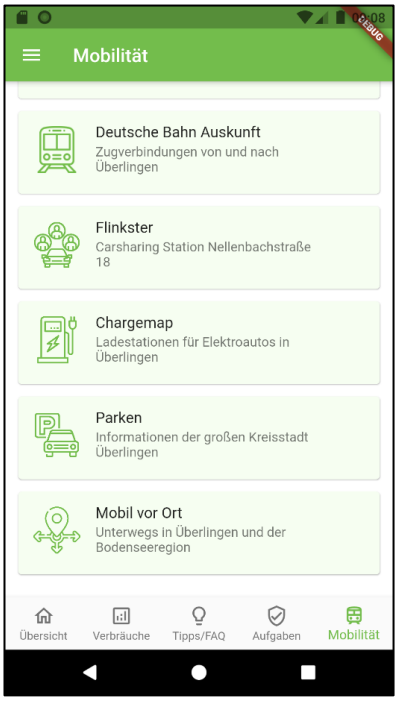


Bild 60:
Bildschirmfotos der Seite „Mobilität“.

- Optionsseite „Personliche Schwellenwerte“:



Bild 61:
Bildschirmfoto der Optionsseite „Persönliche Schwellenwerte“.

- Optionsseite „Persönliche Energiekosten“:



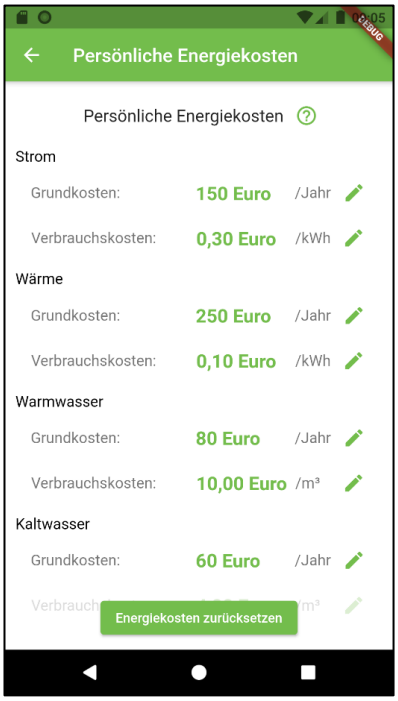


Bild 62:
Bildschirmfotos der Optionsseite „Persönliche Energiekosten“.

- Optionsseite „Manuelle Dateneingabe“:

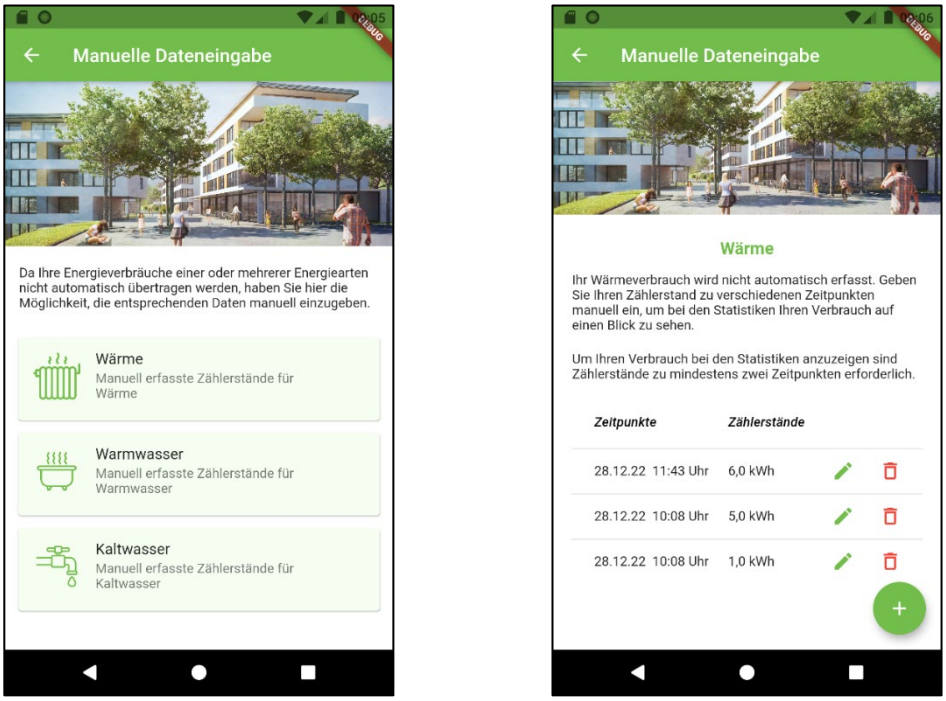


Bild 63:
Bildschirmfotos der Optionsseite „Manuelle Dateneingabe“.

- Optionsseite „Bewohnerdaten ändern“:



Bild 64:
Bildschirmfoto der Optionsseite „Bewohnerdaten ändern“.

- Optionsseite „Passwort ändern“:

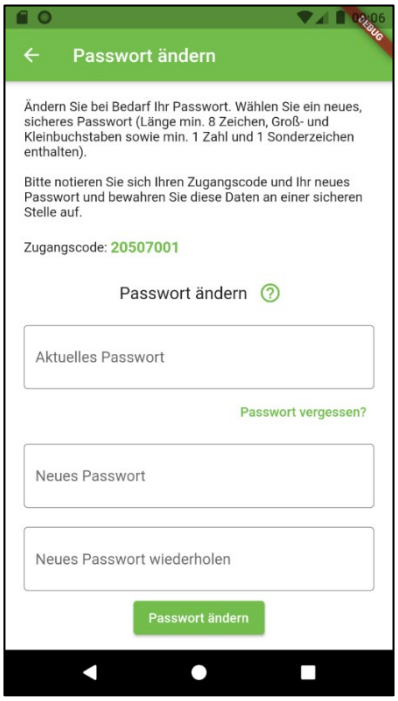


Bild 65:
Bildschirmfoto der Optionsseite „Passwort ändern“.

- Optionsseite „Datenschutzerklärung“:



Bild 66:
Bildschirmfoto der Optionsseite „Datenschutzerklärung“.

- Optionsseite „Impressum“:



Bild 67:
Bildschirmfoto der Optionsseite „Impressum“.

- Optionsseite „Ausloggen“:

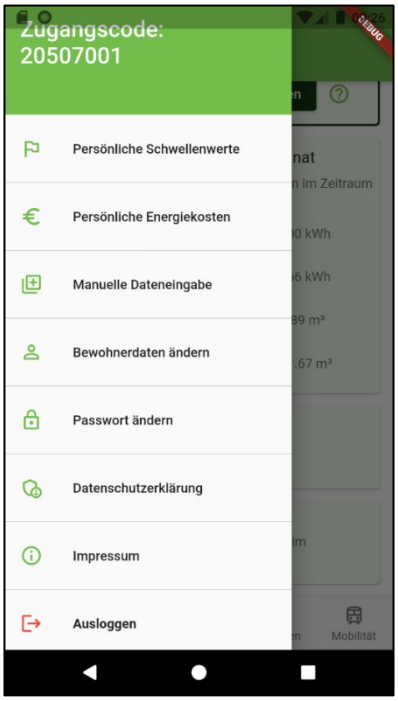


Bild 68:
Bildschirmfoto der Optionsseite „Ausloggen“.

Weiterbetrieb der Quartiers-App nach STADTQUARTIER 2050

Der Weiterbetrieb der Quartiers-App wurde im Projektverlauf mehrfach in unterschiedlichen Entwicklungsphasen der Quartiers-App mit den Projektpartnern besprochen. Für das Demonstrationsquartier in Überlingen stellte sich die Stadt Überlingen als Interessent für einen Weiterbetrieb der Quartiers-App heraus. Eine verbindliche Zusage für den Weiterbetrieb lag jedoch bis zum planmäßigen Ausscheiden des Fraunhofer FIT aus dem Projekt STADTQUARTIER 2050 nicht vor.

Für das Demonstrationsquartier in Stuttgart wurden ebenfalls verschiedene mögliche Betreiber diskutiert. Aufgrund der Verzögerungen des Projektfortschritts im Demonstrationsquartier Stuttgart stand jedoch zum Zeitpunkt des planmäßigen Ausscheidens des Fraunhofer FIT aus dem Projekt STADTQUARTIER 2050 noch kein möglicher Betreiber für das Demonstrationsquartier fest.

Insgesamt konnte durch einen ersten Testbetrieb der Quartiers-App die Funktionsfähigkeit der Applikation sichergestellt werden.

Weiterführende Informationen:

- Anforderungskatalog für die Quartiers-App [Bonenberger 2020]
- Konzept zur Gestaltung des Datenschutzes bei Entwicklung und Betrieb der Quartiers-App im Projekt STADTQUARTIER 2050 [Fraunhofer FIT 2021-3]
- Quartiers-App für das Demonstrationsquartier Stuttgart [Fraunhofer FIT 2023-1]
- Quartiers-App das Demonstrationsquartier Überlingen [Fraunhofer FIT 2023-2]
- Handlungsempfehlungen für die Gestaltung mobiler Apps in smarten und nachhaltigen Quartieren [Bonenberger 2021]
- Video über die Entwicklungen der Quartiers-App [Covestro 2021]

2.13 Tool „Klimaneutral Easy“

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer IBP

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Landeshauptstadt Stuttgart, Stadt Überlingen

2.13.1 Aufgabenstellung

Mit dem Softwaretool „Klimaneutral Easy“ sollte Kommunen, die klimaneutrale Stadtquartiere anstreben, Informationen zu möglichen Lösungen, deren Kosten und weiteren Bewertungsparametern zur Verfügung gestellt werden. Das Tool sollte basierend auf dem „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ (siehe Kapitel 2.5) dem Anwender ermöglichen, passende Lösungsansätzen für klimaneutrale Wohnquartiere für sein Quartier zu finden. Dabei sollte das Quartier in wenigen Schritten konfiguriert und die möglichen Energieversorgungsbestandteile eingegrenzt sowie mögliche Präferenzen vorgegeben werden. Die Anwendung ermittelt dann eines oder mehrere angepasste Konzepte für das Quartier mit einer klimaneutralen Jahresenergiebilanz.

Im Einzelnen waren hierfür folgende Arbeiten geplant:

- Erarbeitung von Filterkriterien für die Auswahl der klimaneutralen Energieversorgung auf unterschiedliche Quartierstypen, so z. B.: Quartiersgröße, eingebundene Gebäudetypen, eingebundene Akteure, vorhandene Energiequellen, rechtliche Rahmenbedingungen, etc.

- Entwicklung einer attraktiven, einfach zu erfassenden und möglichst intuitiv zu bedienenden Nutzeroberfläche

- Übernahme der im Leitfaden erarbeiteten Lösungsansätze und Informationen ins Tool

- Programmierung des Tools in objektorientierter Vorgehensweise und mit Anwendung von agilen Entwicklungsmethoden

- Test des Tools durch die städtischen Projektpartner und daraus folgend Verbesserungen des Tools

Gegen Ende der Projektlaufzeit wurden aufgrund der zeitlich verzögerten Umsetzung des Demonstrationsquartiers ursprünglich geplante Arbeiten des Fraunhofer IBP in diesem Bereich durch Erweiterungen des Tools „Klimaneutral Easy“ ersetzt. Folgende Aufgaben wurden so zusätzlich bearbeitet:

- Verknüpfung mit kommunaler Wärmeplanung durch die Einbindung eines länderspezifischen Technikkatalogs zur kommunalen Wärmeplanung inklusive der Umsetzung in der Benutzeroberfläche

- Ergänzungen der bisher genutzten typischen Gebäude in den Siedlungstypen durch Wohnfolgeanlagen

- Untersuchungen zu möglichen Kombinationen von Versorgungslösungen

- Entwicklung von Berechnungsmodellen von zusätzlichen Energie- und Speicherlösungen

2.13.2 Vorgehen

Das webbasierte Softwaretool „Klimaneutral Easy“ ist eine Weiterentwicklung der im „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ (siehe Kapitel 2.5) entwickelten Ansätze für die standardisierte Auswahl von klimaneutralen Versorgungskonzepten für Wohnquartiere. Das Softwaretool enthält zusätzliche Funktionalitäten, die zu einer höheren Nutzerfreundlichkeit beitragen und durch weitere Anpassungsmöglichkeiten auch eine größere Genauigkeit bei der Modellierung ermöglichen.

Entwicklung von „Klimaneutral Easy“

Für die Entwicklung der webbasierten Oberfläche wurde ein Umsetzungsprozess abgestimmt und ein vereinfachtes Lastenheft für die Softwareentwicklung erstellt, das logische Zusammenhänge darstellt, Design und Funktionalität der Benutzeroberfläche beschreibt und den Workflow für die Nutzenden definiert. Bild 69 zeigt die durchlaufenen Entwicklungsstufen des Umsetzungsprozesses von „Klimaneutral Easy“ mit ihren wichtigsten Merkmalen.

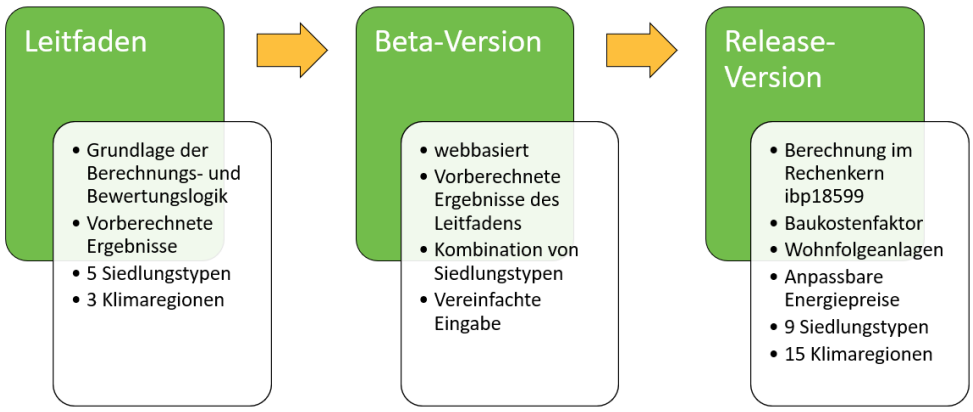


Bild 69:
Entwicklungsstufen des Tools „Klimaneutral Easy“.

Um zu veranschaulichen, wie die endgültige Anwendung aussehen und funktionieren soll, wurde in einem ersten Schritt ein „Klickdummy“ entwickelt. Damit konnte das Design, die Navigationsstruktur und die Benutzerführung demonstriert werden, bevor die Beta-Version entwickelt wurde.

Im nächsten Schritt wurde eine Beta-Version auf Basis der bereits im Rahmen der Ergebnisse des „Leitfadens für klimaneutrale

Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ durchgeführten Berechnungen entwickelt. Mit diesen vorberechneten Varianten standen zunächst nur drei Klimaregionen zur Verfügung und fünf ausgewählte Siedlungstypen konnten abgebildet werden. Um die Auswahl der Versorgungskonzepte an die Gegebenheiten vor Ort anpassbar zu machen, wurden entsprechend dem Leitfaden eine Abfrage von limitierenden Faktoren im Softwaretool implementiert. Die Beta-Version wurde den Projektpartnern zur weiteren Abstimmung zur Verfügung gestellt. Auf Basis der eingegangenen Rückmeldungen wurden Verbesserungen für die Release-Version vorgenommen.

Die Release-Version ist nicht mehr auf vorberechnete Ergebnisse eingeschränkt, sondern ist an das Fraunhofer IBP-eigene Bewertungstool für Quartiere „District Energy Concept Adviser“ („District ECA“) angebunden [Fraunhofer IBP 2018]. Dazu wurde das Berechnungstool des „District ECA“ aktualisiert und an die Anforderungen von „Klimaneutral Easy“ angepasst. Damit ist eine normkonforme energetische Bewertung auf Basis des Rechenkerns „ibp18599“ zur DIN V 18599: 2018-09 [Beuth 2018-1] möglich.

Für die Anbindung an den „District ECA“ wurden für die einzelnen Operatoren in „Klimaneutral Easy“ Datenmodelle erstellt, die Input und Output, die verwendeten Parameter sowie die Rechenoperatoren beschreiben. In Bild 70 wird exemplarisch das Datenmodell für den Operator Photovoltaik beschrieben.

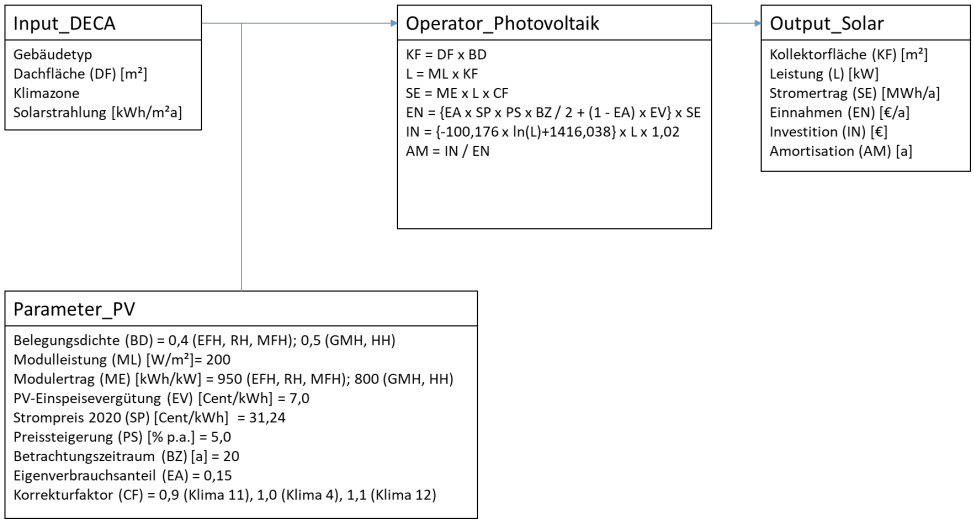


Bild 70:
Datenmodell für den Operator Photovoltaik (Beta-Version).

Weiterentwicklungen in der Release-Version gegenüber der Beta-Version sind die Möglichkeit der Anpassung des Lüftungskonzeptes sowie die Änderung von Randbedingungen wie z. B. Energiepreise und Treibhausgasemissionsfaktoren. Darüber hinaus ist eine Filterung nach weichen Faktoren und eine Gewichtung der verschiedenen Kostenarten möglich. Neben Wohngebäuden werden im Siedlungsmodell auch sogenannte Wohnfolgeanlagen

abgebildet. Wohnfolgeanlagen sind soziale und wirtschaftliche Infrastruktureinrichtungen innerhalb eines Wohnquartiers, die dazu dienen, die Bedürfnisse der Bewohner zu befriedigen.

Ein Handbuch mit detaillierten Informationen zur Methodik, zu den Berechnungsgrundlagen sowie zu den getroffenen Annahmen und Vereinfachungen des Softwaretools steht den Anwendern zum Download zur Verfügung.

Anbindung an die kommunale Wärmeplanung

Um die Anwendungsmöglichkeiten von „Klimaneutral Easy“ zu erweitern und eine stärkere Verknüpfung mit der kommunalen Wärmeplanung zu ermöglichen, wurden die Rahmenbedingungen aus dem für die kommunale Wärmeplanung konzipierten Technikkatalog der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) in Form einer auswählbaren Voreinstellung in das Softwaretool integriert [KEA-BW 2024]. Dazu wurde der Technikkatalog zusammengefasst und Übereinstimmungen bei den eingesetzten Energieträgern sowie Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien identifiziert. Anschließend wurden die im Technikkatalog angegebenen Entwicklungspfade von Energiepreisen und Emissionsfaktoren sowie die energetischen und technischen Daten von Energieerzeugungstechnologien für „Klimaneutral Easy“ aufbereitet und im Softwaretool als zusätzliche Auswahlmöglichkeit implementiert.

Kombinierbarkeit von Versorgungskonzepten

Für Weiterentwicklungen des Tools „Klimaneutral Easy“ wurden sinnvolle Kombinationen von Energieversorgungslösungen im Quartier zusammengestellt. Grundsätzlich sind natürlich viele Kombinationen möglich und die meisten davon kommen in der Realität auch vor, z. T. weil sie über die Jahre durch Sanierungen bzw. Austausch von Energieversorgungen so „gewachsen“ sind. Hier geht es aber vielmehr darum, dass in einem Quartier ein neues Energiekonzept für alle oder die meisten beinhalteten Gebäude entwickelt werden soll, dass aber mehr als nur eine der bisher einbezogenen Versorgungsarten beinhaltet.

Dabei wurden folgende grundsätzliche Randbedingungen bzw. Überlegungen berücksichtigt:

- Es soll ein Hauptversorgungskonzept mit dazu passendem ergänzenden Versorgungskonzept wegen möglicherweise eingeschränktem Potenzial bzw. für eine Spitzenlast gefunden werden

- Dezentrale Hauptversorgungskonzepte sollten nicht mit einem zentralen Konzept ergänzt werden, da die Netzverlegung eher unwirtschaftlich wird

- Dezentrale gasversorgte Konzepte sind nur Ergänzungslösungen, wenn die Hauptversorgung auch ein auf einer Gasversorgung basiert. Wenn nicht, besteht die Gefahr, dass entweder kein Gasnetz mehr verlegt wird oder ein bestehendes kleines Gasnetz in der Zukunft nicht weiterbetrieben wird.

- Dezentrale Wärmepumpenlösungen als Hauptversorgungskonzept sind gut mit anderen dezentralen Wärmepumpenversorgungen oder dezentralen Biomasseversorgungslösungen kombinierbar

- Fernwärmelösungen benötigen kein ergänzendes Versorgungskonzept

- Zentrale Hauptversorgungslösungen (Nahwärmekonzepte) sind durch Einkopplung weiterer Energieerzeuger (Wärmepumpen, Solarthermie, Gas-BHKWs, Gaskessel, Holzhackschnitzel-BHKW oder Holzhackschnitzelkessel) gut kombinierbar und können so eine begrenztes Erzeugerpotenzial ausgleichen, siehe dazu auch die Lösung aus dem Demonstrationsquartier Überlingen.

- Zentrale Nahwärmeversorgung auf normalem Temperaturniveau sollte nicht mit kalter Nahwärme und auch anders herum kombiniert werden, da hier eine doppelte Netzverlegung benötigt würde.

- Im Falle einer Einbindung von Einzelgebäuden mit geringer Heizlast, z. B. am Rand eines Quartiers ist eine dezentrale Abluftwärmepumpe eine gute und einfache Lösung, da sie relativ günstig für die Klimaneutralität ist und nahezu immer einsetzbar.

Im Unterkapitel „Ergebnisse“ wird die sich daraus ergebende Matrix zur Kombinierbarkeit der Versorgungslösungen präsentiert.

Zusätzliche Energieerzeuger- und Speicherkonzepte

Um zukünftig eine größere Auswahl an Versorgungskonzepten im Rahmen einer potenziellen Weiterentwicklung des Softwaretools zu ermöglichen, wurden zusätzliche Technologien identifiziert und die dazugehörigen Berechnungsmodelle entwickelt, die für eine spätere Implementierung ins Softwaretool erforderlich sind.

Hierfür wurden Berechnungsmodelle für drei weitere Formen der Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen inklusive Batteriespeicher erarbeitet sowie je zwei dezentrale und zentrale Wärmeversorgungskonzepte ergänzt,

bei denen Wärmepumpen als zentrales Element dienen. Dabei wurden unterschiedliche Wärmequellen für die Wärmepumpen berücksichtigt.

Für die Berechnungsmodelle der zusätzlichen Technologien wurden zunächst die vorhandenen Berechnungsgleichungen der DIN V 18599 herangezogen. Da die Norm für diese Technologien teilweise keine Ansätze enthält, mussten diese entwickelt, oder bestehende Berechnungsansätze aus der Literatur verwendet werden. Um die Grundlage für eine potenzielle Umsetzung in „Klimaneutral Easy“ zu schaffen, wurden die Berechnungsmodelle so aufbereitet, dass sie auf vorhandene Berechnungsergebnisse aus dem Rechenkern des „District ECA“ als Eingangsgrößen zurückgreifen können. Wenn diese nicht ausreichend waren, wurden die Angaben durch Literaturwerte ergänzt.

2.13.3 Ergebnisse

Programmaufbau

Die Bedienung des Softwaretools „Klimaneutral Easy“ erfolgt über eine bewusst einfach gehaltene Benutzeroberfläche. Auf der linken Seite der Benutzeroberfläche befindet sich eine feste Navigationsleiste, während auf der rechten Seite der Inhalt des jeweils ausgewählten Menüpunkts wiedergegeben wird. Im Kopfbereich werden die Nutzenden mit Hilfe eines erläuternden Textes in das Thema des jeweiligen Menüpunkts eingeführt. Bei der Gestaltung der Oberfläche wird besonderer Wert auf Benutzerfreundlichkeit und ein modernes, eingängiges Design gelegt. So erfolgt die Dateneingabe über Kacheln, die Nutzerinformationen sind kurz und prägnant gehalten und werden mit Grafiken und Informationsbuttons unterfüttert. Die Nutzenden können über die Navigationsleiste zwischen Dateneingabe, Ergebnisdarstellung und Bericht wechseln. Über den Menüpunkt „Export“ können getätigte Eingaben lokal gespeichert werden und zu einem späteren Zeitpunkt über den Menüpunkt „Import“ weiterbearbeitet werden. Das Layout der grafischen Benutzeroberfläche orientiert sich farblich am Logo des Forschungsprojekts STADTQUARTIER 2050, das sich aus grünen und gelben Farbtönen zusammensetzt. Bild 71 zeigt die Navigationsleiste und die Farbgestaltung in einem Ausschnitt des Startbildschirms von „Klimaneutral Easy“.

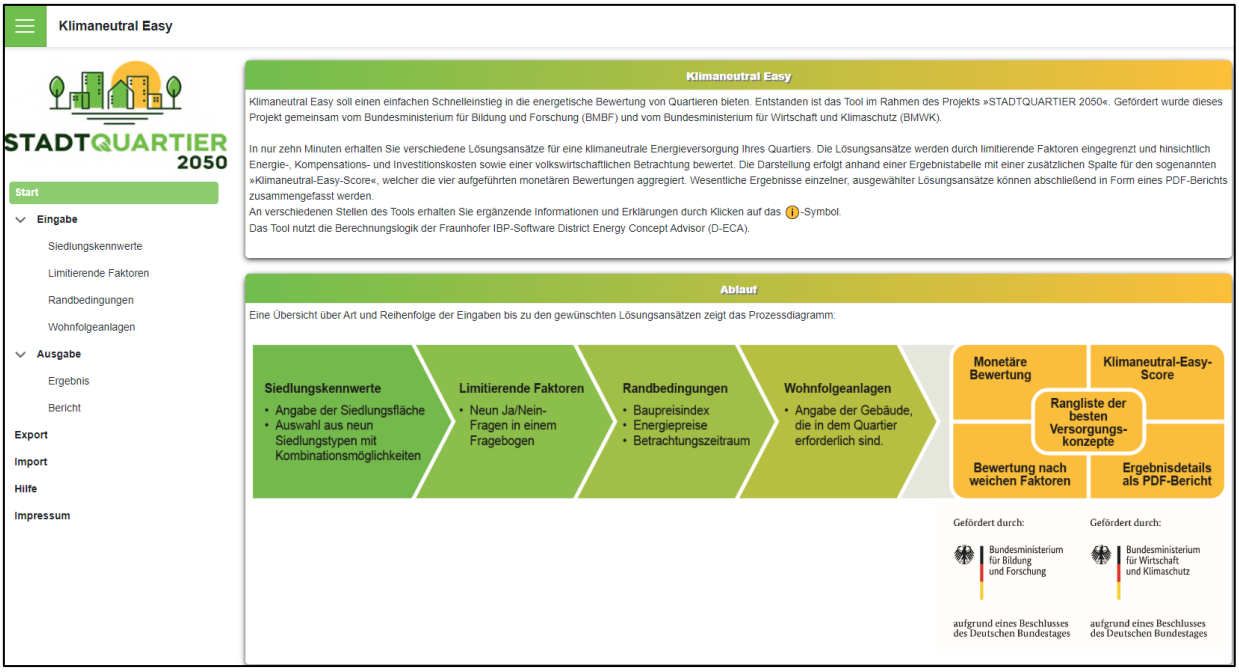


Bild 71:
Startbildschirm von „Klimaneutral Easy“.

Dateneingabe

Die einfache und intuitive Eingabe von Informationen bzw. die Auswahl von Randbedingungen sind entscheidend für den erfolgreichen Einsatz von „Klimaneutral Easy“. Für den Schnelleinstieg wird dem Nutzenden eine Auswahl von neun Siedlungstypen mit überwiegender Wohnnutzung zur Verfügung gestellt. Zur Unterstützung bei der Auswahl des Siedlungstyps sind im Softwaretool Siedlungssteckbriefe mit Luftbildaufnahmen von typischen Siedlungsstrukturen eingebunden. Eine Kombination von unterschiedlichen Siedlungstypen ist im Softwaretool möglich, sodass heterogene Quartiere abbildbar sind.

Die Standortzuordnung erfolgt über die Postleitzahl. Nach Eingabe einer Postleitzahl werden in einem nebenstehenden Feld der zugehörige Ort, der Landkreis, die Klimaregion und der Regionalfaktor ausgegeben (siehe Bild 72). Diese Funktion der ortsgenauen Zuordnung basiert auf Rückmeldungen der Projektpartner aus Stuttgart und Überlingen aus dem Beta-Test. Durch die Eingabe der Postleitzahl kann das modellierte Quartier einer der 15 Klimaregionen zugeordnet werden, die im Anhang E des Teils 10 der DIN V 18599 aufgeführt sind. Darüber hinaus können durch die Standortzuordnung auch regionale Baupreisunterschiede berücksichtigt werden. Hierzu werden die Investitionskosten mit dem Mittelwert der vom Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI) jährlich veröffentlichten Baupreisfaktoren für die verschiedenen Land- und Stadtkreise für die

Jahre 2011 - 2022 multipliziert [BKI 2022]. Die Zuordnung der Postleitzahlen zu den Land- und Stadtkreisen erfolgt über Tabellen, die die Postleitzahlen mit Einwohnerzahlen, Kreisnamen und Flächen verknüpfen.

Bei der Eingabe der Siedlungskennwerte kann der Anwendende zwischen Neubau- und Bestandssiedlung wählen. Sofern eine Bestandssiedlung ausgewählt wird, kann zusätzlich durch einen Schieberegler angeben werden, ob im betrachteten Siedlungsgebiet ein signifikanter Teil an denkmalgeschützten Gebäuden vorhanden ist. Bild 72 zeigt einen Ausschnitt der Eingabemaske der Siedungskennwerte mit dem beschriebenen Schieberegler. Sofern diese Einstellung vorgenommen wird, werden Konzeptlösungen, die mit dem Denkmalschutz nicht vereinbar sind, über eine Filterfunktion aus der Betrachtung ausgenommen.

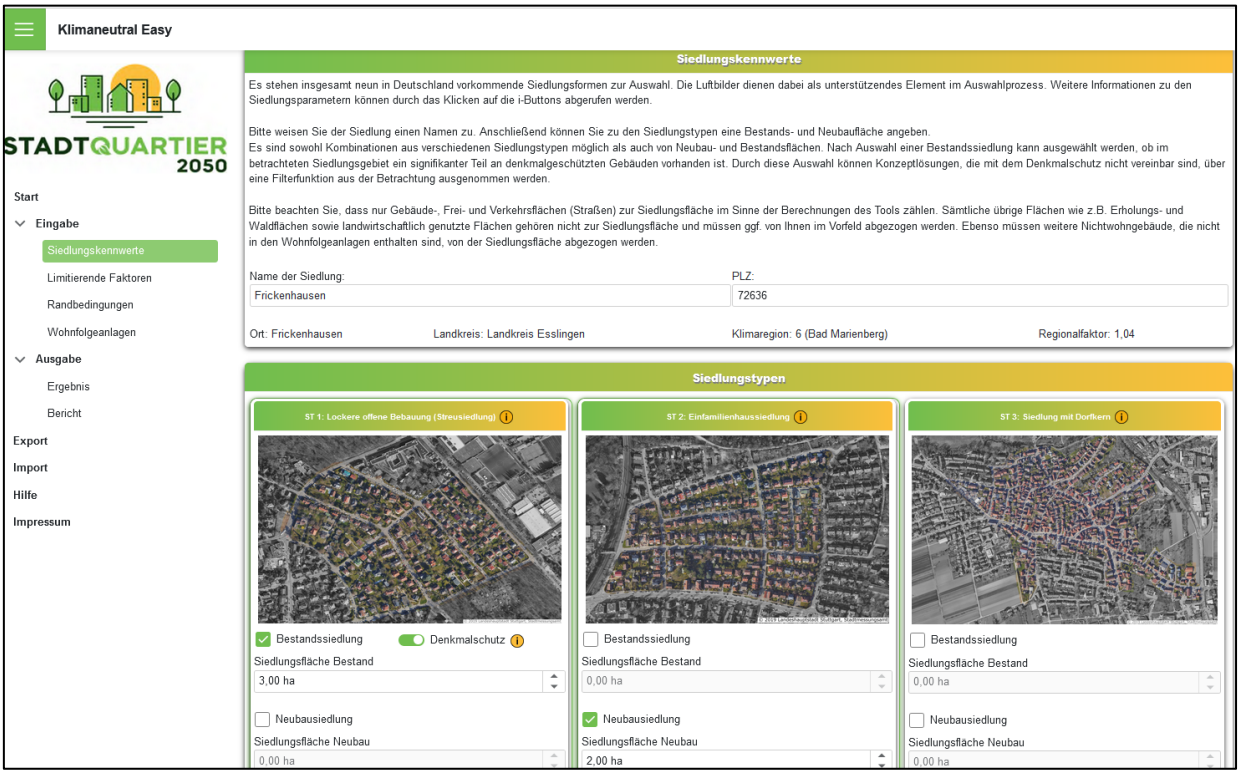


Bild 72:
Darstellung der Siedlungstypen inkl. Schieberegler Denkmalschutz in der Release-Version des Softwaretools „Klimaneutral Easy“.

Bestimmte Versorgungskonzepte können für einen Standort nicht geeignet sein, z. B. weil Abwasserwärme nicht nutzbar ist oder Freiflächen nicht verfügbar sind. Um die Auswahl möglicher Versorgungskonzepte für einzelne Quartiere einzuschränken, sind im Tool Filterkriterien implementiert, die den Ausschluss bestimmter Versorgungskonzepte ermöglichen. Die Abfrage erfolgt über eine Checkliste, die auf einem Fragebogen basiert, der im „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ entwickelt wurde. Nach Bestätigung der getroffenen Auswahl wird das Spektrum

möglicher Versorgungskonzepte nach einer vorgegebenen Logik eingegrenzt.

Zusätzlich können die Nutzenden verschiedene Randbedingungen für die Bewertung einstellen, wie in Bild 73 anhand eines Ausschnitts der Eingabemaske des Menüpunktes „Randbedingungen“ gezeigt wird. So kann für die Inflationsanpassung der Investitionen der aktuelle Baupreisindex angegeben werden. Die Energiepreise können von den Nutzenden für jeden Energieträger über drei Parameter angepasst werden: den Ausgangspreis, den Betrachtungszeitraum und die jährliche, konstante Preisänderungsrate. Standardmäßig sind die Energiepreise des Jahres 2020 als Ausgangspreis, eine jährliche Preissteigerung von fünf Prozent und ein Betrachtungszeitraum von zwanzig Jahren hinterlegt. Zur Ermittlung der durchschnittlichen jährlichen Energiekosten innerhalb eines Betrachtungszeitraums wird der mittlere Energiepreis in diesem Zeitraum angesetzt.

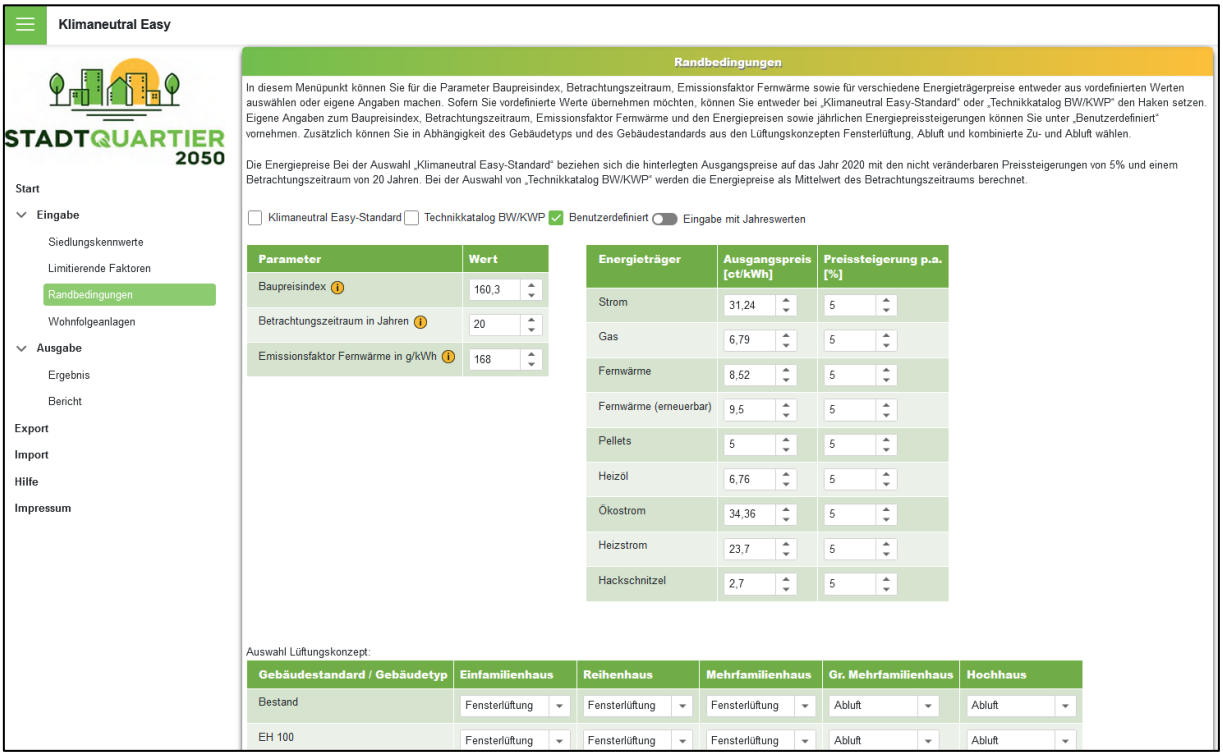


Bild 73:
Ausschnitt von der Eingabemaske „Randbedingungen“ des Softwaretools „Klimaneutral Easy“.

Im Softwaretool stehen die voreingestellten Rahmenbedingungen „Klimaneutral Easy-Standard“ und „Technikkatalog BW/KWP“ zur Auswahl. Der „Klimaneutral Easy-Standard“ entspricht weitestgehend den Annahmen des „Leitfadens für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ und der „Technikkatalog BW/KWP“ basiert auf dem Technikkatalog BW [KEA-BW 2024] in der Version 1.1, der den Anforderungen der kommunalen Wärmeplanung entspricht. Es besteht die Möglichkeit, einzelne

Parameter individuell anzupassen, wodurch die Rahmenbedingungen als „benutzerdefiniert“ gekennzeichnet werden.

Durch die Eingabe von Siedlungsfläche und Siedlungstyp wird die Anzahl und Art möglicher Wohnfolgeanlagen anhand von städteplanerischen Orientierungswerten [Schröter 2021] abgeschätzt, welche durch die Nutzenden angepasst werden können. Das Handbuch zu „Klimaneutral Easy“ enthält eine Tabelle, die die im Tool hinterlegte Beziehung zwischen der Einwohnerzahl des modellierten Quartiers und der Anzahl der Wohnfolgeanlagen aufzeigt. Zu den Wohnfolgeanlagen zählen unter anderem Gebäude des Bildungs- und Gesundheitswesens, Sozial- und Kultureinrichtungen, Verwaltungsgebäude, Behördengebäude und Gebäude des Einzelhandels. Alle Wohnfolgeanlagen werden im Tool durch ein Icon dargestellt, wie in Bild 74 zu erkennen ist. Eine Anpassung der Anzahl der Wohnfolgeanlagen durch den Nutzer kann mithilfe des Mengenreglers durchgeführt werden. Der Mengenregler ist auf den Maximalwert von 99 begrenzt.

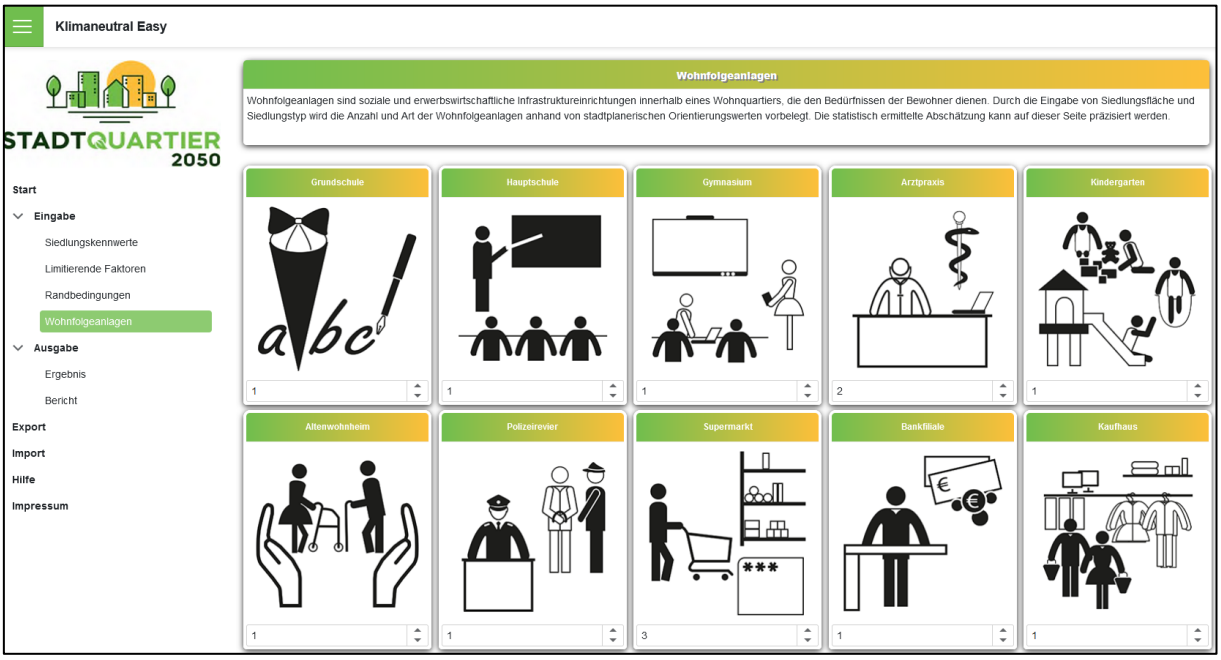


Bild 74:
Ausschnitt von der Eingabemaske „Wohnfolgeanlagen“ des Softwaretools „Klimaneutral Easy“.

Berechnung

Nach Abschluss der Dateneingabe werden die möglichen klimaneutralen Lösungsansätze für das eingegebene Quartier im Rechenkern „ibp18599“ des „District ECA“ berechnet und im Ergebnisteil ausgegeben. Bild 75 zeigt die verwendete Softwarearchitektur.

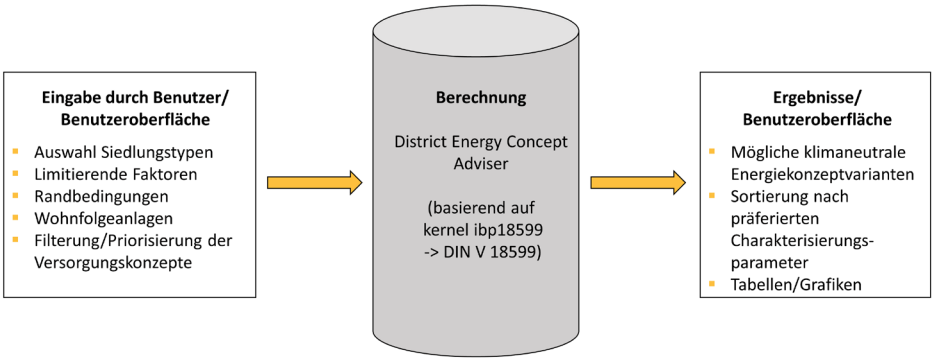


Bild 75:
Grobschema der Softwarearchitektur für das Tool „Klimaneutral Easy“.

Entsprechend dem „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ werden für die energetische Quartiersplanung mehr als 30 verschiedene Versorgungskonzepte in Betracht gezogen. Diese umfassen dezentrale, gebäudeweise Lösungen, Lösungen mit Gebäude- und Quartiersnetzen sowie mit quartiersübergreifenden Fernwärmenetzen. Als potenzielle Wärmeerzeuger werden unter anderem Wärmepumpen, Brennwertkessel, Blockheizkraftwerke (BHKW) und Brennstoffzellen betrachtet. Die verwendeten Energieträger umfassen Solarenergie, Strom, Biomasse, Erdgas und synthetisches Gas, sowie konventionelle und nahezu klimaneutrale Fernwärme. Für die zentralen Versorgungskonzepte werden sowohl kalte Nahwärmenetze als auch konventionelle Wärmenetze in Betracht gezogen.

Zudem werden vier unterschiedliche Energiestandards für den Zielzustand der thermischen Gebäudehülle betrachtet. In Anlehnung an den KfW-Effizienzhausstandard (EH) werden die Effizienzniveaus EH 40 und EH 55 betrachtet [KfW 2022]. Das Effizienzniveau EH 100 wird als Referenz für den sanierten Bestand angenommen, während für den unsanierten Bestand ein mittleres Wärmeschutzniveau entsprechend der Baualtersklasse 1969 bis 1978 angesetzt wird. Die Energieversorgungsvarianten setzen sich als Kombination aus den verschiedenen betrachteten Versorgungskonzepten und Energiestandards der thermischen Gebäudehülle im Zielzustand zusammen. Darüber hinaus können unterschiedliche Lüftungskonzepte wie Zuluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, Abluftanlagen und Fensterlüftung in den Varianten berücksichtigt werden. Die Lüftungskonzepte sind anpassbar, werden als Voreinstellung jedoch in Abhängigkeit des Energiestandards den verschiedenen Gebäudetypen zugeordnet. Die Vielfalt an Varianten ermöglicht eine umfassende Bewertung und Analyse verschiedener Möglichkeiten zur Energieversorgung im Quartier.

Die Grundlagen des Berechnungsmodells sind dem Leitfaden entnommen. So erfolgt die energetische Bewertung der Gebäude gemäß DIN V 18599:2018-09 nach dem Monatsbilanzverfahren unter Verwendung

von Standardnutzungsprofilen für Wohngebäude. Die Heizlast wird nach Teil 2 der Norm und die thermische Leistung der Trinkwassererwärmung nach Teil 8 der Norm ermittelt. Unter Berücksichtigung der Klimaregion wird die Heizlast mit einem Korrekturfaktor anhand der Normaußentemperaturen der DIN SPEC 12831 berechnet. Die Wärmenetzlösungen der zentralen Versorgungskonzepte werden als Zweileitersystem mit drei Strängen unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors für die energetische Berechnung modelliert.

Im Berechnungsmodell wird die für Photovoltaik (PV) nutzbare Dachfläche der Gebäude auf Basis von Kennwerten aus durchgeführten Studien für das Potenzial von Erneuerbaren Energien in Deutschland abgeschätzt. Monetär werden die verschiedenen Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung hinsichtlich ihrer Investitionskosten, Energiekosten und Kompensationskosten sowie einer volkswirtschaftlichen Betrachtung bewertet.

Das Ziel der Klimaneutralität wird im Tool definiert als das Erreichen einer ausgeglichenen Jahresbilanz der Treibhausgasemissionen, die durch den Betrieb von Gebäuden (Heizung und Stromversorgung einschließlich Nutzerstrom) freigesetzt werden. Für den eingespeisten PV-Strom wird eine Gutschrift gewährt, indem diese Strommenge mit dem Emissionsfaktor für Strom multipliziert und von der Gesamtmenge der Treibhausgasemissionen abgezogen wird. Reicht die PV-Gutschrift nicht aus, wird mit Kompensationskosten ein Ausgleich erreicht. Dafür werden die verbleibenden Treibhausgasemissionen entsprechend ihrem Treibhausgaspotenzial in eine äquivalente Menge CO_2-Emissionen umgerechnet und mit den vom Umweltbundesamt empfohlenen Klimakosten mit einer Zeitpräferenzrate von 1 %, d. h. mit einer höheren Gewichtung der Wohlfahrt der heutigen Generation gegenüber der Wohlfahrt zukünftiger Generationen, multipliziert [Bünger 2022].

Ergebnisausgabe

Der Anwender erhält eine Zusammenstellung der Bewertungsparameter sowie Informationen zu Technologien (z. B. PV-Flächen, Endenergiebedarfe, Länge des Wärmenetzes), Investitionskosten, Energiekosten und Kompensationskosten. In Abhängigkeit vom Anwenderfokus können die Ergebnisse gewichtet und priorisiert werden. Durch die individuelle Gewichtung des Einflusses der einzelnen Kostenkategorien auf den „Klimaneutral Easy-Score“ kann zwischen verschiedenen Perspektiven wie der Investorensicht, Bewohnersicht, dem Anteil externer Kompensation und der volkwirtschaftlichen Sicht gewählt werden.

Bild 76 zeigt, wie die vorgeschlagenen Lösungen für eine klimaneutrale Energieversorgung tabellarisch dargestellt werden. Für jede Versorgungsvariante, die aus einem Versorgungskonzept und einem angestrebten energetischen Gebäudeniveau besteht, erhalten die Nutzenden folgende monetären

Informationen: die erforderliche Investitionssumme, die eingesparten Energiekosten, die Kosten für die Kompensation der verbleibenden Treibhausgasemissionen sowie eine volkswirtschaftliche Bewertung. Die monetären Bewertungen werden im sogenannten „Klimaneutral Easy-Score“ aggregiert.

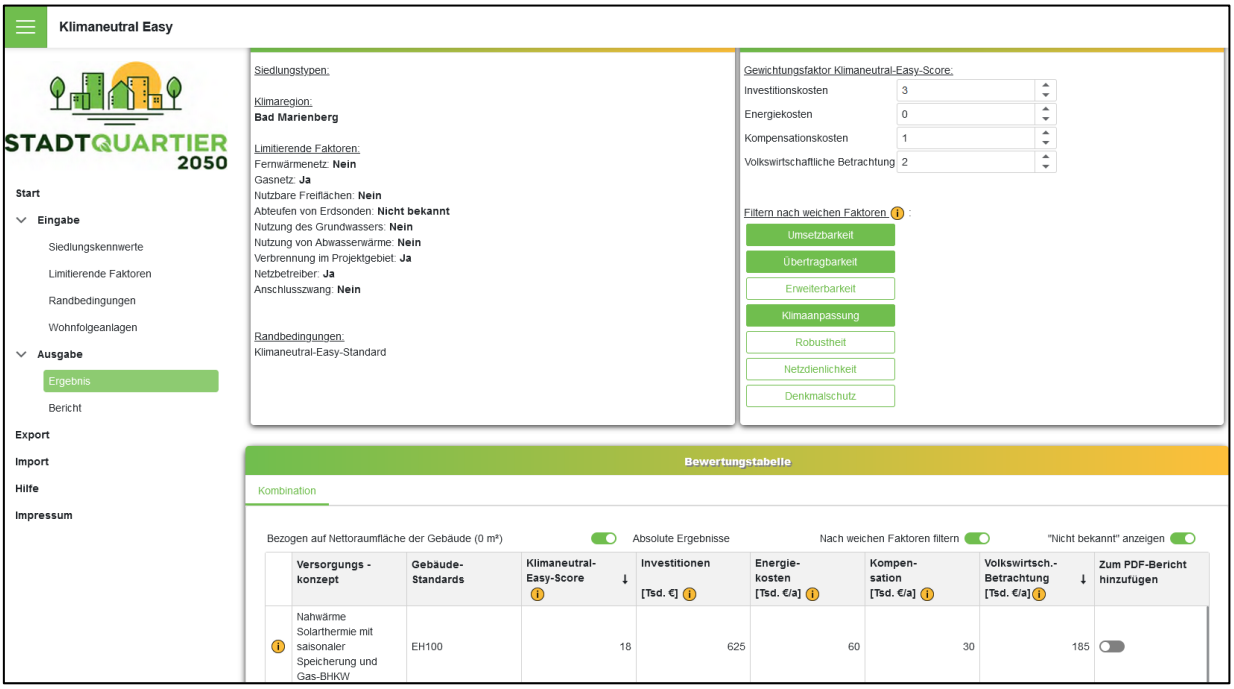


Bild 76:
Ausschnitt von der Ergebnisseite des Softwaretools „Klimaneutral Easy“.

Auf der Ergebnisseite des Softwaretools steht eine Filterfunktion basierend auf weichen Faktoren wie bspw. Zukunftsfähigkeit, Umsetzbarkeit oder Übertragbarkeit zur Verfügung. Sofern nach einem oder mehreren dieser weichen Faktoren gefiltert werden soll, können diese entsprechend ausgewählt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, die Auswahl wieder abzuwählen. Diese Auswahlmöglichkeit ist in Bild 76 in der rechten oberen Hälfte zu erkennen. Des Weiteren werden auf der Ergebnisseite die ausgewählten Einstellungen für Siedlungstypen mit Flächenangaben, die Klimaregionen, die limitierenden Faktoren und die Randbedingungen dargestellt. Dies ist in Bild 76 auf der oberen linken Seite zu erkennen.

Zusätzlich wird eine Möglichkeit zur Gewichtung der Eingangsgrößen für die Berechnung des „Klimaneutral Easy-Scores“ angeboten. Mithilfe dieser Gewichtung können die Investitions-, Kompensations-, und Energiekosten sowie die volkswirtschaftliche Betrachtung einen stärkeren oder geringeren Einfluss auf den „Klimaneutral Easy-Scores“ erhalten. Mit welchem Gewicht die einzelnen Kostenkategorien in die Berechnung einfließen, kann durch das Anpassen der Faktoren mit Werten zwischen 0 und 3 beeinflusst werden. Bei Gleichgewichtung erhalten alle Parameter denselben Gewichtungsfaktor. Die Auswahl des Faktors 0 bedeutet, dass der Parameter bei der

Berechnung des „Klimaneutral Easy-Scores“ nicht berücksichtigt wird. Die Gewichtungsmöglichkeit ist in Bild 76 in der rechten oberen Hälfte zu erkennen.

Um das Verständnis der vorgeschlagenen klimaneutralen Versorgungskonzepte für die Nutzenden von „Klimaneutral Easy“ zu erleichtern, werden in der Ergebnistabelle über einen Informationsbutton Details zum Versorgungskonzept bereitgestellt. Die Details beinhalten neben einer textlichen Erläuterung auch ein vereinfachtes Anlagenschema. Bild 77 zeigt beispielhaft ein zentrales Versorgungskonzept mit Solarthermiekollektoren, einem saisonalem Speicher, einem gasbetriebenem Blockheizkraftwerk (BHKW) und einem Spitzenlastkessel.

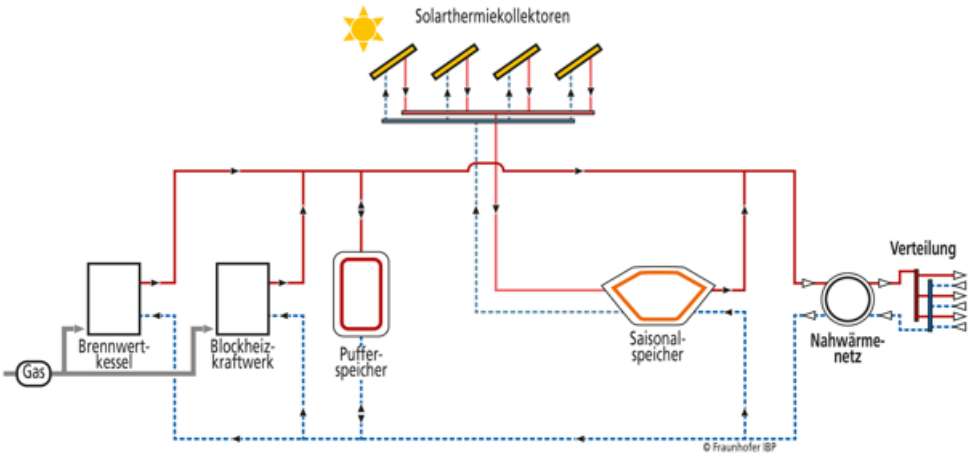
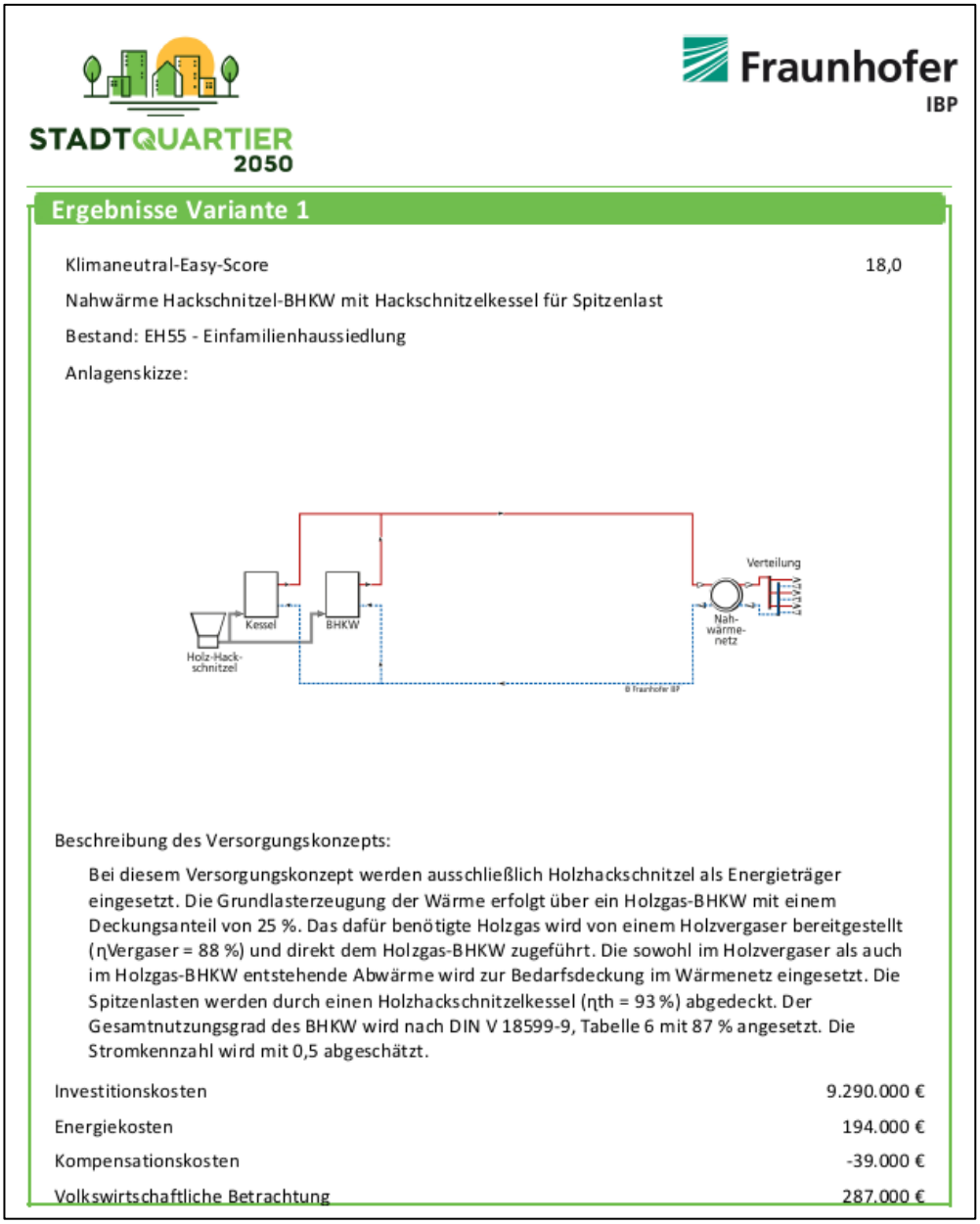


Bild 77:
Vereinfachtes Anlagenschema eines zentralen Versorgungskonzepts mit Solarthermie, saisonaler Speicherung, Gas-BHKW und Gas-Brennwertkessel.

Ergebnisbericht

In der Ergebnisausgabe können die Nutzenden einzelne Versorgungskonzepte auswählen, um einen konzeptspezifischen Bericht generieren zu lassen. Bild 78 zeigt beispielhaft einen Auszug aus dem Ergebnisbericht für ein Nahwärmenetz mit Hackschnitzel-BHKW und Hackschnitzelkessel eines fiktiven Quartiers. Der Bericht enthält allgemeine Informationen und eine schematische Darstellung des Versorgungskonzeptes sowie eine Bewertung anhand weicher Faktoren, wie z. B. die Zukunftsfähigkeit des Konzeptes. Darüber hinaus enthält der Bericht die Gleichungen zur Kostenbewertung sowie ausgewählte Teilergebnisse der Modellrechnungen, sodass die ermittelten Ergebnisse nachvollzogen werden können.



STADTQUARTIER 2050

Fraunhofer IBP

Ergebnisse Variante 1

Klimaneutral-Easy-Score 18,0

Nahwärme Hackschnitzel-BHKW mit Hackschnitzelkessel für Spitzenlast

Bestand: EH55 - Einfamilienhaussiedlung

Anlagenskizze:

Beschreibung des Versorgungskonzepts:

Bei diesem Versorgungskonzept werden ausschließlich Holzhackschnitzel als Energieträger eingesetzt. Die Grundlasterzeugung der Wärme erfolgt über ein Holzgas-BHKW mit einem Deckungsanteil von 25 %. Das dafür benötigte Holzgas wird von einem Holzvergaser bereitgestellt (ηVergaser = 88 %) und direkt dem Holzgas-BHKW zugeführt. Die sowohl im Holzvergaser als auch im Holzgas-BHKW entstehende Abwärme wird zur Bedarfsdeckung im Wärmenetz eingesetzt. Die Spitzenlasten werden durch einen Holzhackschnitzelkessel (ηth = 93 %) abgedeckt. Der Gesamtnutzungsgrad des BHKW wird nach DIN V 18599-9, Tabelle 6 mit 87 % angesetzt. Die Stromkennzahl wird mit 0,5 abgeschätzt.

Investitionskosten	9.290.000 €
Energiekosten	194.000 €
Kompensationskosten	-39.000 €
Volkswirtschaftliche Betrachtung	287.000 €

Bild 78:
Ausschnitt aus dem Ergebnisbericht des Softwaretools „Klimaneutral Easy“ (Beta-Version).

Handbuch

Für die Anwendung des Softwaretools und die Transparenz der Randbedingungen und Ergebnisse steht ein Handbuch zum Download zur Verfügung. Es enthält Informationen zur Methodik, zu den Berechnungsgrundlagen sowie zu den getroffenen Annahmen und Vereinfachungen. Nach einer kurzen Einleitung bietet das Handbuch eine detaillierte Beschreibung der in „Klimaneutral Easy“ durchgeführten Modellierung, der Methoden für die monetäre

und energetische Bewertung und zur Berechnung der prognostizierten Treibhausgasemissionen. Des Weiteren sind im Handbuch Informationen zur Bewertung anhand weicher Faktoren, zur Ergebnisausgabe sowie ein Anwendungsbeispiel und zusätzliche Details zur Testnutzung durch die Projektpartner enthalten. Das Handbuch steht unter dem Menüpunkt „Hilfe“ als Download zur Verfügung.

Berechnungsmodelle für weitere Versorgungskonzepte

Die nachfolgend beschriebenen Berechnungsmodelle für weitere Versorgungskonzepte sind aktuell nicht in der Software implementiert. Sie bilden die Vorarbeit für eine potenzielle spätere Weiterentwicklung des Tools. Da die Versorgungslösungen nicht im Handbuch beschrieben sind, werden sie im Folgenden näher erläutert.

Die aufgestellten Berechnungsgleichungen für die Investitionskosten beziehen sich auf Netto-Investitionskosten ohne Planungs- und Baukosten. Diese werden in Abhängigkeit des Bezugsjahres angegeben.

Sole-Wasser-Wärmepumpe mit horizontalen Erdkollektoren

Bei diesem Versorgungskonzept wird das Erdreich als Wärmequelle durch die Verlegung von horizontalen Erdkollektoren erschlossen. Die Erdkollektoren bestehen aus Kunststoffrohren, die in ca. 1 bis 1,5 m Tiefe verlegt werden.

Für die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs der Wärmepumpe wird die elektrische Leistung im Auslegungszustand mit den Jahresbetriebsstunden, in denen die Wärmepumpen auf Volllast läuft, multipliziert. Die Jahresbetriebsstunden (Volllaststunden) ergeben sich aus dem Quotient des Gesamtwärmebedarfs des zu versorgenden Gebäudes (Raumheizung und Warmwasser) und der thermischen Erzeugerleistung. Das aufgestellte Berechnungsmodell verwendet als Eingangsgröße den Gesamtwärmebedarf und die thermische Erzeugerleistung. Für die Umsetzung in „Klimaneutral Easy“ können die Größen aus der Gebäudebewertung nach DIN V 18599 des „District ECA“ übernommen werden.

Die Berechnung der elektrischen Wärmepumpenleistung ergibt sich aus dem Quotient der thermischen Erzeugerleistung und Leistungszahl der Wärmepumpe (Coefficient of Performance, COP). Der COP kann mit nachfolgender Gleichung [Baehr 2016] in Abhängigkeit der Wärmequelle Θ_n und der Wärmesenke Θ_h in den Einheiten [K] sowie des einheitslosen Verlustfaktors ζ_{WP} berechnet werden.

$$COP = \zeta_{WP} \cdot \frac{\Theta_h}{(\Theta_h - \Theta_n)}$$

Mithilfe des Verlustfaktors ζ_{WP} kann der ideale Wärmepumpenprozess auf die realen Bedingungen umgerechnet werden. Der Verlustfaktor wird mit 0,4 angesetzt (vgl. [Arpagaus 2018]).

Das aufgestellte Berechnungsmodell verwendet als Eingangsgrößen die Temperaturangaben für die Wärmesenke, die Wärmequelle sowie die Nennleistung der Sole-Wasser-Wärmepumpe. Für die Nennleistung der Sole-Wasser-Wärmepumpe wird eine Vorrangschaltung basierend auf dem Maximalwert der Gebäudeheizlast und der Warmwasserspitzenleistung angenommen. Die Temperatur der Wärmequelle wird nach DIN V 18599 mit dem Verfahren zur Bestimmung der mittleren Quellentemperatur für Sole-Wasser-Wärmepumpen bestimmt (siehe DIN V 18599-5). Das Temperaturniveau der Wärmesenke wird in Abhängigkeit der Auslegung der Sole-Wasser-Wärmepumpe entweder mit der Warmwasserzapftemperatur (Auslegung nach Warmwasserspitzenleistung) oder der Heizvorlauftemperatur im Auslegungsfall (Auslegung nach Gebäudeheizlast) angesetzt. Für die Umsetzung in „Klimaneutral Easy“ werden die Größen aus der Gebäudebewertung nach DIN V 18599 des „District ECA“ übernommen.

Die Investitionskosten für die Erdkollektoren können aus der Kostenkurve für Erdsonden abgeleitet werden, wie sie im „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ dargestellt wird. Die Kosten für die Erdsonden werden auf Basis leistungsspezifischer Kostenkennwerte nach [BBSR 2017] gebildet. Dabei werden die Kostenverhältnisse zwischen Erdsonden und Erdkollektoren nach [Stuible 2016] verwendet. Für die Investitionskosten der Sole-Wasser-Wärmepumpe wird das bereits vorhandene Berechnungsmodell gewählt.

Beispielhaft ist für das beschriebene Versorgungskonzept im nachfolgenden Bild 79 ein vereinfachtes Anlagenschema dargestellt, wie es für alle weiteren Versorgungskonzepte entworfen wurde.

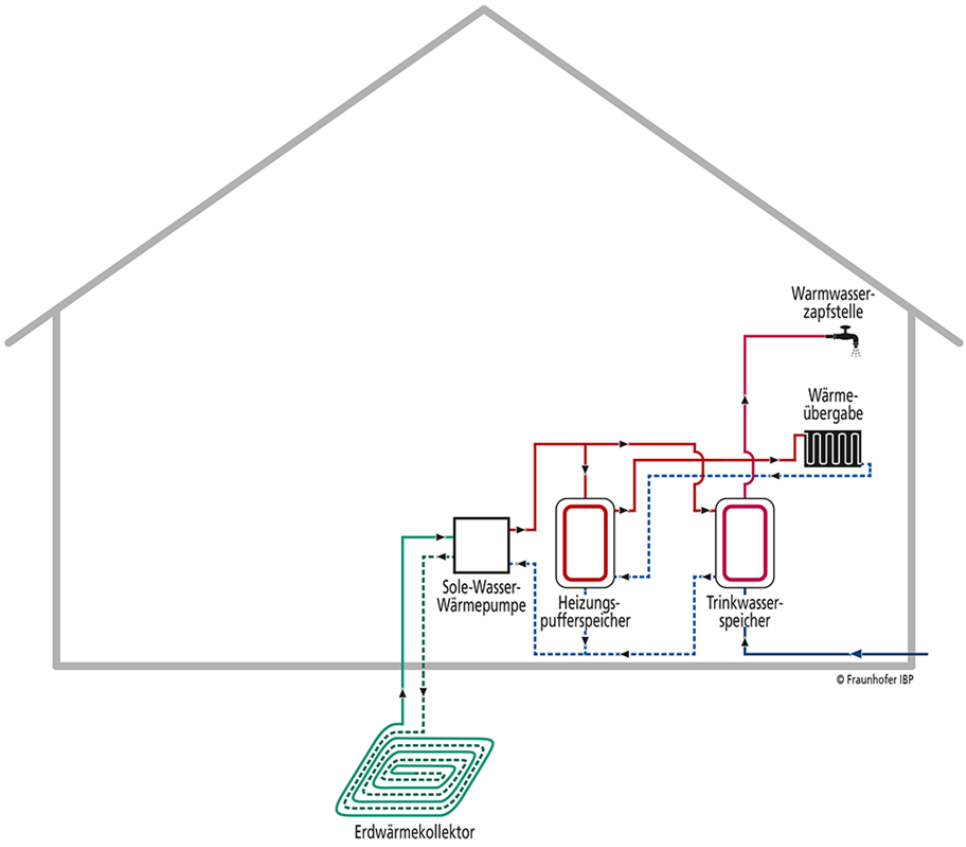


Bild 79:
Vereinfachtes Anlagenschema eines dezentralen Versorgungskonzepts mit Sole-Wasser-Wärmepumpe und horizontalen Erdkollektoren.

Luft-Luft-Wärmepumpe zur Gebäudebeheizung und Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung

Bei diesem Versorgungskonzept wird der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe gedeckt. Die Gebäudebeheizung erfolgt über eine Luftheizung in Verbindung mit einer Luft-Luft-Wärmepumpe und einer vorgelagerten Wärmerückgewinnung, die die kalte Außenluft vorerwärmt. Als Wärmerückgewinnungssystem wird ein Rotationswärmetauscher [Komfovent 2024-1] angesetzt. Der nach der Wärmerückgewinnung notwendige Temperaturhub, um auf die Raumtemperatur zu kommen, erfolgt durch eine Luft-Luft-Wärmepumpe.

Zur Auslegung der Luft-Wasser-Wärmepumpe für die Trinkwarmwasserbereitung wird die Nennleistung gemäß DIN V 18599-8 verwendet. Für die Luft-Luft-Wärmepumpe wird der Auslegungs-Außenluftvolumenstrom des Gebäudes zugrunde gelegt. Diese Größen werden für die Umsetzung in „Klimaneutral Easy“ aus der Gebäudebewertung nach DIN V 18599 des „District ECA“ entnommen. Die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs der Luft-Wasser-Wärmepumpe erfolgt analog zum ersten aufgestellten

Berechnungsmodell für Sole-Wasser-Wärmepumpe mit horizontalen Erdkollektoren. Für die Wärmequellentemperatur wird die Normaußentemperatur der Außenluft angesetzt. Als Wärmesenkentemperatur (Brauchwarmwassertemperatur) wird im Berechnungsmodell 60 °C hinterlegt.

Zur Bestimmung der thermischen Leistung der Luft-Luft-Wärmepumpe P_{th} in der Einheit [kW] kann gemäß nachfolgender Gleichung in Abhängigkeit des Auslegungs-Außenluftvolumenstroms $\dot{V}_{ODA}$ [m³/h], der Dichte der Luft ρ_L [kg/m³], der spezifischen Wärmekapazität der Luft $c_{p,L}$ [kJ/(kg*K)] und den Temperaturen nach der Wärmerückgewinnung Θ_{rec} [°C] und der Raumtemperaturen Θ_{IDA}, [°C] wie folgt berechnet werden:

$$P_{th} = \dot{V}_{ODA} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot (\Theta_{IDA} - \Theta_{rec})$$

Für die Dichte der Luft wird ein Wert von 1,2 kg/m³ und für die spezifische Wärmekapazität ein Wert von 1,005 kJ/(kg*K) angesetzt. Für die Raumtemperatur wird ein Wert von 20 °C im Berechnungsmodell hinterlegt. Die Bestimmung der Temperatur nach der Wärmerückgewinnung Θ_{rec} wird gemäß nachfolgender Gleichung aus der VDI 3803:2013 [DIN Media 2013] durchgeführt. Dabei wird die Normaußentemperatur der jeweiligen Klimaregion $\Theta_{N,ODA}$ und die Ablufttemperatur Θ_{ETA} angesetzt. Beide Temperaturen werden in der Einheit [°C] angegeben. Mithilfe der dimensionslosen Rückwärmzahl der Wärmerückgewinnung ϕ kann die Temperatur nach der Wärmerückgewinnung bestimmt werden.

$$\Theta_{rec} = \phi \left(\Theta_{ETA} - \Theta_{N,ODA}\right) + \Theta_{N,ODA}$$

Für die Ablufttemperatur wird ein Wert von 20 °C (entspricht der Raumtemperatur) angesetzt. Für die Rückwärmzahl für Rotationswärmeübertrager wird gemäß DIN V 18599-5 der Wert für Systeme ab 2018 von 73 % angesetzt.

Die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs der Luft-Luft-Wärmepumpe erfolgt analog zum ersten aufgestellten Berechnungsmodell für Sole-Wasser-Wärmepumpe mit horizontalen Erdkollektoren.

Die Investitionskosten für Luft-Wasser-Wärmepumpen werden gemäß der im Leitfaden beschriebenen Kostenkurve in Abhängigkeit der installierten thermischen Leistung berechnet. Für die Berechnung der Investitionskosten der Luft-Luft-Wärmepumpe $IN_{Luft\text{-}Luft\text{-}WP}$ [€$_{2024}$] wurde die Preisliste des Geräteherstellers Komfovent GmbH per Mail angefragt [Komfovent 2024-2]. Anhand dieser Kostenangaben wird eine Kostenkurve in Abhängigkeit des Auslegungs-Außenluftvolumenstrom $\dot{V}_{ODA}$ in der Einheit [m³/h] gebildet.

$$IN_{Luft-Luft-WP} = 8280{,}1 \, e^{0{,}000865 \cdot \dot{V}_{ODA}}$$

Nahwärmeversorgung durch Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Oberflächenwasser als Wärmequelle

Bei diesem Versorgungskonzept erfolgt die Wärmeversorgung mittels einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe. Als Wärmequelle wird Oberflächenwasser von Seen genutzt. Da das Wasser aus tieferen Schichten entnommen wird, hat es auch im Winter noch eine Temperatur, die oberhalb des Gefrierpunktes liegt. Im Berechnungsmodell wird eine Temperatur von 4 °C zugrunde gelegt [BWB 2024]. Der Berechnungsvorgang für den elektrischen Energiebedarf erfolgt analog zur Berechnung der Sole-Wasser-Wärmepumpe mit horizontalen Erdkollektoren.

Die Investitionskosten für Wasser-Wasser-Wärmepumpen werden gemäß der im „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ beschriebenen Kostenkurve in Abhängigkeit der installierten thermischen Leistung berechnet.

Nutzung von Niedertemperaturabwärme aus Rechenzentren inkl. Temperaturanhebung mit Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Bei diesem Versorgungskonzept wird das Temperaturniveau der Abwärme, dass bei der Kühlung eines quartiernahen Rechenzentrums anfällt, mittels einer nachgeschalteten Wärmepumpe angehoben und anschließend in ein Nahwärmenetz eingespeist. Diese Wärmepumpe wird als Grundlastwärmeerzeuger eingesetzt. Die Deckung der Spitzenlast wird mittels einer Luft-Wasser-Wärmepumpe durchgeführt.

Das Abwärmepotenzial von Rechenzentren kann anhand einer spezifischen Abwärmeleistung von 2,5 kW pro Quadratmeter installierter Serverfläche abgeschätzt werden (vgl. [Lechner 2023]). Ist die installierte Serverfläche nicht bekannt, können Näherungswerte gemäß [Hintemann 2010] von 50 kW für kleine Rechenzentren, 250 kW für mittlere Rechenzentren und 2.500 kW für große Rechenzentren angesetzt werden. Für die resultierende Wärmeauskopplung bezogen auf die IT-Leistung können 70 % angenommen werden [Ott 2022]. Die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs der Grundlastwärmepumpe erfolgt analog zur Berechnung des Versorgungskonzepts der Sole-Wasser-Wärmepumpe mit horizontalen Erdkollektoren. Die Abwärmetemperatur beträgt je nach Art der Kühlung 35 °C für luftgekühlte Rechenzentren und 60 °C für wassergekühlte Rechenzentren [Lechner 2023]. Die thermische Leistung der Grundlastwärmepumpe bestimmt sich aus der Summe der Abwärmeleistung, der elektrischen Leistung der Wärmepumpe und der Wärmeverlustleistung des Nahwärmenetzes. Bei den anfallenden Wärmeverlusten im Nahwärmenetz wird die Annahme getroffen, dass diese zu 50 % durch die Grundlastwärmepumpe gedeckt werden.

Für die Berechnung der Spitzenlastwärme wird ein Vergleich zwischen der nachgefragten Leistung des Quartiers und der erzeugten Leistung der Grundlastwärmepumpe durchgeführt. Sofern die Wärmenachfrage größer ist als die Grundlastwärme, die zur Verfügung steht, wird der Spitzenlastwärmeerzeuger zugeschaltet. Ist das Abwärmepotenzial des Rechenzentrums größer als der Wärmebedarf des Quartiers, wird die überschüssige Wärme über Verdunstungskühler an die Umgebung abgegeben. Auf den Einsatz einer Kältemaschine kann bei diesem Versorgungskonzept verzichtet werden, wenn die notwendige Vorlauftemperatur, die zur Kühlung der Server benötigt wird, durch den Verdunstungskühler bzw. durch den Wärmeentzug der Wärmepumpe auf der Quellenseite, bereitgestellt werden kann [Lechner 2023].

Die Investitionskosten für die Luft-Wasser-Wärmepumpe und Wasser-Wasser-Wärmepumpe werden gemäß der im „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ beschriebenen Kostenkurven in Abhängigkeit der installierten thermischen Leistung berechnet. Für die Berechnung der Vollkosten des Rückkühlers wird der spezifische Wert von 90 $€_{2014}$ pro kW Rückkühlleistung angesetzt [Schrade 2014]. Die Kosten für die Erschließung der Abwärme, die vom Betreiber des Rechenzentrums bzw. des Betreibers des Wärmenetzes zu finanzieren sind, werden im Berechnungsmodell nicht einzeln angesetzt. Stattdessen werden für die monetäre Bewertung die Gestehungskosten der Abwärmenutzung nach [Lechner 2023] berücksichtigt. Diese Gestehungskosten sind anhand der Abwärmenutzung eines Rechenzentrums in Offenbach nach VDI 2067 Teil 1 [VDI 2012] berechnet worden. Die nachgeschaltete Wärmepumpenkaskade, die zur Anhebung der Temperatur eingesetzt wird, beträgt in diesem Beispiel 35 MW. Für andere Anlagengrößen ist bei einer potenziellen späteren Weiterentwicklung des Tools vorgesehen, die Kosten über eine Regressionskurve zu bestimmen.

In Tabelle 23 sind Preiskalkulationen für drei Varianten dargestellt, die sich hinsichtlich Betreibermodell unterscheiden. In Variante 1 erfolgt die Erschließung der Abwärme durch den Betreiber des Rechenzentrums (RZ), bei Variante 3 durch den Netzbetreiber (Nb). Bei Variante 2 erfolgt die Erschließung der Abwärme in Kooperation der beiden Betreiber. Für die Preiskalkulation wurde eine Temperaturanhebung durch eine Wärmepumpe, das Strompreisniveau von 2021/22 und entsprechende Fördergelder berücksichtigt.

Tabelle 23:
Gestehungskosten der Abwärmenutzung [Lechner 2023].

Gestehungskosten Abwärmenutzung [ct/kWh]		
Variante 1	Variante 2	Variante 3
18,2 (RZ)	0,8 (RZ) + 16,6 (Nb) = 17,4	16,5 (Nb)

Die unterschiedlichen Gestehungskosten der drei Varianten ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Abschreibungszeiträume der beiden Betreiber. Für den Betreiber des Rechenzentrums wird von einer Abschreibungsdauer von 10 Jahren für den Netzbetreiber von 20 Jahren ausgegangen. Zusätzlich werden je nach Variante die Fördermöglichkeiten von der „Bundesförderung für Energie und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft“ sowie der „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ (BEW) bei den kapitalgebundenen Kosten berücksichtigt. Zudem wird bei Variante 3 für die Berechnung der bedarfsgebundenen Kosten ein niedrigerer Strompreis für den Betrieb der Wärme- und Umwälzpumpen angesetzt, da der Wärmenetzbetreiber aufgrund einer vorhandenen Vorsteuerabzugsberechtigung keine Mehrwertsteuer bezahlen muss.

Ein weiterer Aspekt, der im Berechnungsmodell aktuell noch keine Berücksichtigung findet, ist die Versorgungssicherheit im Falle eines Stromausfalls. Wenn das Rechenzentrum als Abwärmequelle nicht mehr zur Verfügung steht, muss durch ein Backup-System die Wärmebereitstellung für die Wohngebäude sichergestellt werden. Als Backup-System eignen sich beispielsweise Luft-Wasser-Wärmepumpen. Ebenso können, aufgrund der geringen Betriebszeiten, auch fossil betriebene Kesselanlagen als Backup eingesetzt werden. Diese haben den Vorteil niedrigerer Investitionskosten im Vergleich zu Luft-Wasser-Wärmepumpen. Für die Investitionskosten der gewählten Backup-Variante können die im „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ beschriebenen Kostenkurven in Abhängigkeit der installierten thermischen Leistung angesetzt werden.

Stromerzeugung aus Balkon-Photovoltaikanlagen

Bei Balkon-Photovoltaikanlagen handelt es sich um steckfertige Photovoltaik-Module, die vertikal an einem Balkongeländer befestigt werden. Es wird die Annahme zugrunde gelegt, dass der erzeugte Strom zur Deckung der Stromgrundlast verwendet wird und es keine Einspeisung ins Stromnetz und damit keine Vergütung gibt. Für Einfamilienhäuser wird eine Stromgrundlast von 350 W angesetzt (vgl. [BWG Solarkonzept 2021]). Für kleine und große Mehrfamilienhäuser sowie für Wohnhochhäuser wird die Stromgrundlast flächenspezifisch mit 0,95 W/m² bezogen auf die Wohnfläche angesetzt (vgl. [Könen 2024]). Die Orientierung der Balkon-Photovoltaikanlagen ist abhängig von der Orientierung der Gebäude. Vereinfachend wird von einer West-/Ost-Ausrichtung ausgegangen. Da die Module vertikal an den Balkonbrüstungen montiert werden, wird ein Anstellwinkel von 90° im Berechnungsmodell hinterlegt. Der gewonnene PV-Solarertrag entspricht der Energieeinsparung. Um die Photovoltaik-Modulfläche, die zur Deckung der Stromgrundlast notwendig ist, zu berechnen, wird der Quotient aus der Stromgrundlast und der bereits im Softwaretool hinterlegten spezifischen Modulleistung von 200 Wp/m² gebildet. Für die Bestimmung des Solarertrags wird der Jahresertrag der Solarstrahlung in [kWh/m²a] gemäß DIN V 18599-10 für die

jeweilige Klimaregion verwendet. Der Jahresstromertrag ergibt sich aus der Photovoltaik-Modulfläche und dem Wirkungsgrad für Photovoltaik-Module von 18 % (Mittelwert von [Wirth 2024]) multipliziert mit dem Jahresertrag der Solarstrahlung.

Für die Berechnung der Investitionskosten der Balkon-Photovoltaikanlagen $IN_{Balkon\text{-}PV}$ [€$_{2024}$] werden aktuelle Kostenangaben von Herstellern [EET 2024], [Solago 2024], [Priwatt 2024] und [Kleines Kraftwerk 2024] für den Leistungsbereich zwischen 350 Wp und 530 Wp verwendet und daraus eine Kostenkurve in Abhängigkeit der installierten Spitzenleistung $\mathrm{P_{el}}$ in der Einheit [kWp] gebildet. Um Nettoinvestitionskosten zu erhalten, werden die recherchierten Bruttopreise mit dem Faktor 1,19 umgerechnet.

$$IN_{Balkon-PV} = \frac{7{,}1426 \cdot P_{el}{}^{0{,}6577}}{1{,}19}$$

Stromerzeugung aus Parkplatz-Photovoltaikanlagen

Bei diesem Konzept werden vorhandene Parkplatzflächen im Quartier mit PV-Modulen überdacht. Der erzeugte Strom kann im Quartier, z. B. für die Ladung von Elektrofahrzeugen genutzt werden. Überschussstrom wird ins Stromnetz eingespeist. Die Elektromobilität wird im Softwaretool „Klimaneutral Easy“ nicht bilanziert. Der erzeugte Strom wird als Kompensationsmaßnahme behandelt.

Für die Berechnung des PV-Potenzials auf den Parkplatzflächen wird die Stellplatzfläche der Autos herangezogen. Diese beträgt abzüglich der Fahrbereiche und Grünflächen zwischen 40 und 50 % der Parkplatzgesamtfläche (vgl. [Stryi-Hipp 2022]). Im Berechnungsmodell wird vereinfachend von 40 % ausgegangen. Die Berechnung des Solarertrags erfolgt in Analogie zu Balkon-Photovoltaikanlagen. Für die Orientierung wird eine Süd-Ausrichtung mit einem Anstellwinkel von 30° angenommen.

Für die Bestimmung der Investitionskosten werden die Kosten von Dach-Photovoltaikanlagen mit einem Teuerungszuschlag von 50 % angesetzt [Stryi-Hipp 2022]. Die Investitionskosten für Dach-Photovoltaikanlagen werden gemäß der im Leitfaden beschriebenen Kostenkurven in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung berechnet. Im Teuerungszuschlag sind die Kosten für die Überdachung enthalten.

Stromerzeugung aus Freiflächen-Photovoltaikanlagen

Bei diesem Konzept werden PV-Module auf geeigneten Freiflächen, die im Quartier zur Verfügung stehen, montiert. Der erzeugte Strom soll primär im Quartier genutzt werden. Überschussstrom wird ins Stromnetz eingespeist.

Für die Abschätzung des PV-Potenzials auf Freiflächen kann von einer spezifischen PV-Leistung von 1 MWp pro Hektar Freifläche ausgegangen werden (vgl. [CARMEN 2023]). Die Berechnung des Solarertrags erfolgt in Analogie zu Balkon-Photovoltaikanlagen. Für die Orientierung wird eine Südausrichtung mit einem Anstellwinkel von 30° angenommen.

Zur Ermittlung der Investitionskosten [€$_{2022}$] wird in Anlehnung an [CARMEN 2023] eine Kostenfunktion für Freiflächen-Photovoltaikanlagen aufgestellt. Eingangsgröße ist die elektrische Peakleistung P_{el} der PV-Module in der Einheit [MWp]. Die Kostenkurve basiert auf Anlagengrößen von 0,5 MWp bis 15 MWp installierter Leistung.

$$IN_{Freiflächen-PV} = 849437 \cdot {P_{el}}^{0,94}$$

Lithium-Ionen-Batteriespeicher

Um den Eigenverbrauchsanteil des lokal erzeugten Stroms zu erhöhen, werden Lithium-Ionen-Batteriespeicher als dezentrale elektrische Speicher eingesetzt. Für die Dimensionierung der nutzbaren Batteriespeicherkapazität kann vereinfachend pro kWp installierter PV-Leistung eine Batteriespeicherkapazität von 1 kWh angenommen werden [Graulich 2018].

Die Berechnung des reduzierten Strombezugs aus dem Netz durch den Batteriespeichers erfolgt durch die Differenzbildung der Autarkiegrade mit und ohne Batteriespeicher. Die Ermittlung der Autarkiegrade erfolgt anhand der in Bild 80 dargestellten Eigenverbrauchsquoten für verschiedene Batteriespeichergrößen.

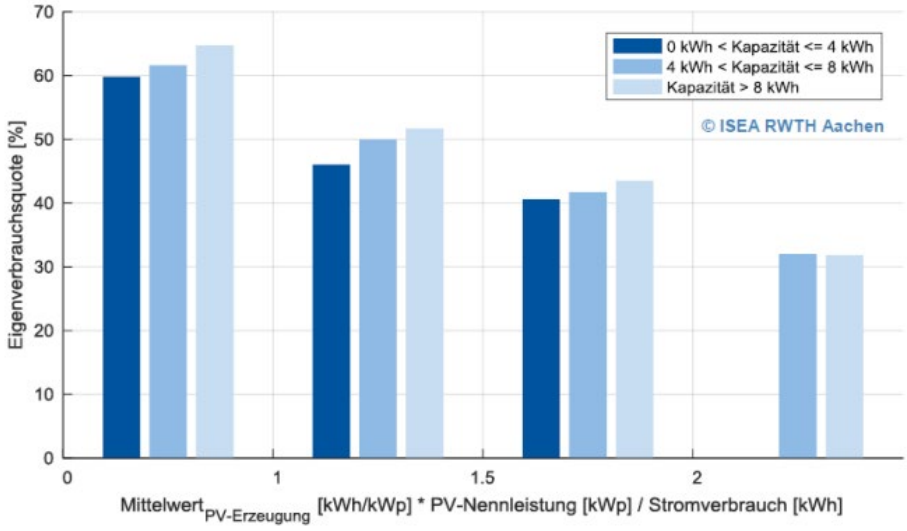


Bild 80:
Mittlere Eigenverbrauchsquoten in Abhängigkeit von der relativen PV-Nennleistung und der Speicherkapazität [Figgener 2017].

Aus Bild 80 können die Eigenverbrauchsquoten für Batteriespeicherkapazitäten von 0 bis 4 kWh, von 4 bis 8 kWh und größer als 8 kWh abgelesen werden. Da diese Eigenverbrauchsquoten in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Photovoltaikertrag zum Haushaltsstromverbrauch angegeben sind, können die Eigenverbrauchsquoten auf die verschiedenen Gebäude- und Photovoltaikanlagengrößen angewendet werden.

Aus der abgelesenen dimensionslosen Eigenverbrauchsquote e und dem Photovoltaikertrag $\mathrm{E_{PV,prod}}$ in der Einheit [kWh] lässt sich durch Umstellen der nachfolgenden Gleichung der aus der Photovoltaikanlage stammende und im Gebäude genutzte Photovoltaikstrom $\mathrm{E_{PV,nutz}}$ in der Einheit [kWh] bestimmen.

$$e = \frac{E_{PV,nutz}}{E_{PV,prod}}$$

Anschließend kann der dimensionslose Autarkiegrad a für die unterschiedlichen Speicherkapazitäten mit nachfolgender Gleichung in Abhängigkeit des Haushaltsstromverbrauch $\mathrm{E_{Verbrauch}}$ in der Einheit [kWh] bestimmt werden.

$$a = \frac{E_{PV,nutz}}{E_{Verbrauch}}$$

In „Klimaneutral Easy“ wird der Haushaltsstromverbrauch entsprechend der Vorgehensweise im „Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere“ für die verschiedenen Gebäudetypen anhand spezifischer Kennwerte ermittelt und kann für das Berechnungsmodell als Eingangsgröße verwendet werden.

Die Investitionskosten in der Einheit [€$_{2021}$] inklusive Leistungselektronik sind in nachfolgender Tabelle 24 für die nutzbaren Batteriekapazitäten kleiner gleich 5 kWh, 5 kWh bis kleiner gleich 10 kWh und größer als 10 kWh aufgelistet.

Tabelle 24:
Durchschnittliche Investitionskosten für ausgewählte Batteriespeicherkapazitäten [Figgener 2023].

Nutzbare Batterie-kapazität	≤ 5 kWh	> 5 kWh bis ≤ 10 kWh	> 10 kWh
Durchschnittliche Investitionskosten	1.350 €/kWh	1.040 €/kWh	900 €/kWh

Erstellung von Jahresdauerlinien

Mithilfe der Simulationssoftware [TRNSYS 2010] werden stündliche Werte der Gebäudeheizlasten für die im Tool vorkommenden Typgebäude bestimmt. Dabei werden alle im Tool auswählbaren Klimaregionen, Energiestandards und Lüftungskonzepte berücksichtigt.

Zur Erstellung der Warmwasserzapfprofile wird das Auslegungstool [DHWcalc 2017] verwendet. Die dafür notwendigen Eingaben werden nachfolgend beispielhaft für ein Wohngebäude mit 64 Wohneinheiten beschrieben. Das Zapfprofil wird in 4 Kategorien, in der unterschiedliche Angaben für Volumenstrom, Zapfdauer und Häufigkeit angegeben sind, eingeteilt. Diese Angaben sind in nachfolgender Tabelle 25 zu finden.

Tabelle 25:
Eingabedaten für die 4 simulierten Zapfkategorien.

Kategorie	1	2	3	4
Volumenstrom [l/h]	1	6	140	40
Zapfdauer [min]	60	60	60	60
Häufigkeit [%]	14	36	10	46

Als minimales Zeitintervall zwischen zwei Zapfungen (Zeitschrittweite) werden 60 Minuten festgelegt. Der Zeitraum des generierten Zapfprofils wird auf 365 Tage festgelegt und beginnt am ersten Tag des Jahres. Eine Urlaubsunterbrechung wird vom 01.07. bis 01.09. berücksichtigt. Die Umstellung auf Sommerzeit im Zeitraum vom 01.04. bis 31.10. wird bei der Erstellung des Zapfprofils ebenfalls berücksichtigt.

Für das betrachtete Mehrfamilienhaus wird ein Wassergesamtverbrauch von 12.800 Litern pro Tag angesetzt.

Die jährlichen Wärmeverluste $\dot{Q}_v$ in der Einheit [kWh/a], die im Nahwärmenetz entstehen, werden bei der Erstellung der Jahresdauerlinien berücksichtigt. Die Berechnung der jährlichen Wärmeverluste eines Teilstrangs $\dot{Q}_{v,i}$ in der Einheit [kWh/a] erfolgt mit nachfolgender Gleichung [Nussbaumer 2017] mit dem längenspezifischen Wärmeverlust $\dot{q}_{v,L}$ in der Einheit [W/(Tm*K)], dem mittleren Temperaturunterschied für die erdverlegte Rohrleitung $\triangle \Theta_m$ in der Einheit [K], der Länge des Trassenabschnittes L in Trassenmetern und der jährlichen Betriebszeit des Netzes τ in der Einheit [h].

$$\dot{Q}_{v,i} = \frac{\dot{q}_{v,L} \cdot \triangle \Theta_m \cdot L}{1000} \cdot \tau$$

Aus der Summe der jährlichen Wärmeverluste der einzelnen Teilstränge ergibt sich der jährliche Wärmeverlust der Wärmeverteilung. Die Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes wird für Quartiere mit Bestandsgebäuden mit 73 °C und für Quartiere mit Neubauten mit 58 °C angesetzt. Die Summe aus Gebäudeheizlasten, Warmwasserbedarfe und Wärmeverlusten des Nahwärmenetzes ergibt das Wärmebedarfsprofil des gesamten Quartiers. Durch die Sortierung der Werte der Größe nach absteigend wird eine geordnete Jahresdauerlinie erstellt. Die Quartiersfläche wird bei der nachfolgenden Betrachtung mit einem Hektar angesetzt.

Die Dauerlinien für die Siedlungstypen ST 2 (Einfamilienhaussiedlung) und ST 6 (Zeilenbebauung mit gr. Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern) sind jeweils für den unsanierten Zustand und den EH40-Standard und für gemäßigtes Klima (mittlere Jahrestemperatur von 11,1 °C, Klimaregion TRY 12 - Mannheim) und kaltes Klima (mittlere Jahrestemperatur von 3,8 °C, Klimaregion TRY 11 - Fichtelberg) in nachfolgendem Bild 81 dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Dauerlinien der unsanierten Siedlungen über das Jahr verteilt größere Heizlasten und eine längere Heizperiode aufweisen. Aufgrund der niedrigeren Außentemperatur der kälteren Klimaregion Fichtelberg liegen die Jahresdauerlinien über denen der milden Klimaregion. Da der Warmwasserbedarf über das ganze Jahr verteilt anfällt und damit auch die daraus resultierenden Wärmeverluste durch das Nahwärmenetz, ergibt sich über den gesamten Betrachtungszeitraum von 8.760 Stunden ein Wärmebedarf. In Bild 81 ist auch zu erkennen, dass dieser Wärmebedarf bei den Neubauten, aufgrund der niedrigeren Netzvorlauftemperatur, geringer ausgeprägt ist.

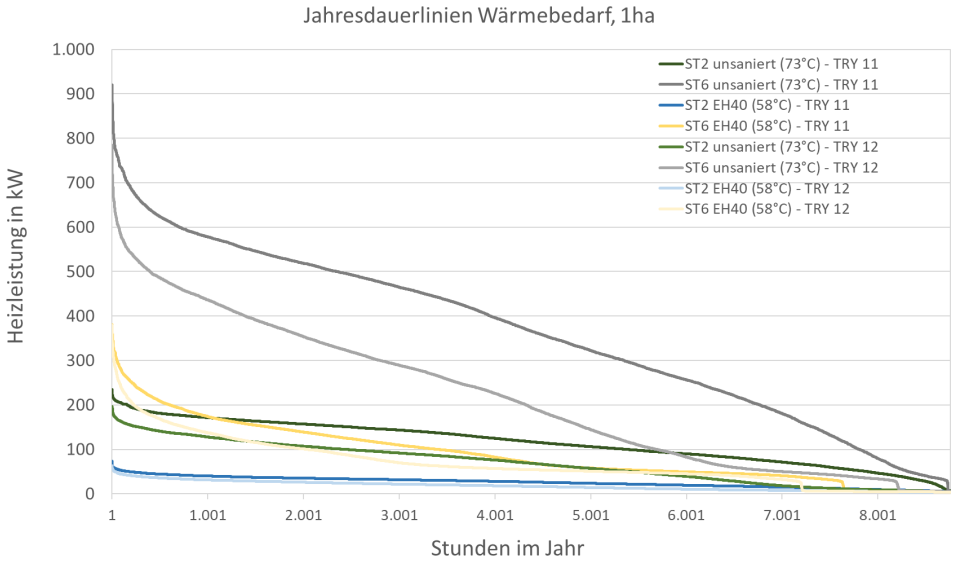


Bild 81:
Darstellung der geordneten Jahresdauerlinien für die Siedlungstypen ST 2 und ST 6 im unsanierten und EH 40 Standard für die Klimaregionen TRY 11 (Fichtelberg) und TRY 12 (Mannheim).

Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit

Vereinfachend kann durch Aufsummieren der Jahresdauerlinien von Einzelgebäuden eine Jahresdauerlinie für eine Siedlung erstellt werden. Dabei wird jedoch keine zeitliche Varianz beim Zeitpunkt des Wärmebedarfs der einzelnen Gebäude berücksichtigt. Bei der Dimensionierung von zentralen Wärmeerzeugern wird dieser zeitliche Versatz bei der maximalen Leistungsanforderung durch den sogenannten Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt. Im Leitfaden wird die Berechnungsmethodik gemäß [Winter 2001] verwendet (vgl. Kapitel 2.5). Hierfür sind die Gebäude eines Quartiers nach der Größe ihres Wärmebedarfs zu clustern, sowie die Anschlussquoten je Gebäudecluster an ein Versorgungskonzept zu berücksichtigen. In Abhängigkeit der Anzahl angeschlossener Gebäude je Gebäudecluster und deren Anteil am Gesamtwärmebedarf wird ein mittlerer Gleichzeitigkeitsfaktor für die zentrale Erzeugereinheit ermittelt.

Für die Dimensionierung von thermischen Speichern, zur Berechnungen von Verteilverlusten im Wärmenetz sowie zur Ermittlung von Deckungsanteilen verschiedener Versorgungssysteme, müsste die aufsummierte Jahresdauerlinie so korrigiert werden, dass das Flächenintegral unterhalb der geordneten Jahresdauerlinie (Gesamtenergiebedarf) unverändert bleibt, der maximale Leistungsbedarf jedoch um den Gleichzeitigkeitsfaktor abgemindert wird.

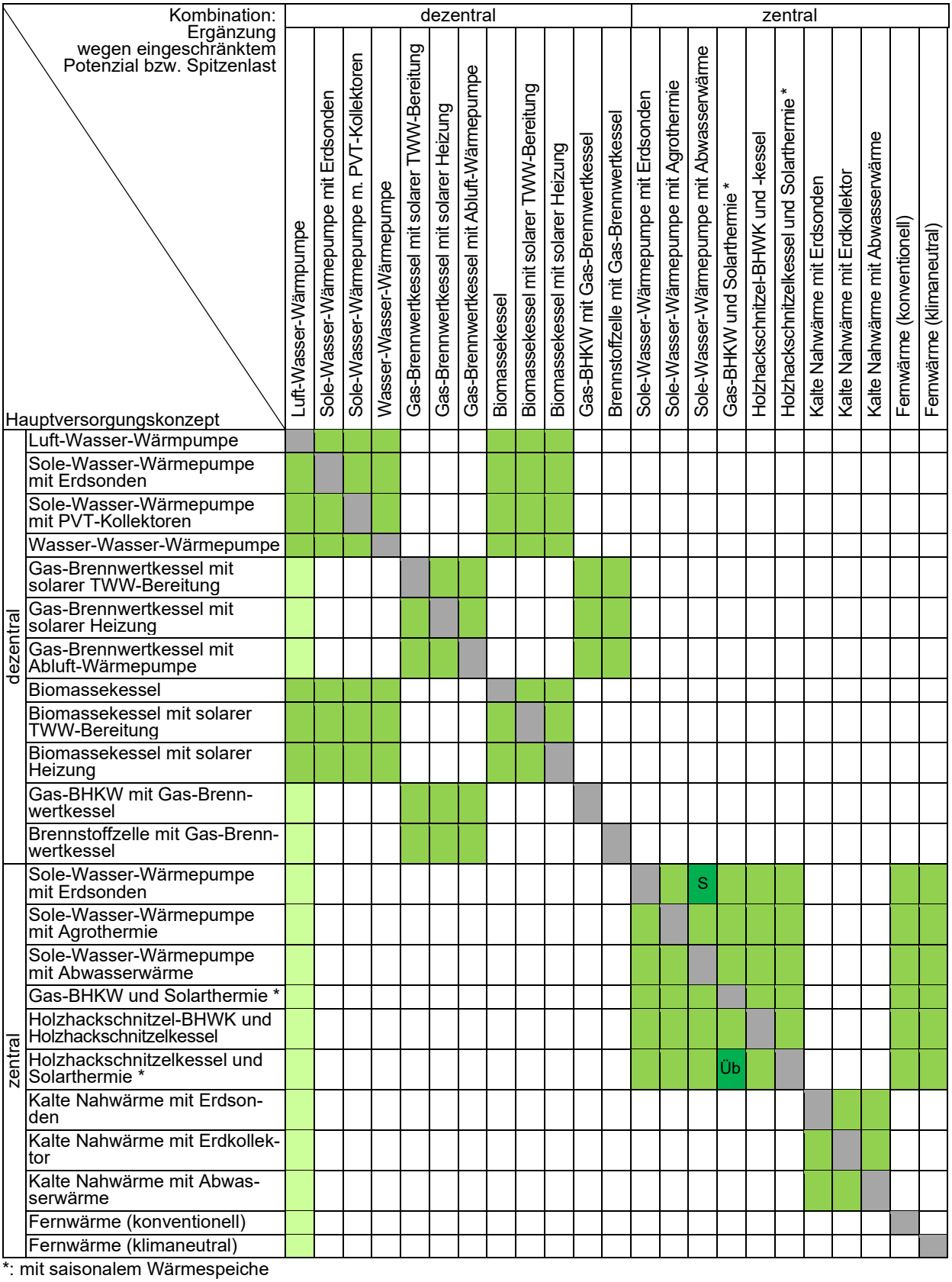
Unter Verwendung der oben beschriebenen simulierten Heizlast- und Warmwasserzapfprofilen für die IWU-Typgebäude wurde im Rahmen von

Modellrechnungen versucht, die zeitliche Varianz des Zeitpunkts der Lastanforderung so zu beeinflussen, dass die oben genannten Optimierungsziele erreicht werden. Dabei wurden verschiedene Verteilungsfunktionen untersucht, jedoch ohne ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Um die Modellqualität zu verbessern, wären stündliche Messwerte von Wärmenetzen und den dort angeschlossenen Einzelgebäuden erforderlich, anhand denen die gewählten Modelle und die gewählten Parameter kalibriert werden können.

Kombinierbarkeit von Versorgungskonzepten

In Bild 82 werden sinnvolle Kombinationen von Versorgungslösungen im Falle der Entwicklung eines neuen Energiekonzepts für ein Quartier zusammengestellt. Dabei ist das Ziel, zu einem Hauptkonzept im Quartier eine geeignete ergänzende Lösung aufgrund eingeschränktem Potenzial der Hauptversorgung bzw. für eine Spitzenlastabdeckung zu identifizieren. Die dafür zugrundeliegenden Überlegungen wurden im Unterkapitel „Vorgehen“ zusammengestellt.

Die grün markierten Lösungen wurden unter diesen Randbedingungen als sinnvolle Kombinationen identifiziert. Dunkelgrün markiert sind die beiden Kombinationslösungen aus den Demonstrationsquartieren Stuttgart (S) gemäß dem ursprünglichen Energiekonzept und Überlingen (Üb) mit kleinen Anpassungen. Beim Stuttgarter Quartier müsste noch die Nutzung von PVT ergänzt, bei der Überlinger Lösung der saisonale Speicher herausgenommen werden. In einem hellen Grün ist die „generelle“ Ergänzungslösung Luft-Wasser-Wärmepumpe markiert, siehe Unterkapitel „Vorgehen“.



*: mit saisonalem Wärmespeiche

Bild 82:
Sinnvolle Kombinationen von Versorgungslösungen (grüne Markierung) im Falle der Entwicklung eines neuen Quartiersenergiekonzept.

Weiterführende Informationen:

- Softwaretool Klimaneutral Easy: https://klimaneutraleasy.azurewebsites.net/ [Fraunhofer IBP 2024-1]
- Handbuch zu Klimaneutral Easy [Fraunhofer IBP 2024-2]
- Leitfaden „Wege zur klimaneutralen Energieversorgung von Quartieren“ [Schrade 2024]
- Kapitel “Solutions for Climate Neutral District Concepts” im Buch “Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts” [Schrade 2024]
- Paper für die Bauphysiktage in Weimar 2024: „Klimaneutral Easy – Planungstool für die klimaneutrale Energieversorgung von Wohnquartieren“ [Stegmaier 2024].

2.14 Tool „GridOptimizer“

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer IBP

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Fraunhofer FIT, Landeshauptstadt Stuttgart, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart, Stadt Überlingen

2.14.1 Aufgabenstellung

Klimaneutrale Energiekonzepte für Stadtquartiere enthalten oftmals große Photovoltaikflächen zum Ausgleich der Treibhausgasemissionen für die Wärme-, ggf. Kältebereitstellung und den Stromanteil über den Netzbezug. Auch für die beiden Demonstrationsquartieren im Vorhaben STADTQUARTIER 2050 wurde von einem Einsatz von Photovoltaikmodulen ausgegangen. Aus diesem Grund wurde ein gesonderter Arbeitsbereich vorgesehen, der den eigengenutzten Stromanteil im Quartier erhöhen sollte.

Das Ziel war es, ein „selbstlernendes“ Informationsmedium zu entwickeln, dass den Nutzer im Quartier mithilfe von Energiebedarfsprofilen und prognostizierten generierten Energiemengen (basierend u. a. auf Wettervorhersagen) zu einem für das Netz bzw. Quartier positiven und für ihn selbst kostengünstigen Verbrauchsverhalten animiert. Dabei sollten unterschiedliche Modelle der künstlichen Intelligenz (KI-Modelle) zum Einsatz kommen.

Folgende Arbeitsschritte waren vorgesehen:

- Entwicklung von Algorithmen für dynamische (selbstlernende) Nutzerprofile: Dabei sollten vorhandene Messdaten für Niedrigenergie-Mehrfamilienhäuser als Basis genutzt werden und durch Big Data-Analysen kontinuierlich an die in den Quartieren gemessenen elektrischen Lastprofile angepasst werden.

- Entwicklung von Vorhersagemodulen zum optimierten Stromverbrauch: Wettervorhersagemodelle sollten in die Berechnungsprozedur für die Stromerzeugung und den Stromverbrauch eingebunden werden. Dadurch sollte auch der beeinflussbare Anteil der Stromlastprofile und die Auswirkung des geänderten Stromverbrauchs ermittelt werden.

- Programmierung des Tools „GridOptimizer“: Die Programmierung des Tools sollte in objektorientierter Vorgehensweise erfolgen unter Anwendung von agilen Software Entwicklungsmethoden.

- Entwicklung von Energiepreistarifen zur Berücksichtigung des in der Siedlung generierten Stroms: In Zusammenarbeit mit den Energieversorgern sollte ein Preismodell entwickelt werden, das anregt, den im Quartier erzeugten Strom vorrangig zu nutzen.

- Testanwendung des GridOptimizers in den Quartieren in Stuttgart und Überlingen: Im letzten Projektjahr soll der GridOptimizer pilothaft in den bereits fertiggestellten Bauabschnitten eingesetzt und seine Auswirkungen analysiert werden.

2.14.2 Vorgehen

Die in Kapitel 2.14.1 angeführten Arbeitsschritte wurden folgendermaßen durchgeführt:

- Entwicklung von Algorithmen für dynamische (selbstlernende) Nutzungsprofile: Dabei wurden vorhandene Messdaten für Niedrigenergie-Mehrfamilienhäuser als Basis genutzt und durch Big Data-Analysen an die in den Quartieren gemessenen elektrischen Lastprofile angepasst.

- Entwicklung von Vorhersagemodulen zum optimierten Stromverbrauch: Wettervorhersagemodelle wurden in die Berechnungsprozedur für die Prognose von Stromerzeugung und Stromverbrauch eingebunden. Auf Basis dieser Prognosedaten wurde der beeinflussbare Anteil der Stromlastprofile und die Auswirkung des geänderten Stromverbrauchs ermittelt.

- Programmierung des Tools „GridOptimizer“: Die Programmierung des Tools wurde in objektorientierter Vorgehensweise unter Anwendung von agilen Software-Entwicklungsmethoden durchgeführt.

- Entwicklung von Energiepreistarifen zur Berücksichtigung des in der Siedlung generierten Stroms: In Zusammenarbeit mit den Energieversorgern wurde ein Preismodell entwickelt, welches Anreize schafft, den im Quartier erzeugten Strom vorrangig zu nutzen.

- Testanwendung des „GridOptimizers“ in den Quartieren in Stuttgart und Überlingen: Nach Fertigstellung wurde der „GridOptimizer“ pilothaft in den bereits bezogenen Bauabschnitten des Pilotvorhabens in Überlingen eingesetzt und seine Auswirkungen analysiert. Zudem wurden die Nutzbarkeit des „GridOptimizers“ anhand einer Befragung der Nutzenden evaluiert. Das Bauvorhaben in Stuttgart war noch nicht bezogen und konnte deshalb nicht für eine Testanwendung genutzt werden.

Als Hilfestellung für die Entwicklung des „GridOptimizers“ dienten die nachfolgend beantworteten Leitfragen.

- **Was bedeutet „selbstlernendes System“ für den „GridOptimizer“?** Dem „GridOptimizer“ soll ein selbstlernender Algorithmus implementiert werden, der große Datenmengen (z. B. Messwerte) analysiert und daraus Schlüsse zieht, um Vorhersagen treffen zu können, siehe Bild 83. Dieser Teil der künstlichen Intelligenz wird auch als „Machine Learning“ bezeichnet, das wiederum vier Ausprägungen umfasst. Relevant für den „GridOptimizer“ sind das „Supervised Learning“ (Lernen nach vorgegeben Regeln) und „Unsupervised Learning“ (Erkennen und Auswerten von Mustern und Selbstoptimierung).

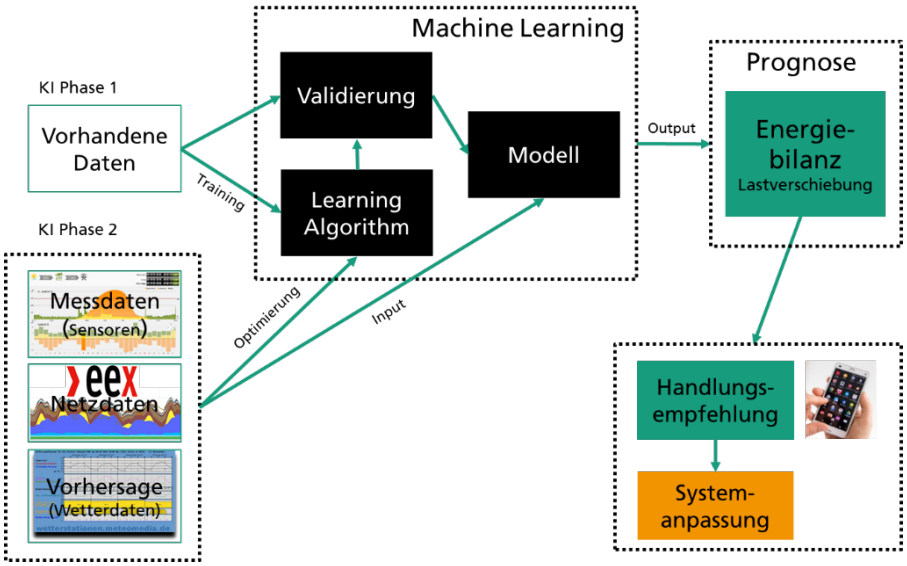


Bild 83:
Schematische Darstellung des „GridOptimizers“.

- **Welche Daten werden für den „GridOptimizer“ benötigt?**
  Während der Anlernphase werden dem selbstlernenden Algorithmus zeitlich feinaufgelöste Daten zum Stromverbrauch, zu den meteorologischen Daten und zur lokalen Energieerzeugung zur Verfügung gestellt. Je nach Datenverfügbarkeit können ersatzweise bestehende Nutzungs- und Lastgangprofile verwendet werden. Hierfür wurden Inputdaten für den „GridOptimizer“ spezifiziert und ein Konzept zur Datenerfassung für die pilothafte Anwendung in einem Stadtquartier erarbeitet. Für die Prognosefähigkeit des „GridOptimizers“ sind nach der Anlernphase Prognosedaten zu Witterung nötig. Die Selbstoptimierung der Künstlichen Intelligenz basiert auf Messdaten zum Stromverbrauch und Nutzungsverhalten auf Gebäudeebene sowie der Energieerzeugung im Stadtquartier.

  Um die Übertragbarkeit des „GridOptimizers“ auf andere Quartiere zu erhöhen, wurde festgelegt, dass die vom „GridOptimizer“ verarbeiteten Energieverbräuche sich auf die Stromanteile beschränken und diese auf Gebäudeebene erfasst werden. Somit sind für die Integration eines Gebäudes maximal drei Zählerwerte (Stromverbrauch, Stromproduktion und Stromeinspeisung) notwendig. Auf hochauflösende Messungen kann verzichtet werden, da der Datenbedarf durch generell notwendige Messungen für die Energiekostenabrechnung abgedeckt werden kann. Um eine langfristige Verfügbarkeit des „GridOptimizers“ sicherzustellen, wird auf die kostenfreien Prognosen des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen.

- **Welche Optimierungsziele soll der „GridOptimizer“ verfolgen?**
  Es wurden zwei Optimierungsprobleme identifiziert, die durch den „GridOptimizer“ adressierbar sind:

  - Lastmanagement für Angebot von Regelenergie zur Stabilisierung der Übertragungsnetze.

  - Maximierung des Eigenverbrauchs von im Quartier erzeugten erneuerbaren Stroms.

  Für welches der beiden Optimierungsziele die Software eingesetzt wird, liegt in erster Linie am Betreiber des „GridOptimizers“. In der konzeptionellen Entwicklung wurden Lösungen für beide Optionen angedacht. Gespräche mit potenziellen Betreibern des „GridOptimizers“ aus den Pilotprojekten in Überlingen und Stuttgart haben jedoch ergeben, dass eine „Maximierung des Eigenverbrauchs des im Quartier erzeugten erneuerbaren Stroms“ präferiert wird.

  Einen Ansatz zum Lastmanagement bietet die App „StromGedacht“, die Ende des Jahres 2022 vom Übertragungsnetzbetreiber Trans-netBW veröffentlicht wurde. Auf Basis einer prognosebasierten Analyse von Verbrauch und Bedarf erfolgt eine gezielte Ansprache der Stromver-

braucher, um auf kritische Zustände im Übertragungsnetz aufmerksam zu machen (vgl. [PV-Magazin 2022]).

- **Wer könnte an der Entwicklung und dem Betrieb der Software Interesse haben?**
  Mieterstromanbieter, Netzbetreiber, Energiedienstleister und Wohnbaugesellschaften wurden als mögliche Betreiber des „GridOptimizers“ erachtet. Die Haushalte und Gewerbeeinheiten sind Ziel der Optimierungsmaßnahmen des „GridOptimizers“.

- **Wie soll die Lastverschiebung erfolgen?**
  In der ersten Entwicklungsstufe erhalten die teilnehmenden Haushalte eine Information, wie sie sich systemoptimierend verhalten können. Zur Incentivierung wurde ein lokaler Energietarif entwickelt, welcher allerdings nicht zum Einsatz kommen konnte. Grund hierfür war, dass der bereits feststehende Stromversorger im Projektgebiet Überlingen aufgrund der geringen Größe des Quartiers keinen gesonderten Tarif anbieten kann.

  Als Alternative wurde eine Fernsteuerung von verschiebbaren Lasten durch den „GridOptimizer“ in Betracht gezogen. Voraussetzung hierfür ist die Ausstattung der teilnehmenden Haushalte mit Kommunikationseinheiten, die einen Fernzugriff ermöglichen. Dies können „smarte“ Haushaltsgeräte, schaltbare Steckdosen oder Switch Bots sein. Von einer Lastverschiebung mittels Fernzugriff musste jedoch ebenfalls Abstand genommen werden, da der dafür notwendige technische Aufwand im Rahmen des Projekts nicht realisierbar war. Die Initialisierung der Lastverschiebung erfolgt deshalb über Notifications, welche durch die „Quartiers-App“ auf die Smartphones der Nutzenden aufgespielt werden.

  Zusammen mit Experten aus der Sozialforschung wurden verschiedene Texte für die zielgenaue Ansprache der Nutzenden erstellt und bewertet. Dabei haben sich Texte als besonders geeignet erwiesen, welche den positiven Effekt der Eigenstromnutzung spielerisch in den Vordergrund stellen. Beispiele für solche Benachrichtigungstexte sind im Ergebniskapitel unter „Definition der Nutzenden-Benachrichtigungen“ zu finden.

- **Wie groß sind die Lastverschiebungspotenziale in Wohngebäuden?**
  Zu den steuerbaren Prozessen in Wohngebäuden gehören die weiße Haushaltsware (Wasch-, Spülmaschine, Trockner, Kühlgeräte), Wärmeerzeuger (Wärmepumpe, BHKW), E-Fahrzeuge, sonstige Ladestationen sowie thermische und elektrische Speicher. Die steuerbare weiße Ware umfasst insgesamt rund 35 % des Nutzerstroms von Haushalten [EnergieAgentur.NRW 2015]. In verschiedenen Feldtests konnten Lastverlagerungen von bis zu 10 % festgestellt werden [Karg 2014]. In Bild 84 sind die Lastverschiebepotenziale verschiedener Projekte mit unterschiedlichen Strompreistarifen dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass

die Lastverschiebepotenziale zum einen von der Art des gewählten Tarifs und zum anderen von der realisierbaren Preisspanne abhängen.

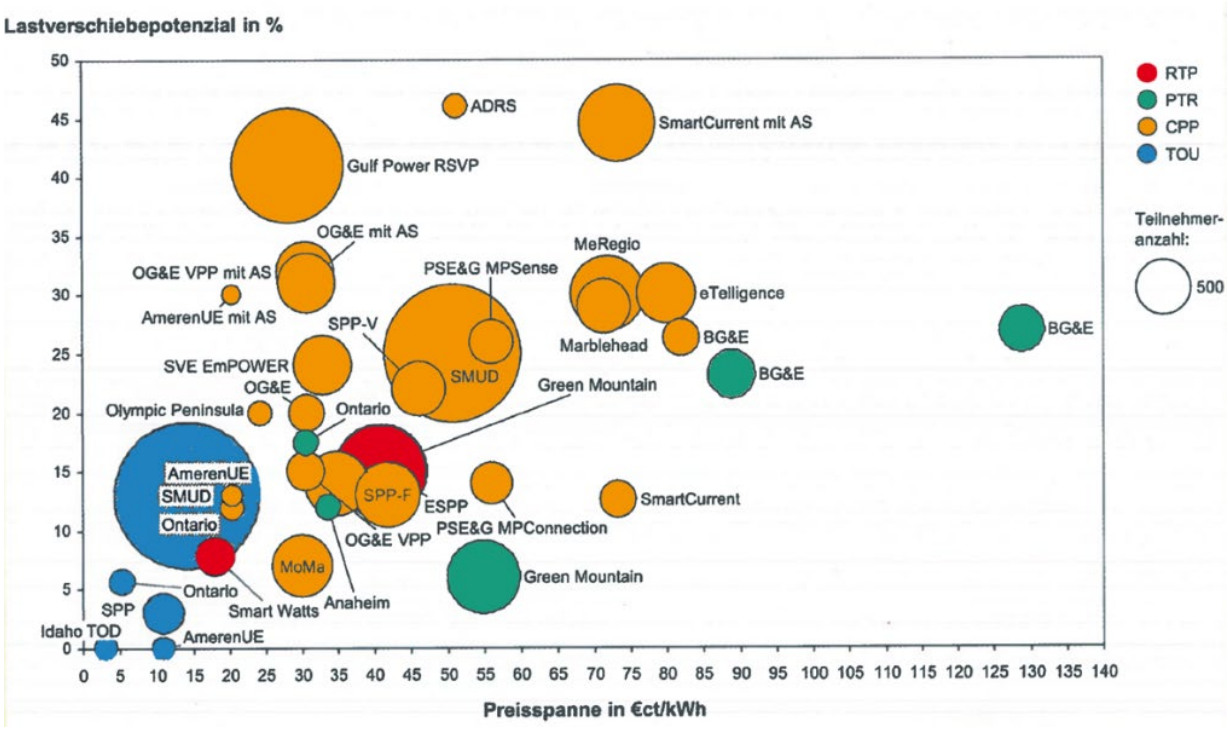


Bild 84:
Gemessene Lastverschiebepotenziale verschiedener Strompreistarife (TOU – Zeitvariabler Tarif; RTP – Dynamischer Tarif; PTR – Event Tarif (Bonus); CPP – Event Tarif (Malus)). Quelle: [Hinterstocker 2018]; Grafik bearbeitet durch Fraunhofer IBP.

Testanwendung

Im Rahmen einer Testanwendung der „Quartiers-App“ im Überlinger Demonstrationsquartier im Zeitraum 23.01.2023 bis 05.02.2023 wurde auch der „GridOptimizer“ den „Quartiers-App“-Nutzenden zur Verfügung gestellt. Zur Evaluierung des „GridOptimizers“ wurde ein Fragebogen entwickelt, mit dem die Erfahrungen der Bewohnerinnen und Bewohner des Quartiers Hildegardring/Schättlisberg in Überlingen eingeholt wurden. Der Fragebogen wurde am 22.12.2023 an die Test-Nutzenden der „Quartiers-App“ (insgesamt 14 Haushalte) durch die Baugenossenschaft Überlingen per Mail verschickt. Die Ergebnisse der Befragung sollten für eine Qualitätsverbesserung der App und eine Anpassung der zugrunde liegenden Rahmenbedingungen genutzt werden. Die Teilnehmer der Befragung hatten bis zum 10.01.2024 Zeit, den Fragebogen auszufüllen.

Der Fragebogen für die Evaluierung war wie folgt aufgebaut:

- Frage 1: Haben Sie den „GridOptimizer“ während des Testzeitraums vom 23.01.2023 – 05.02.23 genutzt?

  Antworten:

  - Ja (Ankreuzfeld)
  - Nein (Ankreuzfeld)

- Frage 2a: Welche Aussagen bzgl. der Benutzeroberfläche treffen Ihrer Meinung nach zu?

  Antworten:

  - Übersichtliche Darstellung, intuitive Bedienung (Ankreuzfeld)
  - Unüberschaubare Darstellung, schwierige Bedienung (Ankreuzfeld)
  - Sonstiges (Textfeld)

- Frage 2b: Warum haben Sie die App nicht genutzt?

  Antworten:

  - Fehlende Erklärung bzgl. der Bedienung der App (Ankreuzfeld)
  - Fehlende Hintergrundinformationen über die App (Ankreuzfeld)
  - Zu wenig freie Zeit für die Bedienung (Ankreuzfeld)
  - Sonstiges (Textfeld)

- Frage 3a: Wie häufig haben Sie die App im Testzeitraum genutzt?

  Antworten:

  - Einmalig (Ankreuzfeld)
  - Mehrfach im Testzeitraum (Ankreuzfeld)
  - Mehrfach täglich im Testzeitraum (Ankreuzfeld)

- Frage 3b: Welche Hintergrundinformationen wären hilfreich gewesen? Bitte beschreiben Sie diese in Ihren eigenen Worten.

  - (freies Textfeld)

- Frage 4: Haben Sie die in der App empfohlenen elektrischen Haushaltsgeräte (Wasch- und Spülmaschine) im vorgeschlagenen Zeitraum in Betrieb genommen?

  Antworten:

- Ja (Ankreuzfeld)
- Nein (Ankreuzfeld)

- Frage 4b: Bitte geben Sie Hintergründe an, warum Sie die Empfehlung nicht umgesetzt haben.

  Antworten:

  - Angegebene Uhrzeit ungeschickt (Ankreuzfeld)
  - Ich habe nicht mehr daran gedacht (Ankreuzfeld)
  - Ich habe ein anderes elektrisches Gerät in Betrieb genommen bspw. Backofen, Staubsauger, Herd (Ankreuzfeld)
  - Sonstiges (Textfeld)

- Frage 5: Unter welchen Voraussetzungen hätten Sie die App häufiger genutzt?

  Antworten:

  - Größerer Zeitraum der Vorhersage (Ankreuzfeld)
  - Finanzielle Anreize für Bezug von klimafreundlichem Strom (Ankreuzfeld)
  - Erinnerung durch Popup-Meldungen (Ankreuzfeld)
  - Sonstiges (Textfeld)

- Frage 6: Gibt es Besonderheiten, die Sie während des Testzeitraums festgestellt haben?
  - (freies Textfeld)

- Frage 7: Sofern wir Sie für weitere Frage kontaktieren dürfen, geben Sie nachfolgend ihre E-Mail-Adresse an.
  - (freies Textfeld)

In Bild 85 ist die Abfolge der Fragen zur Evaluierungsbefragung dargestellt. Die erste Frage dient als Filterfrage, um zu klären, ob der „GridOptimizer“ während des Testzeitraums genutzt wurde. Sofern der Nutzende die App nicht verwendet hat, wird erfragt, was die Gründe hierfür waren und welche zusätzlichen Informationen notwendig gewesen wären. Wurde die Filterfrage mit Ja beantwortet, wird in den folgenden Fragen die Bedienfreundlichkeit, die Nutzungshäufigkeit, die Auswirkung auf das Nutzungsverhalten und die Ursachen für ein abweichendes Verhalten erfasst. Zudem haben die Nutzenden die Möglichkeit, weiteres Feedback zum „GridOptimizer“ zu geben.

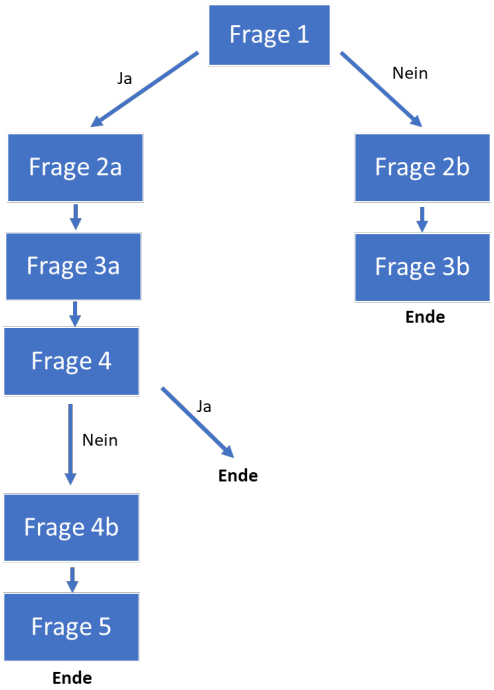


Bild 85:
Abfolge der zu beantwortenden Fragen im Evaluationsfragebogen zum „GridOptimizer“

2.14.3 Ergebnisse

Energiepreistarife für Quartiere

Um eine signifikante Lastverschiebung zu erreichen, ist ein flexibler Stromtarif erforderlich. Ziel eines solchen Tarifs ist es, die Rentabilität des „GridOptimizers“ zu unterstützen und die Nutzenden zusätzlich zu incentivieren, Empfehlungen des „GridOptimizers“ zu befolgen. Im Folgenden sind verschiedene Tarife aus der wissenschaftlichen Literatur dargestellt und hinsichtlich ihrer Effektivität bewertet. Basis der folgenden Ausführungen ist [Fridgen 2018]. In dieser Arbeit wird ein Stromtarif eines stromerzeugenden „residential microgrids“ mit Hilfe zweier Preisarten kategorisiert: Dem Strompreis des Verkaufs des selbst erzeugten Stroms und dem Strompreis des Bezugs von Strom aus dem Stromnetz. In Bild 86 ist dieser grundsätzliche Aufbau veranschaulicht.

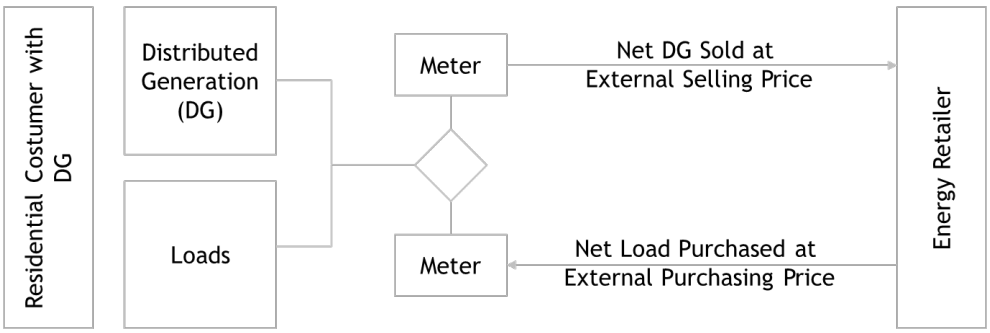


Bild 86:
Grundlegendes Prinzip von Strompreistarifen für „residential microgrids“ aus [Fridgen 2018].

Auf die Demoquartiere in Stuttgart und Überlingen ist Bild 86 nicht direkt übertragbar, da es bei Wohnquartieren nicht üblich ist, Strom an den Stromlieferanten zu verkaufen. Deshalb wird das Konzept des Mieterstroms im Folgenden als äquivalent betrachtet bzw. angewandt. Bei Mieterstrom beziehen die Mietenden sowohl Strom, der im Quartier selbst produziert wird, als auch Strom aus dem Netz in Zeiten, in denen nicht genügend selbsterzeugter Strom vorhanden ist. Der Anbieter von Mieterstrom verkauft den Mietenden sowohl den Strom, der im Quartier produziert wird, als auch den Strom, der aus dem Netz bezogen wird. Durch geringere Preise des Stroms aus eigener Erzeugung ist es für Mietende ohne Besitz einer eigenen Immobilie möglich, von der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen (ökonomisch) zu profitieren. Bild 86 lässt sich somit auf Wohnquartiere mit Mietwohnungen und Mieterstrom, wie in Bild 87 dargestellt, übertragen:

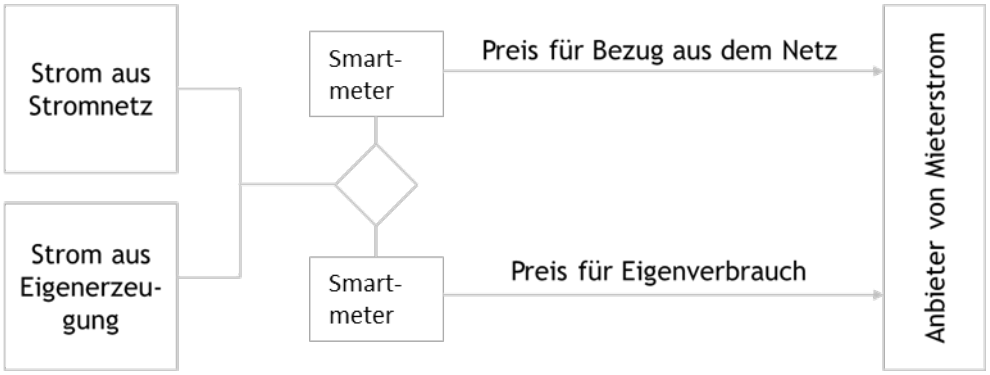


Bild 87:
Grundlegendes Prinzip von Strompreistarifen für Mieterstrom.

Der Unterschied zwischen Bild 86 und Bild 87 besteht im Preis für Eigenverbrauch in einem Mieterstromtarifmodell und dem Preis für die Einspeisung im allgemeinen Tarifmodell. Dennoch hängen die beiden Preise voneinander ab, da sich der Preis, den der Anbieter von Mieterstrom für den Eigenverbrauch im Wohnquartier verlangt, sich an den Preisen für die Einspeisung orientiert. Der Grund hierfür ist, dass der Anbieter von Mieterstrom den

Strom auch zu einem entsprechenden Preis hätte ins Netz einspeisen können. Der Preis für die Einspeisung im allgemeinen Tarifmodell zu Microgrids stellt somit Opportunitätskosten für den Anbieter von Mieterstrom dar und beeinflusst so den Preis für Eigenverbrauch im Mieterstrommodell. Auf Basis dieser Argumentation wird im Folgenden auf der Arbeit von [Fridgen 2018] aufgebaut, um verschiedene Tarifstrukturen miteinander zu vergleichen. Grundsätzlich wird in dynamische und statische, sowie in einheitliche und spezifische Preisstrukturen unterschieden. Dynamische und statische Betrachtungsweisen beziehen sich darauf, ob sich die Höhe des Strompreises dynamisch an variable Kosten in Verbindung mit der Strombeschaffung anpasst (dynamisch) oder nicht (statisch). Einheitliche und spezifische Betrachtungsweisen beziehen sich auf die Zusammensetzung des Strompreises aus den Kosten für Netzbezug und den Kosten für Eigenverbrauch. Bild 88 stellt grundsätzliche mögliche Strukturen für Mietstrompreismodelle in Wohnquartieren gegenüber.

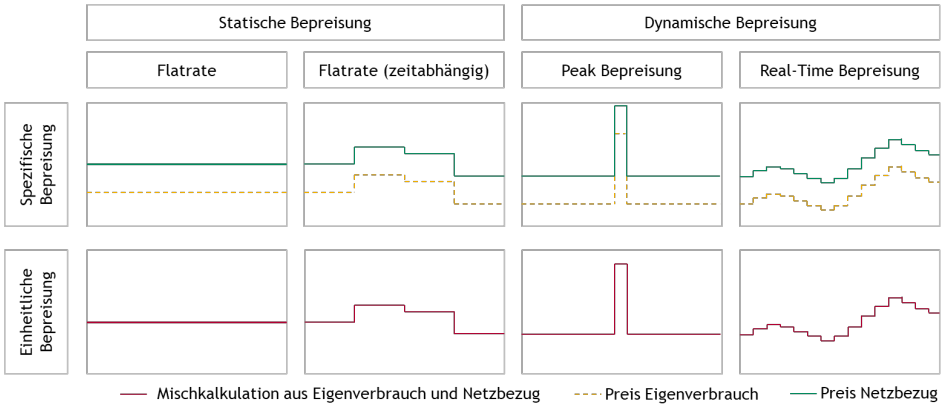


Bild 88:
Mögliche Mieterstrompreistarife in Anlehnung an [Fridgen 2018].

Für Tarifstrukturen in Zusammenhang mit Mieterstrom ergeben sich somit folgende Charakteristika:

- *Flatrate*: Der Strompreis ist zeitlich unabhängig und bleibt auf einem fixen Niveau.
- *Flatrate (zeitabhängig):* Der Strompreis ist in fixe Zeitfenster mit fixen Strompreisen unterteilt (z. B. Nachtstromtarif).
- *Peak Bepreisung:* Der Strompreis ist zeitlich unabhängig. Zusätzlich wird bei Peaks (Lastspitzen) ein Preisaufschlag erhoben.
- *Real-Time Bepreisung:* Der Strompreis ist vollständig abhängig von variablen Kosten wie den Preisen an der Strombörse und ändert sich entsprechend über die Zeit.

- *Spezifische Bepreisung:* Der Strompreis setzt sich zusammen aus einem Preis für Netzbezug und einem Preis für eigenerzeugtem Strom. Der Preis für Netzbezug liegt dabei über dem Preis für eigenerzeugtem Strom. Strom, der aus einem quartierseigenen Stromspeicher bezogen wird, erhält einen eigenen Strompreis, der in der Regel zwischen dem des eigenerzeugten und dem aus dem Netz bezogenen Stroms liegt.

- *Einheitliche Bepreisung:* Strombezug aus dem Netz und aus eigener Produktion wird vorab geschätzt. Mit Hilfe dieser Kalkulation wird ein einheitlicher Preis unabhängig von Eigenverbrauch oder Netzbezug bestimmt.

Es ist festzustellen, dass auf Grund der Tatsache, dass im Rahmen einer spezifischen Bepreisung der Verbrauch des selbst erzeugten Stroms günstiger ist als ein Bezug von Strom aus dem Netz, jeder Tarif mit spezifischer Bepreisung den Eigenverbrauch anreizt und somit zum Ziel der Maximierung des Eigenverbrauchs beiträgt. Um die Netzstabilität zu erhöhen, wofür besonders ungeplante Lastspitzen zu vermeiden sind, können dynamische Tarife Anreize setzen, um Lastspitzen zu glätten. Hierfür sind die Peak Bepreisung und die Real-Time Bepreisung besonders geeignet.

Im Demoquartier Überlingen wurde der Energiedienstleister Polarstern mit der Mieterstromversorgung beauftragt (vgl. [Polarstern 2020]). Die Umsetzbarkeit der oben beschriebenen Tarife wurde mit diesem erörtert. In der Diskussion zeigte sich, dass eine spezifische Bepreisung praktisch nicht umsetzbar ist, jedoch stattdessen eine einheitliche Flatrate-Bepreisung angeboten werden könnte. Hierfür wurden zwei zentrale Gründe angeführt: Erstens erfolgt die Abrechnung im Rahmen des Mieterstromtarifs automatisiert und digitalisiert. Die Software, die hier zum Einsatz kommt, wird auch in anderen Mieterstromprojekten verwendet. Eine Anpassung dieser Software zu Gunsten eines der oben genannten Tarife würde den Umfang des Projekts in Arbeitszeit und finanziellen Mitteln stark erhöhen. Ein zweiter Grund ist die Akzeptanz des Mieterstromtarifs bei den Mietenden. Die Erfahrungen in den vergangenen Jahren hat gezeigt, dass Mietende bei einem Stromtarif generell auf Transparenz und Einfachheit setzen. Komplexere Stromtarife führen dazu, dass Mietende bei der Wahl des Stromtarifs zögern und einen „einfacheren“ Stromtarif dem Mieterstrom-Tarif vorziehen.

Programmarchitektur

Um möglichst viele Haushalte in den beiden Projektquartieren zur Nutzung des „GridOptimizers“ zu gewinnen, wurde entschieden, den „GridOptimizer“ in die entwickelte „Quartiers-App“ einzubinden. Für die Integration des „GridOptimizers“ wird in der „Quartiers-App“ ein Bereich „Quartiersstrom“ angelegt, in dem die Prognosen für die Stromerzeugung und den Stromverbrauch im Quartier dargestellt werden und Notifications für die Anwender

abgesetzt werden. Zur Anbindung des „GridOptimizers“ an die „Quartiers-App“ wurden die notwendigen Schnittstellen definiert und eine Architektur des „GridOptimizers“ zwischen den Entwicklerteams abgestimmt (siehe Bild 89).

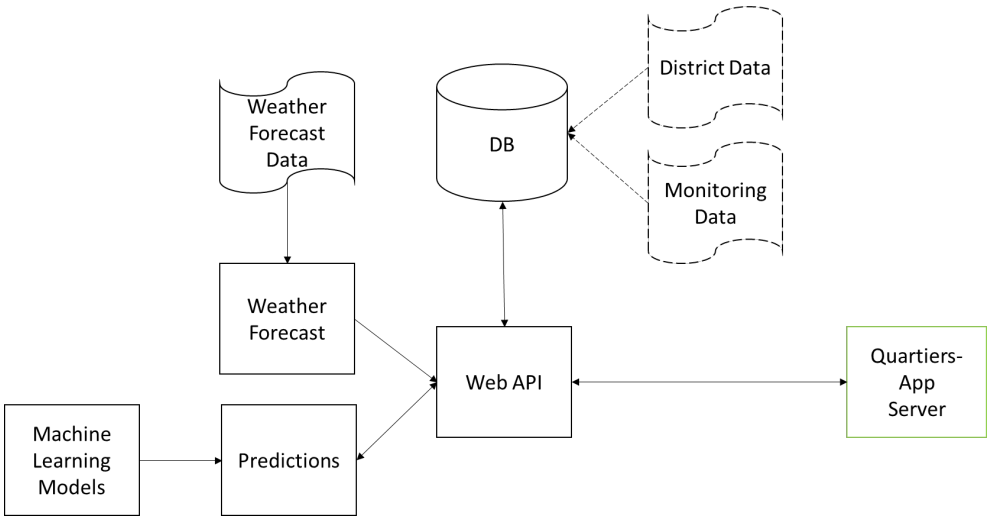


Bild 89:
Prinzipieller Aufbau des „GridOptimizers“.

Das zugehörige Datenbankmodell ist in Bild 90 dargestellt. Die Datenbank enthält alle für die Prognose relevanten Daten und umfasst Wetterdaten, Quartiersdaten, Energiemonitoringdaten, Prognosedaten, Notification-Daten und Nutzerfeedbackdaten. Die Datenhaltung erfolgt in einer relationalen Datenbank auf einem MS SQL Server in der Infrastruktur des Fraunhofer IBP. Auf die Datenbanktabellen können sowohl der „GridOptimizer“ als auch die „Quartiers-App“ zugreifen.

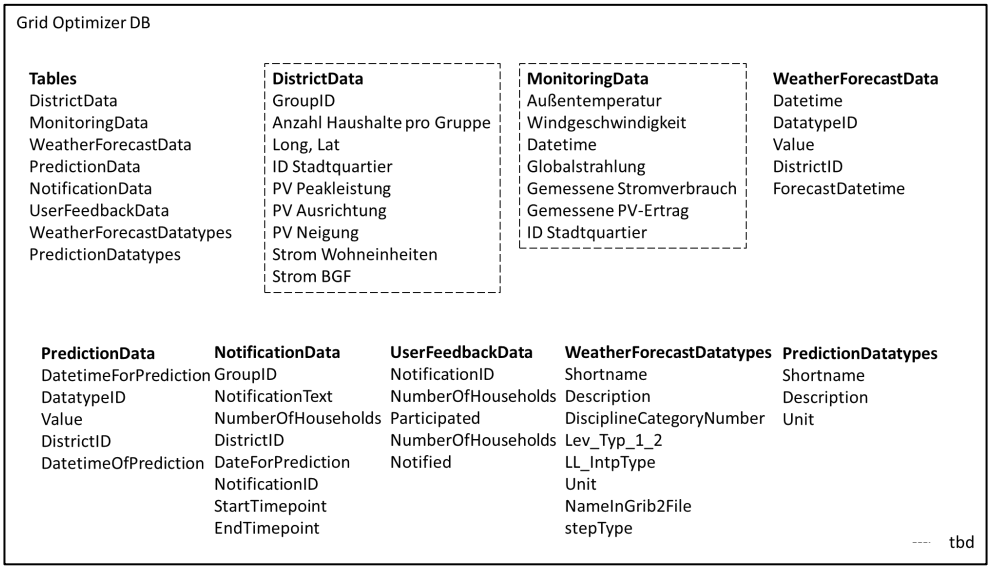


Bild 90:
Datenbankmodell des „GridOptimizers“.

Die Web API ist die Kernkomponente für die Kommunikation mit der Datenbank. Die API ist ebenfalls auf einem Fraunhofer IBP-Server aufgesetzt, implementiert eine REST Architektur und stellt einen Endpunkt dar. Die API fungiert als reibungslose Kommunikationsroutine zwischen „GridOptimizer“ und „Quartiers-App“. Die erforderlichen Befehle und die dazugehörige Dokumentation werden mittels Swagger UI (siehe Bild 91) aufbereitet.

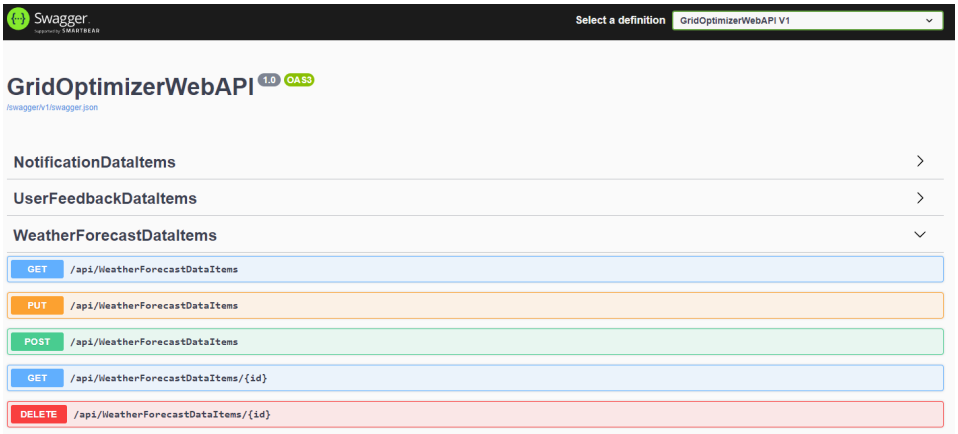


Bild 91:
Bildschirmfoto der Swagger UI für den Austausch zwischen „GridOptimizer“ und „Quartiers-App“.

Der Baustein für die Wetterprognose ist ein Dienst, der in der Fraunhofer IBP-Infrastruktur läuft. Hiermit werden die aktuellen Wettervorhersagedaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) täglich abgerufen, heruntergeladen, dekodiert, extrahiert und in die Datenbank gespeichert. Auch der Prognose-

Baustein ist ein Dienst in der Fraunhofer IBP-Infrastruktur. Einmal täglich ruft dieser die aktuellsten Wettervorhersagedaten ab, die zusammen mit den entsprechenden Quartiersdaten, dem Datum und der Uhrzeit den Input für das KI Modell darstellen. Die prognostizierten Daten sowie die Notification-Daten werden in den jeweiligen Datenbanken gespeichert und stehen dort via API für externe Applikationen (z. B. „Quartiers-App“) zur Verfügung.

Das Nutzenden-Feedback wird von der „Quartiers-App“ in der Datenbank „User Feedback“ abgelegt und steht dort für den „GridOptimizer“ zur Verfügung.

Selbstlernendes System

Die ursprüngliche Planung für die Entwicklung des „GridOptimizers“ sah vier separate KI-Modelle vor (siehe Bild 92).

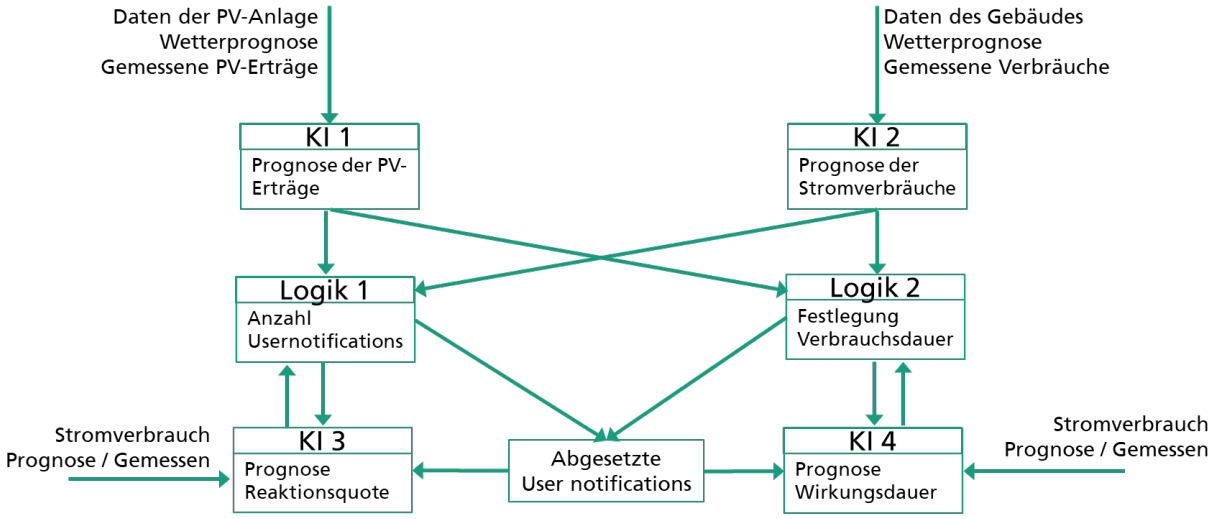


Bild 92:
Ursprünglich geplanter prinzipieller Aufbau des „GridOptimizers“.

Das KI-Modell 1 dient zur Prognose der PV Leistung und das KI-Modell 2 zur Prognose der Stromverbräuche in den Wohngebäuden. Mit den KI-Modellen 3 und 4 war vorgesehen, das Verhalten der Anwender zu untersuchen und zu prognostizieren. Da die notwendigen Daten der Nutzenden nicht in der benötigten Auflösung zur Verfügung gestellt werden konnten, konnte keine Verarbeitung der Rückmeldungen durchgeführt werden. Deshalb wurde der prinzipielle Aufbau wie in Bild 93 dargestellt angepasst.

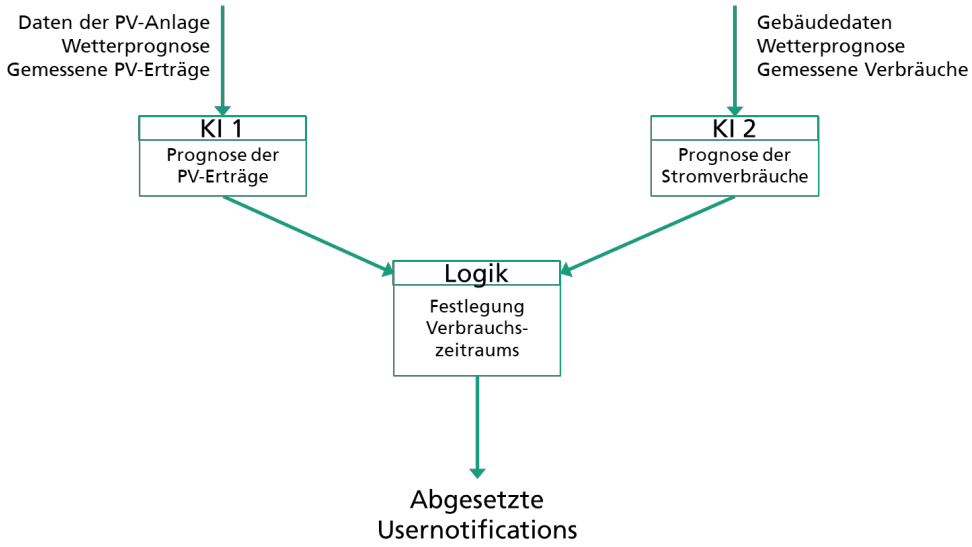


Bild 93:
An die neuen Rahmenbedingungen angepasster prinzipieller Aufbau des „GridOptimizers“.

Die zwei verbleibenden KI-Modelle zur Prognose des Stromverbrauchs und der PV-Erträge nutzen Regressionsalgorithmen (Decision Trees). Die Erstellung der Modelle wird mithilfe des Microsoft ML.NET Frameworks realisiert. Die Daten, die für das Training der Modelle benutzt werden, sind stündliche Werte. Die Inputdaten für die Prognose des PV-Ertrags (KI 1) umfassen Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Außentemperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung, Peak-Leistung, Ausrichtung, Neigung, Monat, Tag und Stunde. Um die KI einzulernen, werden vorhandene PV-Ertragsdaten aus einem EnEff:Stadt-Projekt [Fraunhofer IBP 2016] verwendet. Mit der trainierten KI wird anschließend der PV-Ertrag auf Basis von Testdaten prognostiziert. Mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 98 % und einem mittleren absoluten Fehler von 2,33, konnte eine hohe Genauigkeit erzielt werden. Als Parameter mit besonders hohen Einflüssen auf das Prognoseergebnis wurden die Globalstrahlung, die Peak-Leistung, die Tageszeit und die Ausrichtung der Anlage identifiziert (siehe Bild 94).

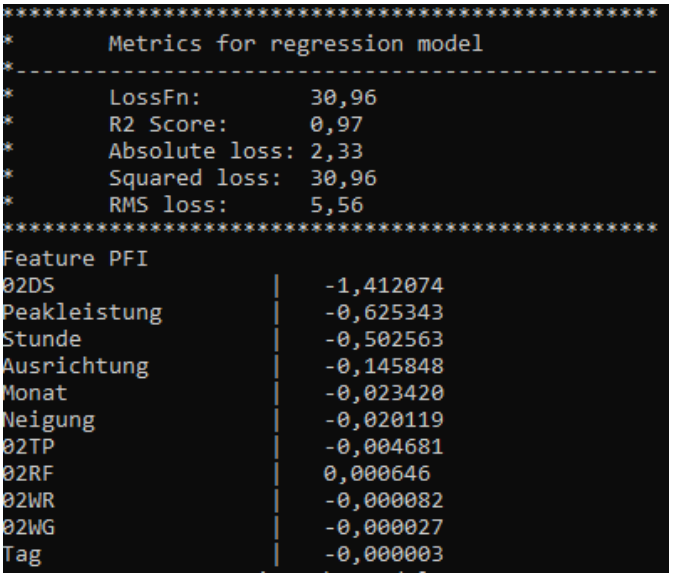


Bild 94:
Überprüfungsergebnis der Prognosegenauigkeit des PV-Ertrags im „GridOptimizer“.

Für die Prognose des Stromverbrauchs (KI 2) wurden als Input (Features) die Daten Wochentag, Monat, Wohneinheiten, Globalstrahlung, Außentemperatur, Stunde und Wohnfläche genutzt. Als Trainingsdaten für das Einlernen der KI wurden Stromverbrauchswerte im Messintervall von fünf Minuten von zwei EnEff:Stadt-Projekten [Fraunhofer IBP 2016], eines mit zwei Mehrfamilienhäusern mit 7 und 13 Wohneinheiten und ein zweites mit 64 Wohneinheiten, verwendet. Ergänzt wurden die Verbrauchswerte mit Wetterdaten zu Globalstrahlung, Außentemperatur und Windgeschwindigkeit. Mit diesen Lerndaten wurde die KI 2 eingelernt und die Prognosegenauigkeit anhand von Testdaten der drei gewählten Wohngebäude kontrolliert.

Die Auswertung der Prognosequalität hat teilweise erhebliche Abweichungen ergeben. Das Bestimmtheitsmaß lag bei $R^2 = 0,86$ (siehe Bild 95). Ursächlich hierfür sind Fehler und Lücken in den Messreihen sowie die hohe Auflösung des Stromverbrauchs in 5-Minuten-Intervallen. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass einzelne Parameter nur einen sehr geringen oder keinen Einfluss auf das Prognoseergebnis haben. Hierzu gehörten die Wohnfläche, der Monat und die Globalstrahlung. Unklar ist, ob dies durch die fehlerhaften Messdaten bedingt ist oder ob der Einfluss durch andere Parameter überlagert wird.

```
*************************************************
*       Metrics for Regression model
*------------------------------------------------
*       LossFn:        0,03
*       R2 Score:      0,86
*       Absolute loss: ,11
*       Squared loss:  ,03
*       RMS loss:      ,18
*************************************************
Feature PFI
Aussentemperatur     |   -1,415604
Stunde               |   -1,159541
Wochentag            |   -0,406875
Wohneinheiten        |   -0,024770
Globalstrahlung      |   -0,008635
Monat                |   -0,000748
BGF                  |   0,000000
```

Bild 95:
Überprüfungsergebnis der Prognosegenauigkeit des Stromverbrauchs vor Plausibilisierung der Messreihen.

Eine Bereinigung der Messreihen wurde anschließend durchgeführt und dabei Intervalle ohne bzw. mit fehlerhafter Messdatenerfassung entfernt. Hierfür wurden die Messdaten systematisch analysiert und Plausibilitätsgrenzen für den maximalen Stromverbrauch pro Stunde eingeführt. Beim Wohngebäude mit 7 WE liegt diese Obergrenze bei 7 kWh pro Stunde, beim Wohngebäude mit 13 WE bei 14 kWh pro Stunde und beim Wohngebäude mit 64 WE bei 30 kWh pro Stunde. Nach erneutem Einlernen der KI 2, die den Stromverbrauch der Wohngebäude prognostiziert, mit den korrigierten Messdaten, ergibt sich eine wesentlich bessere Prognosegenauigkeit, wie in Bild 96 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich das Bestimmtheitsmaß (R^2 = 92 %) nach der Korrektur der Lerndaten signifikant erhöht. Der mittlere absolute Fehler liegt nun bei 1,0.

```
*************************************************
*       Metrics for Regression model
*------------------------------------------------
*       LossFn:        2,46
*       R2 Score:      0,92
*       Absolute loss: 1
*       Squared loss:  2,46
*       RMS loss:      1,57
*************************************************
Feature PFI
Aussentemperatur     |   -1,463963
Stunde               |   -0,408449
Wohneinheiten        |   -0,024271
Globalstrahlung      |   -0,006479
Wochentag            |   -0,001433
Monat                |   0,000998
BGF                  |   0,000000
```

Bild 96:
Überprüfungsergebnis der Prognosegenauigkeit des Stromverbrauchs nach Plausibilisierung der Messreihen und erneutem Einlernen der KI 2.

Weiterhin hat die Außentemperatur gefolgt von der Tageszeit den größten Einfluss auf das Prognoseergebnis. Der Einfluss des Wochentags verliert nach Korrektur der Lerndaten an Bedeutung, während die Anzahl Wohneinheiten an Einfluss gewinnt. Die Bruttogeschossfläche und der Monat haben weiterhin einen geringen oder keinen Einfluss aufs Prognoseergebnis.

Wenn Messdaten aus den Projektgebieten in Stuttgart und Überlingen vorliegen, können die Lerndaten aktualisiert und die KI neu eingelernt werden. Das Einlernen der KI erfolgt manuell. Bis zum Projektabschluss konnten aufgrund von Verzögerungen im Bau und Bezug jedoch keine ausreichenden Messdaten zur Verfügung gestellt werden.

Integration der Wetterprognose

Die Wetterprognose ist ein wichtiger Bestandteil der Funktionalität des „GridOptimizers“. Dabei sind die Werte für die Solarstrahlung, Außentemperatur und Windgeschwindigkeit von besonderer Bedeutung. Als Datenquelle wird auf die Wetterprognosen des DWD mit dem Modell „ICON-D2“ zurückgegriffen. Die unter [DWD 2021-1] zur Verfügung gestellte Wetterprognose wird automatisiert abgerufen, die benötigten Werte für die beiden Quartiersstandorte in Stuttgart und Überlingen werden extrahiert und fortlaufend in einer Datenbank abgelegt und sind dort von der KI abrufbar.

Die Wetterprognosen des DWD werden im dreistündlichen Rhythmus (beginnend um 0:00 Uhr) veröffentlicht. Der Prognosezeitraum umfasst 48 Stunden. Für die Berechnung der KI wird die zu diesem Zeitpunkt aktuellste, auf dem Server des DWD vorliegende Wetterprognose abgefragt.

Zur Evaluierung der Wetterprognose wird am Standort Stuttgart die Prognose mit den gemessenen Daten der Wetterstation Stuttgart-Schnarrenberg des DWD [DWD 2021-2] verglichen. Die Evaluierung ist beispielhaft in Bild 97 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Prognose der Lufttemperatur für die dargestellten zwei Tage eine hohe Übereinstimmung aufweist, während die Abweichungen bei der Globalstrahlung größer ausfallen.

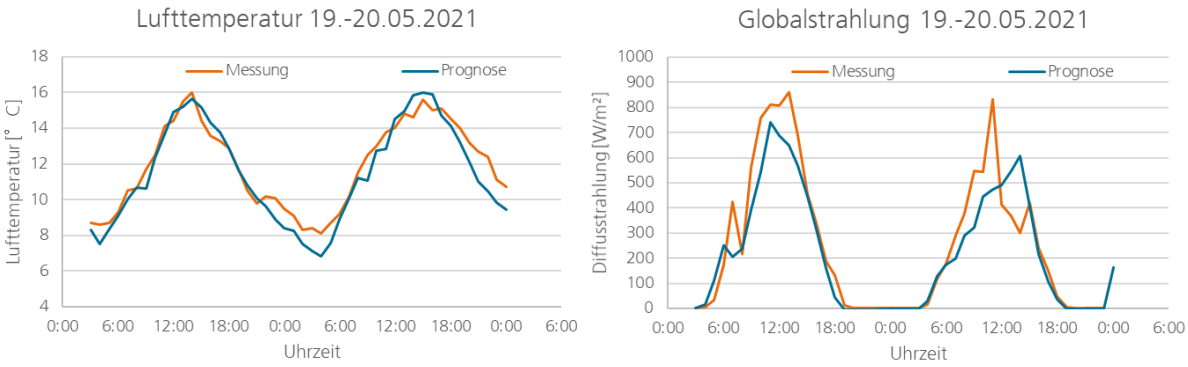


Bild 97:
Vergleich der Prognosen und Messungen am Standort Stuttgart-Schnarrenberg für die Lufttemperatur und die Globalstrahlung am 19. und 20.05.2021.

Definition der Nutzenden-Benachrichtigungen

Zur zielgruppenspezifischen Ansprache sollten die teilnehmenden Haushalte in den Demoprojekten anhand der für den „GridOptimizer“ relevanten Eigenschaften gruppiert werden. Als relevante Eigenschaften wurden identifiziert:

- die Haushaltsgröße (1: Single; 2: Paar; 3: Familie),
- Anwesenheitszeiten (1: tagsüber anwesend; 0: tagsüber abwesend)
- und die Ausstattung mit Elektrogroßgeräten (1: ein Großgerät; 2: zwei Großgeräte; 3: drei Großgeräte; 0: kein Großgerät).

Aus den Zahlencodes sollten Gruppenbezeichnungen gebildet werden, die die Haushaltseigenschaften beschreiben. So stände der Zahlencode 111 für einen Single-Haushalt, der tagsüber anwesend ist und ein großes Elektrogerät besitzt. Durch die Kombination der unterschiedlichen Eigenschaften ergäben sich 19 Haushaltsgruppen. Je nach prognostiziertem Energieertrag könnten verschiedene Haushaltsgruppen kontaktiert und zu einem veränderten Verbrauchsverhalten animiert werden. Für die jeweiligen Haushaltsgruppen sollten gruppenspezifische Notification-Texte übermittelt werden, mit dem Ziel, eine bestmögliche Beteiligung zu erzielen. Der Notification-Zeitpunkt könnte prinzipiell von den Nutzenden der „Quartiers-App“ definiert werden. In der Testversion wurde 18 Uhr als Zeitpunkt zur Benachrichtigung festgelegt.

Die oben beschriebene Aufteilung der Haushalte im Quartier in Untergruppen konnte in den Demoquartieren nicht umgesetzt werden, da seitens der lokalen Akteure Diskussionen innerhalb der Quartiersgemeinschaft befürchtet wurden, falls einzelne Personen eine Benachrichtigung erhalten und andere nicht. Um dem daraus potenziell entstehenden Gefühl einer Benachteiligung entgegen zu wirken und allen Haushalten zu jeder Zeit die Teilnahme

an eigenverbrauchserhöhenden Maßnahmen zu ermöglichen, wurde auf die Gruppierung verzichtet. Somit erhielten alle teilnehmenden Haushalte zum jeweiligen Zeitpunkt eine gleichlautende Nachricht. Beispiele für solche Benachrichtigungstexte sind:

- „Für morgen wird Sonnenschein vorhergesagt. Ein guter Zeitpunkt für die Spülmaschine ist zwischen 12 und 16 Uhr."
- „Spülmaschine anmachen und Klima schützen, kann ich. Morgen zwischen 12-16 Uhr."
- „Wäsche waschen und das Klima schützen. Morgen zwischen 13 und 15 Uhr geht beides."
- „Für morgen ist Regen und bedeckter Himmel vorhergesagt. Aber übermorgen lacht wieder die Sonne. Wenn Sie also klimaneutral die Spül- oder Waschmaschine betreiben wollen, dann können Sie das übermorgen zwischen 10 und 16 Uhr tun."

Um die Wirksamkeit der Empfehlungen zu überprüfen, erhalten die Nutzenden der „Quartiers-App" folgende Feedback-Frage: „Konnten Sie den gestrigen Hinweis nutzen? Wenn ja, wischen sie bitte nach rechts, ansonsten nach links." Durch die Implementierung der Wisch-Antwort entfällt das für die Nutzenden unter Umständen lästige zusätzliche Öffnen der App.

Benutzeroberfläche

Die ursprünglich geplante Benachrichtigung der Nutzenden via Push-Notification erwies sich in der Umsetzung als nicht praktikabel. Um die Push-Funktion mit einem vertretbaren Aufwand umsetzen zu können, müsste diese über die Firebase-Datenbank von Google abgesetzt werden. Dies führt jedoch zu datenschutzrechtlichen Problemen, da eine Verbindung der Datenbank der „Quartiers-App" mit dem Google-Dienst notwendig wäre. Außerdem wurde seitens der sozialwissenschaftlichen Begleitung die Befürchtung geäußert, dass durch die täglichen Push-Notifications ein Ermüdungs- und Störungseffekt bei den Nutzenden entstehen kann, welcher sich negativ auf die Teilnahmebereitschaft auswirken könnte. Um die Bewohnenden trotzdem mit den Benachrichtigungen des „GridOptimizers" zu erreichen, werden diese prominent auf der Startseite der „Quartiers-App" platziert. Wie dies in der „Quartiers-App" aussieht, ist in Bild 98 dargestellt.

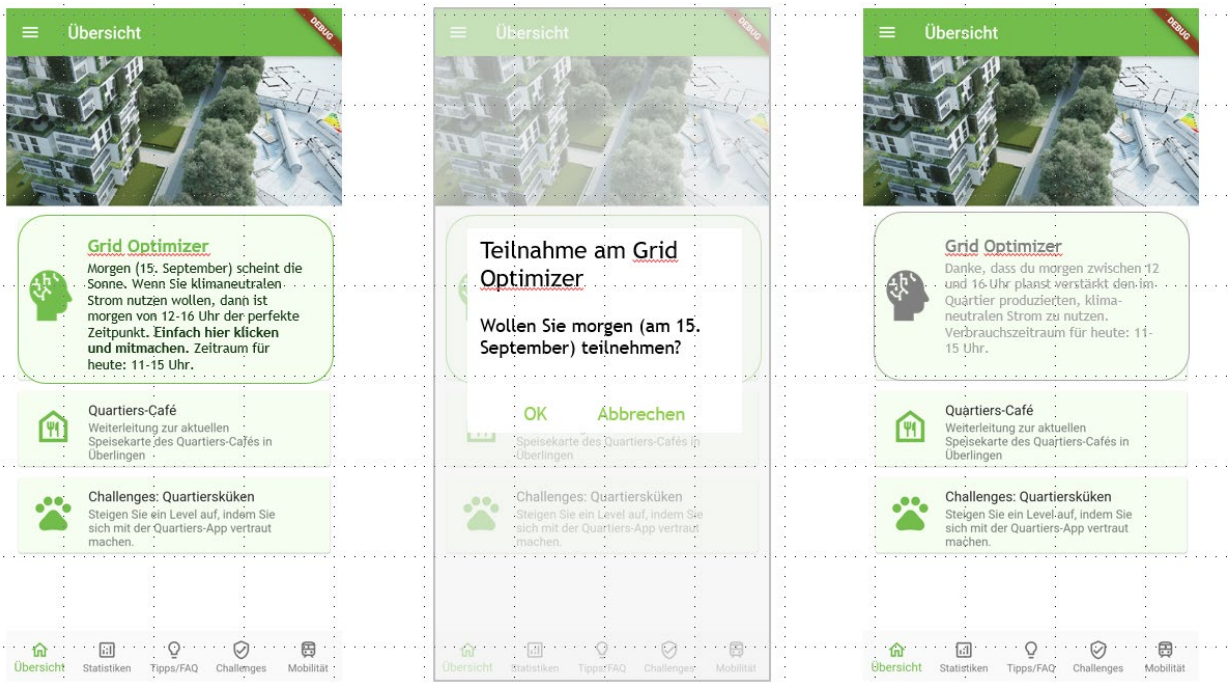


Bild 98:
Ablaufschema der Benachrichtigung des „GridOptimizers“ in der „Quartiers-App“ mit Rückmeldung der Teilnehmenden.

Um die Nutzenden der „Quartiers-App“ mit den „GridOptimizer“ vertraut zu machen, wird die Teilnahme an der täglichen „GridOptimizer“-Aufgabe bei einem dedizierten Level der Gamification-Komponente in der „Quartiers-App“ (siehe Kapitel 2.12) eingebaut und somit deren Nutzung angereizt.

Evaluierung der Testnutzung

Zwei der 14 angeschriebenen Haushalte, die die „Quartiers-App“ während der zweiwöchigen Testphase im Januar 2023 genutzt haben, nahmen an der Evaluationsbefragung zum „GridOptimizer“ teil. Einer der befragten Haushalte gab an, im Testzeitraum den „GridOptimizer“ verwendet und bewusst lokal erzeugten klimafreundlichen Strom verbraucht zu haben. Der zweite befragte Haushalt hat hingegen angegeben, dass im Testzeitraum keine Nutzung des „GridOptimizers“ erfolgte.

Vom Haushalt, der den „GridOptimizer“ während den Testphase ausprobiert hatte, wurde die Benutzeroberfläche als übersichtlich und die Bedienung als intuitiv bewertet. Die Häufigkeit der Nutzung wurde mit „einmalig“ angegeben, sodass die Qualität der Bewertung auf keinem häufigen Umgang mit der App beruht. Die stromintensiven Haushaltsgeräte wurden im empfohlenen Zeitraum in Betrieb genommen. Bemängelt wurde von diesem Haushalt, dass die App nur wenige Tage zur Testnutzung zur Verfügung stand.

Der zweite befragte Haushalt gab an, dass eine erklärende Einführung zu Nutzen und Funktionalität des „GridOptimizers“ hilfreich gewesen wäre. Ein Betrieb der stromintensiven Haushaltsgeräte zu Zeiten mit viel lokal erzeugtem PV-Strom erfolgte nicht. Der Haushalt gab an, dass finanzielle Anreize für den Bezug von klimafreundlichem Strom oder eine Erinnerung in Form einer Popup-Meldung seine Entscheidung zur Nutzung positiv beeinflusst hätte.

Aufgrund der geringen Anzahl an teilnehmenden Haushalten, sind die bisherigen Testergebnisse nicht ausreichend. Es wird daher empfohlen, vor einer Einführung des „GridOptimizers“ eine weitere, mehrwöchige Testphase durchzuführen, um die gewonnenen Erkenntnisse abzusichern.

Weiterführende Informationen:

- Software GridOptimizer [Fraunhofer IBP 2024-3]

2.15 Tool „Ökobilanz-Modul für den Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (District ECA)“

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer IBP

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Landeshauptstadt Stuttgart, Stadt Überlingen

2.15.1 Aufgabenstellung

Um Stadtplanern, kommunalen Entscheidern und Wohnungsbaugesellschaften eine Unterstützung bei der Konzeption von energieeffizienten Stadtquartieren in der frühen Planungsphase anzubieten, wurde vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik das Softwaretool Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (District ECA) entwickelt [Erhorn-Kluttig 2013]. Die Arbeiten starteten innerhalb der Begleitforschung EnEff:Stadt des BMWi [Erhorn 2010]. Weiterentwicklungen und eine Internationalisierung fand im Rahmen des IEA EBC Annex 51 [IEA EBC 2013] und des EU-Projekts MODER [Cordis 2022] statt. Zusätzlich wurde die Datengrundlage mit einer Berechnungsmöglichkeit von Energie- und Investitionskosten ergänzt. Im Vorhaben STADTQUARTIER 2050 sollte das Tool um einen einfachen Ökobilanz-Ansatz erweitert werden. Dies sollte den Nutzern ermöglichen, zusätzlich zum End- und Primärenergiebedarf auch die beinhaltete graue Energie von verschiedenen baulichen und versorgungstechnischen Varianten zu ermitteln, sowie Aussagen zu Treibhausgasemissionen zu treffen und richtige Entscheidungen auf dieser Grundlage zu fällen. Dabei wurde folgende Arbeitsschritte geplant:

- Erstellen einer Ökobilanzdatenbank zur Hinterlegung der Ökobilanzkennwerte von verschiedenen Energieeffizienztechnologien und Gebäuden.

- Erstellen von Ökobilanzmodellen für die im District ECA vorhandenen Typgebäude: parametrisierte Gebäudeökobilanzmodelle, so z. B. zu U-Werten passende Standardkonstruktionen für die Ökobilanzen hinterlegt sind.

- Erweiterung des Nutzerinterfaces für das Ökobilanzmodul des District ECA zur Auswahl des Bewertungsumfangs und zur Darstellung der Ökobilanzergebnisse.

- Softwaretest: Anhand der beiden Beispielquartiere sollte die Funktion und Anwendbarkeit der Software getestet werden.

2.15.2 Vorgehen

Das Vorgehen zur Implementierung des erweiterten Nutzerinterfaces gliederte sich in 5 Schritte.

- **Schritt 1** umfasste die Festlegung und das Mapping der notwendigen Datengrundlage „Ökobilanz“ in Abstimmung mit den definierten Anforderungen zur Erweiterung des Nutzerinterfaces. Auch vorhandene Wahl- und Einstellungsmöglichkeiten für die definierten Typgebäude des District ECA und die Konfiguration der Energieversorgungskonzepte wurden hier berücksichtigt. Hierbei wurden bereits Elemente und Bausteine priorisiert, die im Rahmen der Ökobilanz zwingend mit entsprechenden Hintergrunddaten, d. h. generischen Daten, abgebildet oder nicht realisiert werden.

- Im **Schritt 2** wurde die Datengrundlage „Ökobilanz“ vorbereitet. Hierzu wurden parametrische Ökobilanzmodelle sowohl in der Expertensoftware Sphera LCA for Experts [Sphera 2023] als auch im IBP-eigenen Tool zur Gebäudeökobilanz Generis® [Fraunhofer IBP 2024-4] aufgebaut. Die Modelle wurden für die verschiedenen Energieversorgungstechnologien (zentral/ dezentral) und die Typgebäude (über Typkonstruktionen) erstellt. Insgesamt sind hierbei ca. 20 verschiedene Gebäudemodelle entstanden, die mit mehr als 100 Typkonstruktionen abgebildet werden. Für die Energieversorgung wurden insgesamt ca. 30 Modelle erstellt.

- In **Schritt 3** wurden die Hintergrunddaten des Ökobilanzmoduls in Konsistenz mit den vorhandenen Kostendaten des District ECA für die Implementierung strukturiert. Zusätzliche Algorithmen und Vorgaben zur Berechnung eines Gesamtwertes für das Quartier wurden hier ebenfalls definiert sowie die funktionalen Anforderungen festgelegt.

- In **Schritt 4** erfolgte die technische Implementierung der Ökobilanzdaten in District ECA.

- Mit einem Software-Test (Proof-of-Concept) schließt die Implementierung des erweiterten Nutzerinterfaces in **Schritt 5** ab.

Workflow-Konzept

Das Ökobilanzmodul wurde in enger Verzahnung mit dem Arbeitspaket „Ökobilanzbewertung von Energiekonzepten (LCA)“ [Lenz 2024-1] erarbeitet und dort bereits die Umsetzung von Ökobilanz-Funktionalitäten im District ECA mit bedacht. Hierbei wurden die Anforderungen u. a. an ein mögliches Datenmodell, die Dateninhalte (Typgebäude, Anlagentechnik, Energiebedarfsberechnungen u. ä.) sowie die Datenstrukturen und -hierarchien zur Implementierung eines Ökobilanzmoduls festgelegt. Das Datenmodell deckt die Bereiche Quartier und Gebäude ab, um den vorrangigen energetischen Anforderungen des Planungstools District ECA gerecht zu werden.

Der Workflow und das übergeordnete Konzept zur Integration des Ökobilanzmoduls in District ECA ist in Bild 99 dargestellt. Informationen werden zwischen den IBP Tools District ECA [Fraunhofer IBP 2018] und Generis® [Fraunhofer IBP 2024-4] auf Ebene definierter Kostengruppen (gem. DIN 276 [Beuth 2018-2]) sowohl für die Baukonstruktion (KG 300) als auch die Technischen Anlagen (KG 400 bzw. KG 500) ausgetauscht. Gebäudeinformationen wie energetischer Standard (U-Wert), Gebäudetyp und Bauschwere wurden genutzt, um angepasste Umweltinformationen für die Baukonstruktion zu ermitteln und bereitzustellen (bspw. durch Variation der Dämmschichtdicke). Für die technischen Anlagen werden Informationen zum Anlagentyp (bspw. Wärmeerzeugung), den verwendeten Energieträgern bzw. Brennstoffen und technischen Leistungsangaben ausgetauscht, um passende Umweltinformationen für die Energieversorgung zur Verfügung zu stellen.

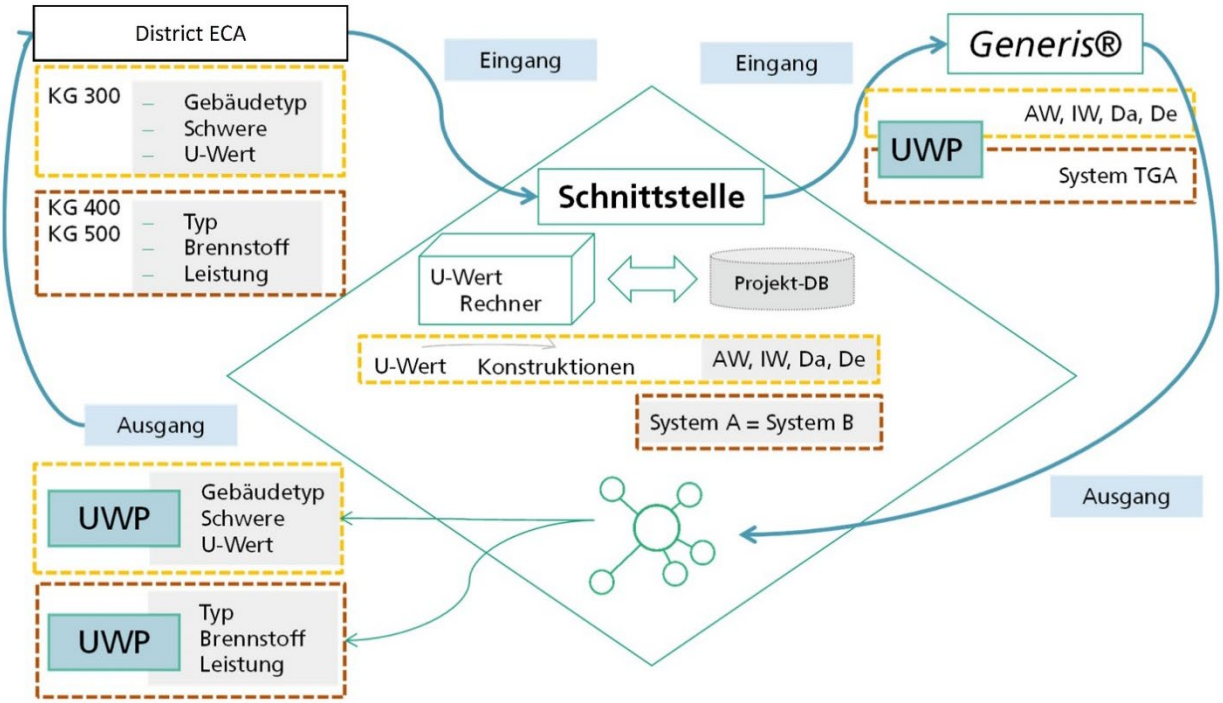


Bild 99:
Workflow zur Integration des Ökobilanzmoduls in District ECA. (Eigene Darstellung).

2.15.3 Ergebnisse

Umgesetzte Anforderungen

Die Definition und Festlegung von Anwendungsfällen (sogenannte Use Cases), der umzusetzenden Funktionalität wie notwendige Dateneingaben des Anwendenden, das Analyse-Level und der Detailgrad der Ökobilanz, etwaige Berechnungsalgorithmen aus Sicht der Quartiersökobilanz sowie die Visualisierung und Erläuterung von Ergebnissen für den Anwendenden werden nachfolgend erläutert. Sie stellen die grundlegenden Anforderungen dar, die an das erweiterte Nutzerinterface des Ökobilanzmoduls gestellt und umgesetzt wurden.

Die wesentliche Hauptanforderung, die durch das Ökobilanzmodul adressiert wird, ist die Nutzbarkeit in frühen Planungsphasen im Sinne eines Planungstools. Weder wird eine ökologische Nachweisführung im Sinne der Gebäudezertifizierung [DGNB 2023] und/oder Gebäudeförderung [BMWSB 2022] noch eine ökologische Optimierung im Detail durch das Ökobilanzmodul für den Planenden durch Anwendung des Ökobilanzmoduls möglich. Ausgehend von der Fragestellung „Was muss und soll die Analyse mit Hilfe der Ökobilanz im frühen Planungsstadium eines Quartieres zeigen?“ wurden daher funktionale Bausteine und Programmteile definiert, die die Perspektive

der Planenden widerspiegeln sollen. Sie ergibt sich aus einem Mapping von funktionalen Anforderungen aus Sicht der energetischen Stadtplanung (grau markierte Bausteine in Bild 100) und der Ökobilanz (blau markierte Bausteine).

Bild 100 zeigt die definierten Anwendungsfälle des Ökobilanzmoduls. Sie beschränken sich aus Sicht der Anforderung eines Planungstools auf das Ausweisen und Identifizieren des lebenszyklusbezogenen potenziellen Umweltbeitrages des Quartiers sowie auf Variantenvergleiche, um dadurch einen etwaigen lebenszyklusbezogenen konstruktiven ökologischen Mehraufwand abschätzen zu können, der beim Wunsch zur Zielerreichung einer Klimaneutralität [Braune 2020] über den gesamten Quartierslebenszyklus potenziell mitberücksichtigt und gegebenenfalls zusätzlich kompensiert werden muss.

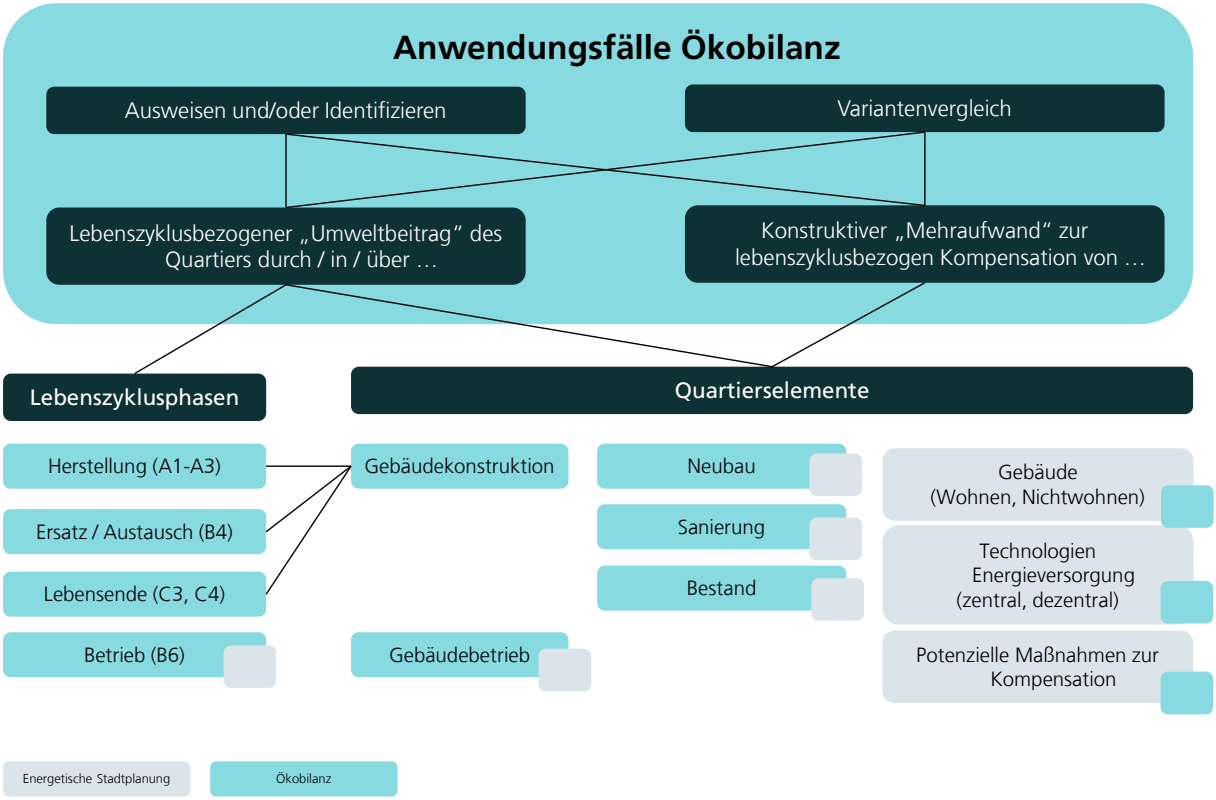


Bild 100:
Konzeptionierung der Bausteine zur Umsetzung der Anwendungsfälle der Ökobilanz im Ökobilanzmodul. (Eigene Darstellung).

Im Ökobilanzmodul kann der lebenszyklusbezogene potenzielle Umweltbeitrag, hervorgerufen durch verschiedene Quartierselemente, und der zusätzliche konstruktive Mehraufwand bei Erweiterung des Bilanzrahmens über den Gebäudebetrieb hinaus um Herstellung (A1-A3), Ersatz/Austausch (B4) und Lebensende (C3, C4) analysiert werden. Hierzu werden die Gebäude (Wohnen und Nichtwohnen), die Technologien der Energieversorgung (zentral und dezentral) sowie potenzielle Maßnahmen zur Kompensation aus

erneuerbaren Energien (PV) berücksichtigt. Das Ökobilanzmodul ermöglicht die Bewertung von Quartieren im Neubau, Sanierungs- und Bestandsstatus.

Bild 101 fasst die definierten und abgebildeten Analyse-Level sowie Anforderungen an die Hintergrunddaten zusammen. Im Sinne eines Planungstools unterstützt das erweiterte Nutzerinterface bei der Screening-Ökobilanz beziehungsweise bei einer vereinfachten ökologischen Analyse. Die einzelnen Elemente des zu bilanzierenden Energieversorgungskonzepts im Quartier werden im Sinne der Projektdefinition vollständig, wenn auch vereinfacht, abgebildet. Ökologische Hintergrundinformationen zu den Gebäuden und Technologien der Energieversorgung werden in Anlehnung an EN 15804+A1 [Beuth 2020] zur Verfügung gestellt und die Ökobilanz im Quartier in Anlehnung an EN 15978 [Beuth 2012] durchgeführt. Es werden weitestgehend generische Stellvertreter-Technologien für die Energieversorgung sowie Typgebäude beziehungsweise Typkonstruktionen genutzt. Für die Energieversorgung werden Hintergrunddaten zur Verfügung gestellt, welche die im District ECA definierte Bandbreite wiederspiegeln. Potenzielle Emissionen aus dem Gebäudebetrieb werden auf Grundlage der energetischen Stadtplanung umgesetzt und auf Basis der Gebäudevorgaben der DIN V 18599 ermittelt. Der Bilanzzeitraum wird in Anlehnung an die energetische Stadtplanung als Jahresbilanz gewählt, wobei die Ergebnisse der Quartiersökobilanz über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ermittelt werden. Da Nutzereingaben zur Gebäudefläche als auch zum Baujahr (und damit zu veränderten U-Werten für die Baukonstruktion) in District ECA möglich sind, werden diese Änderungen im Rahmen der Ökobilanz ebenfalls berücksichtigt.

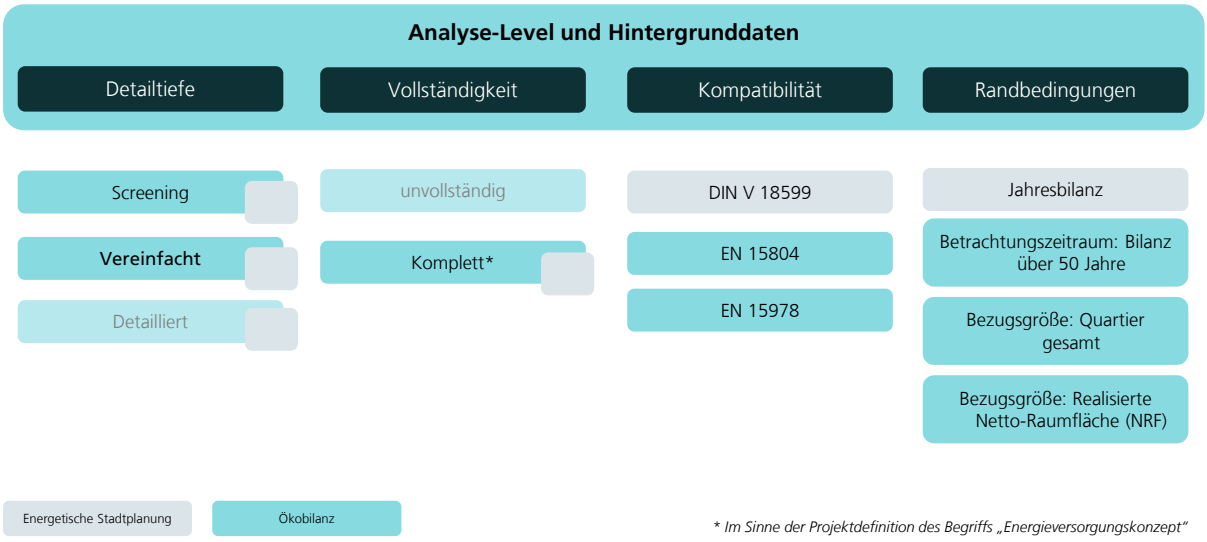


Bild 101:
Konzeptionierung der Bausteine zur Umsetzung von Analyse-Level und Anforderungen an Hintergrunddaten im Ökobilanzmodul. (Eigene Darstellung).

Bild 102 stellt die definierte Flexibilität der Analyse und Ergebnisdarstellung zur Visualisierung für das Ökobilanzmodul dar. Die seitens der ökologischen Analyse bereitgestellten Ergebnisse werden konsistent zur energetischen Bilanzierung zur Verfügung gestellt. Es werden Ergebnisse auf Basis der Jahresbilanz bereitgestellt, die einen spezifischen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für die Ökobilanz zu Grunde legen. Für die potenziellen Umweltwirkungen im Gebäudebetrieb werden die Ergebnisse in Anlehnung an die energetische Stadtplanung mit zeitlich unveränderlichem Ansatz (statisch) ermittelt. Es werden der Beitrag zum Klimawandel (GWP), angegeben in kg CO_2-äquivalenten Emissionen und der Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT), angegeben in MJ, visualisiert.

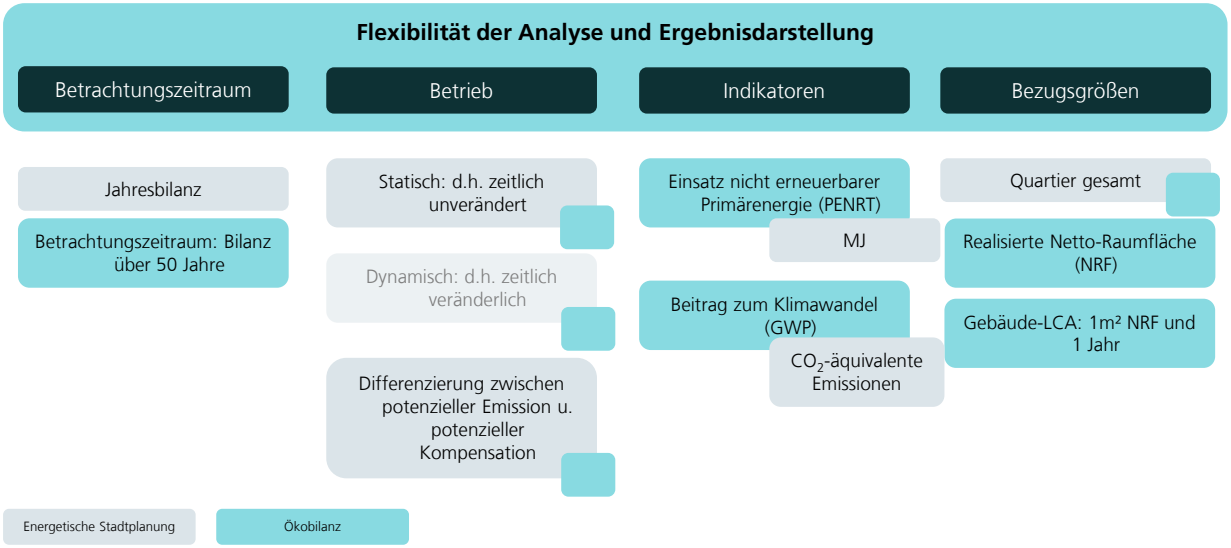


Bild 102:
Konzeptionierung der Bausteine zur Umsetzung von Flexibilität der Analyse und Ergebnisdarstellung im Ökobilanzmodul. (Eigene Darstellung).

Im nachfolgenden Bild 103 werden die im Ökobilanzmodul umgesetzten Varianten der Ergebnisdarstellung im erweiterten Nutzerinterface erläutert.

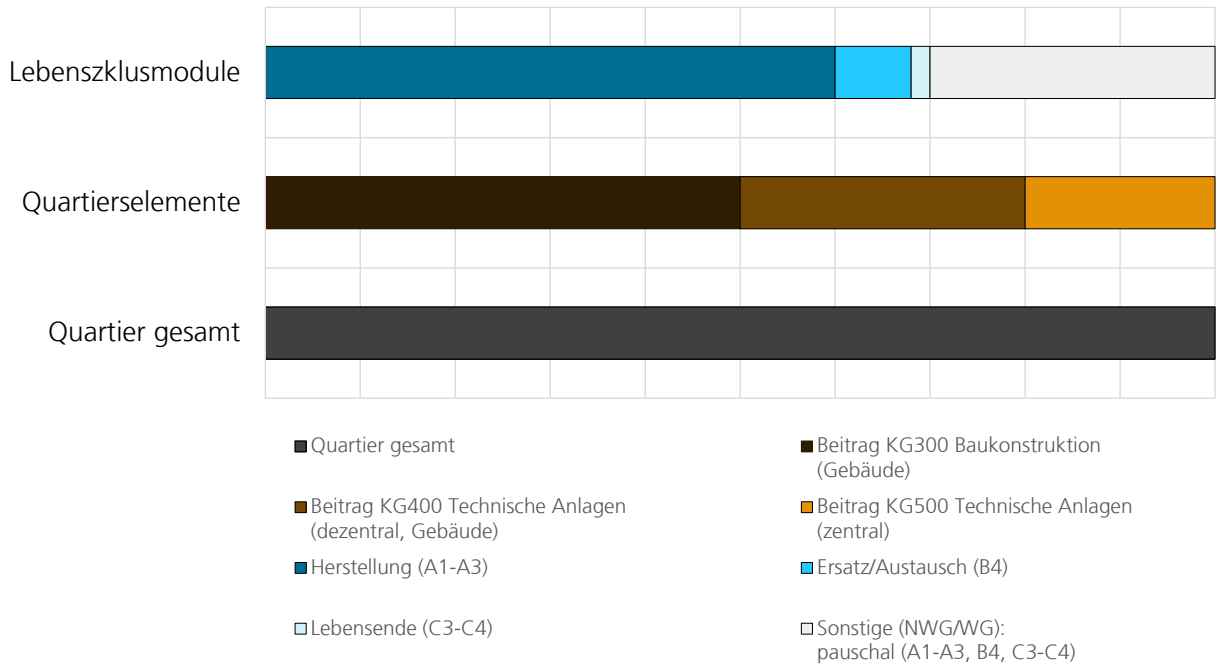


Bild 103:
Schematische Darstellung der Visualisierung von Ergebnissen in der Maske „Nachhaltigkeitsbewertung“ für die konstruktiven Aspekte – nach Elementen des Quartiers am Beispiel eines mischgenutzten Quartiers. (Eigene Darstellung).

Zum einen werden die Ergebnisse der Ökobilanz für konstruktive Aspekte des Quartiers, d. h. für den Materialeinsatz für Gebäude und Technische Anlagen im Quartier – neben dem für den Gebäudebetrieb erforderlichen Materialeinsatz – über den Lebenszyklus als absoluter Gesamtwert ausgewiesen. Weiterhin wird differenziert nach den Beiträgen der einzelnen Bausteine des Quartiers: KG300 Baukonstruktion (Gebäude), KG400 Technische Anlagen (dezentral, Gebäude), KG500 Technische Anlagen (zentral). Zum anderen wird für den Gesamtwert nach den Beiträgen der einzelnen Lebenszyklusmodule unterschieden: Herstellung (A1-A3), Ersatz/Austausch (B4) und Lebensende (C3-C4). Die Unterscheidung nach Lebenszyklusmodulen ist nur für die Wohngebäude (WG) in District ECA umgesetzt. Auf Grund der fehlenden Verfügbarkeit und vorhandenen Struktur von Hintergrunddaten zur Ökobilanz für Nichtwohngebäude für die Kostengruppe KG300 Baukonstruktion, können diese nicht nach Lebenszyklusmodulen differenziert werden. Für die Nichtwohngebäude (NWG) wird nur ein aggregierter Wert aus den Lebenszyklusmodulen ausgewiesen und visualisiert (Wert „Sonstige NWG/WG“).

Umgang mit Neubau, Bestand und Sanierung

Das Planungstool District ECA bietet für die energetische Quartiersanalyse einen großen und breiten Variantenraum, der neben der Bewertung von Bestands- und Neubauquartieren auch Sanierungstätigkeiten abbilden lässt. Die hinter der energetischen Analyse liegende Bewertungslogik ist in allen drei Anwendungsfällen (Bestand, Sanierung, Neubau) ähnlich. Für die ökologische Analyse muss an dieser Stelle allerdings differenziert werden, wie nachfolgend erläutert:

- **Umgang mit Bestand:** Für Bestandsquartiere und vorhandene Energieversorgungskonzepte ist der Beitrag durch konstruktive Aspekte im Rahmen der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung definitionsgemäß „Null". Es erfolgt auch keine teilweise Anrechnung. Es werden nur die CO_2-äquivalenten Emissionen ermittelt, die im Rahmen des Gebäudebetriebs anfallen.

- **Umgang mit Neubau:** Es werden alle konstruktiven Elemente des Quartiers und des jeweiligen Energieversorgungskonzepts im Sinne der Bilanzgrenzen bilanziert und vollständig angerechnet. Die Bewertungslogik für konstruktive Aspekte berücksichtigt hier den sogenannten „Bau auf der grünen Wiese".

- **Umgang mit Sanierung:** Für den Fall einer Sanierung wird eine vereinfachte DELTA-Betrachtung durchgeführt (Bild 104). Hierzu wird das Quartier im Ausgangszustand (vorher) und mit Maßnahmenpaketen (nachher) als fiktiver Neubau bilanziert. Im Anschluss erfolgt die Delta-Bildung zwischen beiden Quartierszuständen für den Ausweis der potenziell mit der Sanierungsoption verbundenen konstruktiven ökologischen Umweltwirkungen. Für die DELTA-Bildung sind die Hintergrunddaten des Ökobilanzmoduls entsprechend vorbereitet. Eine Ausnahme stellen die Nichtwohngebäude dar. Statt einer DELTA-Bildung für die Kostengruppe KG300 Baukonstruktion werden Pauschalwerte für Neubau und Sanierung nach Vorgaben aus der Gebäudeförderung [BMWSB 2022] angesetzt, da hier eine abgestufte Datengrundlage fehlt, wie sie bei den Wohngebäuden gegeben ist. Im Falle der Energieversorgung (zentral und dezentral) findet ebenfalls keine Delta-Bildung statt, da die bereitgestellten Ökobilanzdaten und deren Verknüpfung in District ECA nicht nach Bestand und Neubau differenziert werden können. Vereinfacht ist daher ein kompletter Tausch der Erzeugertechnologien (Strom, Wärme, Kälte, Lüftung etc.) berücksichtigt.

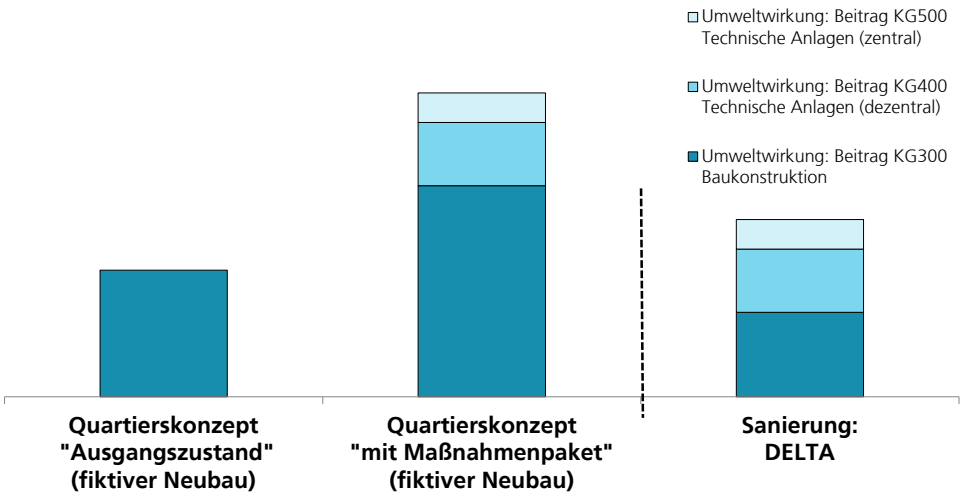


Bild 104:
Schematische Darstellung der Logik zur Ökobilanz im Quartier im Falle „Sanierung“. (Eigene Darstellung).

Umgang mit dem Gebäudebetrieb

Die Eingangsdaten für die Bilanzierung des Gebäudebetriebs (Modul B6) werden direkt im District ECA und gemäß zu Grunde liegender Methodik der DIN V 18599 [Beuth 2018-1] ermittelt. Hierzu zählen u. a. Energiebedarfswerte für Strom, Wärme, Kälte als auch für die jährliche Energieproduktion bei Nutzung von Photovoltaik und Windkraft. Die so ermittelten Energiebedarfswerte werden mit den gemäß DIN V 18599 anzusetzenden Faktoren für die Ermittlung der CO_2-äquivalenten Emissionen verrechnet und im District ECA unter dem Reiter „Energieberechnung“ geführt. Die Faktoren gemäß DIN V 18599 basieren auf dem Rechenmodell von GEMIS [IINAS 2024]. Sie müssen von den Ökobilanzergebnissen für konstruktive Aspekte des Quartiers differenziert werden, da hier nicht zwingend Kongruenz und Deckungsgleichheit im methodischen Ansatz der verwendeten Faktoren und Hintergrunddaten gegeben ist.

Typgebäude und Typkonstruktionen (KG300 Baukonstruktion)

Der District ECA stellt dem Anwendenden sechs verschiedene Typgebäude in der Kategorie „Wohnen“ und 26 verschiedene Typgebäude in der Kategorie „Nichtwohnen“ für die Analyse zur Verfügung. Zusätzlich wird in jeder Kategorie ein sogenannter „Offener Typ“ angeboten. Für den Aufbau der zugehörigen Gebäudemodelle und die Integration von Ökobilanzkennwerten für diese Typgebäude sind maßgebliche Einstellungen im District ECA:

- der Gebäudetyp,
- die Nettogrundfläche (Nettoraumfläche) (nach DIN 277, [Beuth 2021-3]),
- das Baujahr bzw. der Dämmstandard und
- die Gebäudeschwere.

Der Aufbau der Gebäudemodelle orientiert sich am definierten Detailgrad der Analyse, der mit der Möglichkeit zum „Screening“ beziehungsweise einer „vereinfachten Analyse“ festgelegt ist. Für die Gebäudeschwere werden in der erweiterten Nutzeroberfläche drei verschiedene Ausführungen umgesetzt: eine schwere und eine leichte Bauweise sowie ein Mix (Durchschnitt aus schwerer und leichter Bauweise). Für das Baujahr beziehungsweise den Dämmstandard bietet der District ECA 13 verschiedene Möglichkeiten an. Jedes Baujahr beziehungsweise jeder Dämmstandard verknüpft dabei definierte Vorgaben für die thermische Qualität (U-Werte) der energetisch relevanten Bauteile des Gebäudes im Hintergrund des District ECA. In der erweiterten Oberfläche werden zusätzlich der EH100, der EH55 und der EH40 Standard implementiert. Bei Berücksichtigung der Abbildung aller Kombinationen aus Gebäudetyp (Anzahl 32), Baujahr (Anzahl 13) und Gebäudeschwere (Anzahl 3) wären 32 x 13 x 3 = 1.248 verschiedene Gebäudemodelle umzusetzen. Die Typgebäude für Wohnen können aufgrund einer detaillierten Datengrundlage in dieser Kombinatorik für die Abbildung der konstruktiven Aspekte im Ökobilanzmodul umgesetzt werden. Die Nichtwohngebäude werden aufgrund fehlender Datenbasis und fehlender Möglichkeit zur plausiblen Verknüpfung verschiedener Datenquellen nur mit einem Pauschalansatz abgebildet.

Gebäudetyp Wohnen: Es werden drei verschiedene Varianten umgesetzt: schwere Bauweise (massiv), leichte Bauweise (leicht) und ein Mix (Durchschnitt aus schwer und leicht). Hierfür wurden Typkonstruktionen abgeleitet und als Hintergrunddaten in den District ECA angebunden, welche die vollständige Bandbreite der Baujahreswahl beziehungsweise der Wahl des Dämmstandards abbilden. Die hierfür hinterlegten Baustoffe wurden auf Basis der Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff (Lange Reihen ab 2000) aus Destatis [destatis 2020] abgeleitet und hierfür die in Destatis verwendeten Gebäudekategorien den District ECA Typgebäuden zugeordnet. Es werden die Zeitreihen der letzten zehn Jahre für Wohngebäude nach überwiegend verwendetem Baustoff für Neubaufertigstellungen in 1.000 m³ umbautem Raum herangezogen.

- Kleine Wohngebäude (Wohngebäude mit 1 oder 2 WE): Es werden die District ECA Typgebäude EFH, EFHL und RH zugeordnet. Als tragender und stellvertretender Baustoff wird im Fall der schweren Bauweise Ziegel gewählt – im Fall der leichten Bauweise Holz. Die Anteile zur Bildung

einer Durchschnittskonstruktion (Mix) werden mit 80 % schwer und 20 % leicht angenommen.

- Große Wohngebäude (Wohngebäude mit 3 WE oder mehr): Es werden die District ECA Typgebäude MFH, MFH-Block und HH zugeordnet. Als tragender und stellvertretender Baustoff wird im Fall der schweren Bauweise Stahlbeton gewählt – im Fall der leichten Bauweise Holz. Die Anteile zur Bildung einer Durchschnittskonstruktion (Mix) werden mit 98 % schwer und 2 % leicht angenommen.

- Offener Gebäudetyp: In Anlehnung an die kleinen Wohngebäude, wird als tragender und stellvertretender Baustoff im Fall der schweren Bauweise Ziegel gewählt – im Fall der leichten Bauweise Holz. Die Anteile zur Bildung einer Durchschnittskonstruktion (Mix) werden mit 86 % schwer und 14 % leicht angenommen.

Nachfolgend wird die Bandbreite der Ökobilanzkennwerte am Beispiel des energetisch relevanten Bauteils Außenwand (Bild 105) im Fall des Typgebäudes EFH visualisiert. Mit erhöhtem Dämmstandard (und damit zunehmen-dem Baualter) wird der zusätzliche Materialaufwand durch erhöhte potenzielle Umweltwirkungen ersichtlich. Des Weiteren werden Unterschiede in Bezug auf die Materialwahl deutlich, wie sie vom Anwendenden in der erweiterten Benutzeroberfläche in einem vereinfachten Verfahren durch Auswahl der Gebäudeschwere mit berücksichtigt werden können.

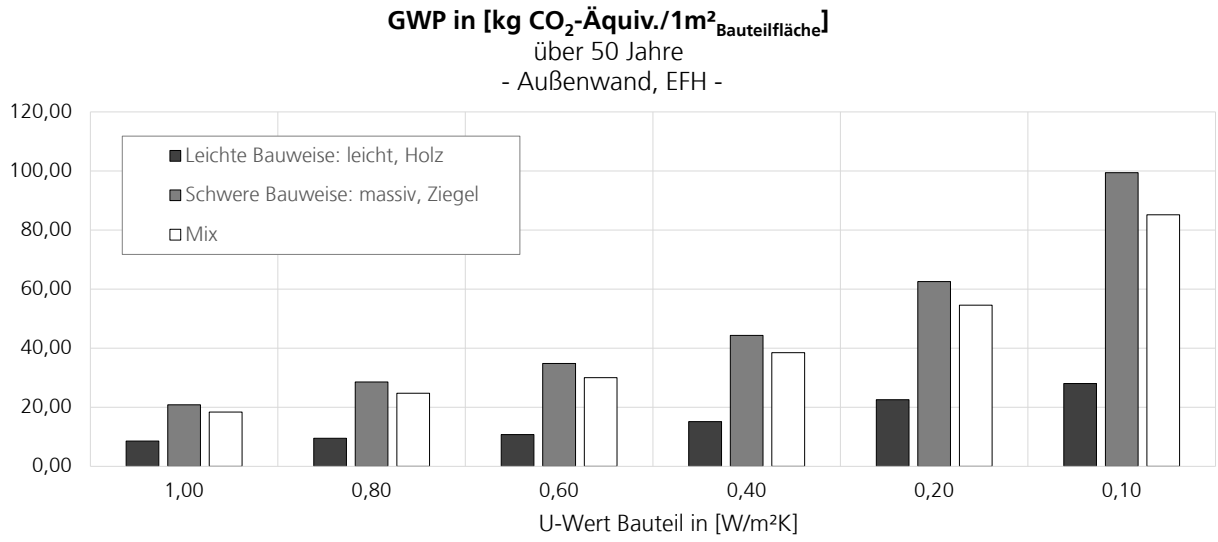


Bild 105:
Typkonstruktionen Außenwand (AW) für EFH, differenziert nach U-Wert-Randbedingungen District ECA – GWP je Bauteilfläche und Jahr. (Eigene Darstellung).

Schließen von Datenlücken für Innenbauteile (Wohnen): Unter Zuhilfenahme des Baukosteninformationssystems BKI [BKI 2022] wurden Datenlücken für die Innenbauteile (Innenwände und Geschossdecken) mit Hilfe

eines vereinfachten statistischen Ansatzes über die Auswahl passender BKI-Gebäude geschlossen. Hierzu wurden die BKI-Gebäudetypologien zunächst den im District ECA verwendeten Typgebäuden zugeordnet. Im Anschluss wurden aus den jeweiligen BKI-Gebäudetypologien Gebäudeobjekte ausgewählt, die Kosteninformationen auf der 3. Ebene der DIN 276 [Beuth 2018-2] zur Verfügung stellen. Über die Relation der Kosteninformationen in den einzelnen Kostengruppenpositionen der DIN 276 konnte so auf vorhandene Bauteilflächen rückgeschlossen werden. Abschließend wurden die so abgeleiteten Bauteilflächen und Objektinformationen genutzt, um Trendlinien (einfache lineare Regression) abzuleiten. Bild 106 zeigt die Ableitung der Bauteilflächen für Innenwände beispielhaft anhand der District ECA Typgebäude „EFH“ beziehungsweise „EFHL“. Es wurden 130 Objekte des BKI als repräsentativ und geeignet identifiziert. Das Streudiagramm zeigt bereits die hohe Bandbreite und Varianz in der potenziellen Größe der Innenwandfläche in Abhängigkeit der Nettoraumfläche (NRF). Die gewählte einfach lineare Regression zur Schließung der Datenlücke „Innenwandfläche“ stellt eine Abschätzung dar. Dieser Ansatz, der unter hohem manueller Aufwand für das Projekt exemplifiziert wurde, ist im Sinne der Funktionalität des District ECA, das als Planungstool auch in frühen Planungsphasen einsetzbar sein soll, plausibel.

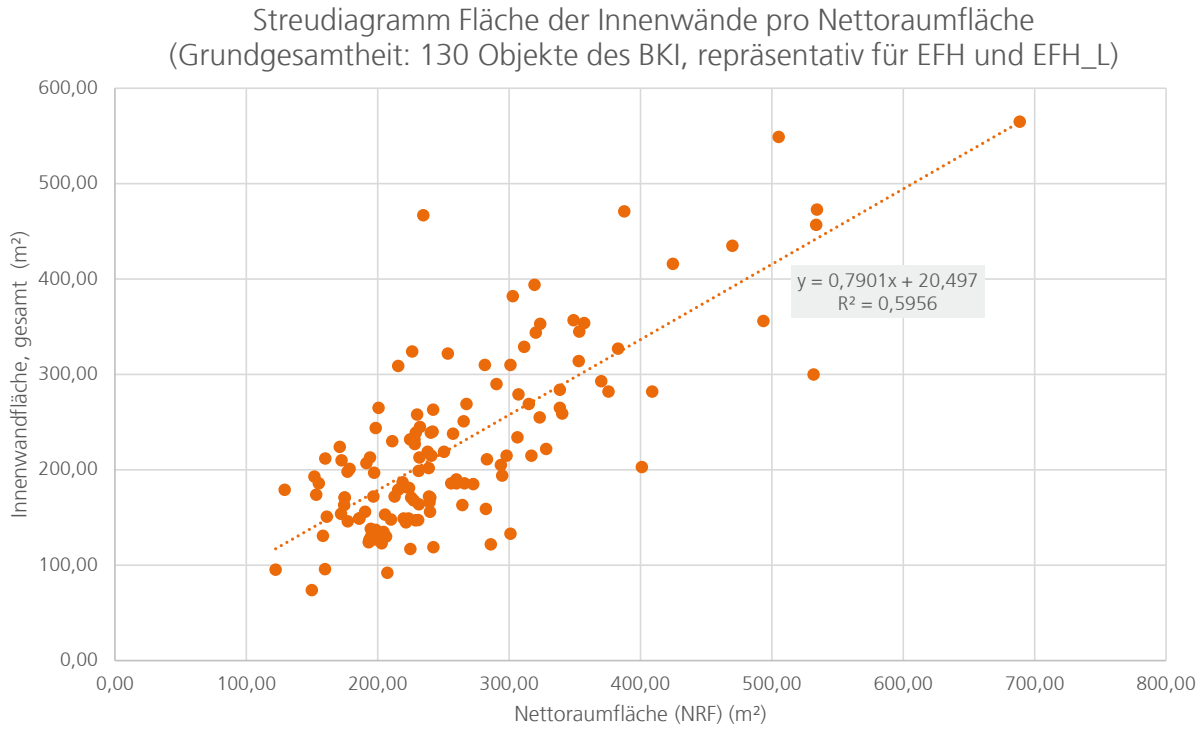


Bild 106:
Ableitung von Bauteilflächen für die District ECA Typgebäude Wohnen am Beispiel Innenwände und Typgebäude EFH und EFH_L. (Eigene Darstellung).

Ausgewählte Ergebnisse Gebäudeökobilanz (Wohnen): Unter Anwendung der definierten Typkonstruktionen zeigt Bild 107 eine potenzielle Bandbreite an Ergebnissen für die Gebäudeökobilanz am Beispiel der District ECA Typgebäude Wohnen in schwerer Bauweise. Hierzu wird das Gebäude vereinfacht in einer fiktiven, niedrigsten thermischen Qualität der Gebäudehülle (hellblauer Balken) und in einer fiktiven, höchsten thermischen Qualität (dunkelblauer Balken) bilanziert. Der Zusatz fiktiv impliziert, dass in der Realität im Gebäude sowohl Bauteile mit niedriger als auch mit hoher thermischer Qualität vorgefunden werden. Die folgenden Bauteile, die dem Ökobilanzdatenbedarf des District ECA für Typkonstruktionen entsprechen, werden für diese vereinfachte Darstellung berücksichtigt: Bodenplatte (KG320), Kellerwand (KG330), Außenwand (KG330), Fenster (KG330), Wand zu unbeheizt (KG330), Dach (KG360), Dach zu unbeheizt (KG350), Kellerdecke (KG350). Gründung (KG320), Innenwände (KG340) und Sonstige Geschossdecken (KG350). Treppen wurden ebenfalls berücksichtigt.

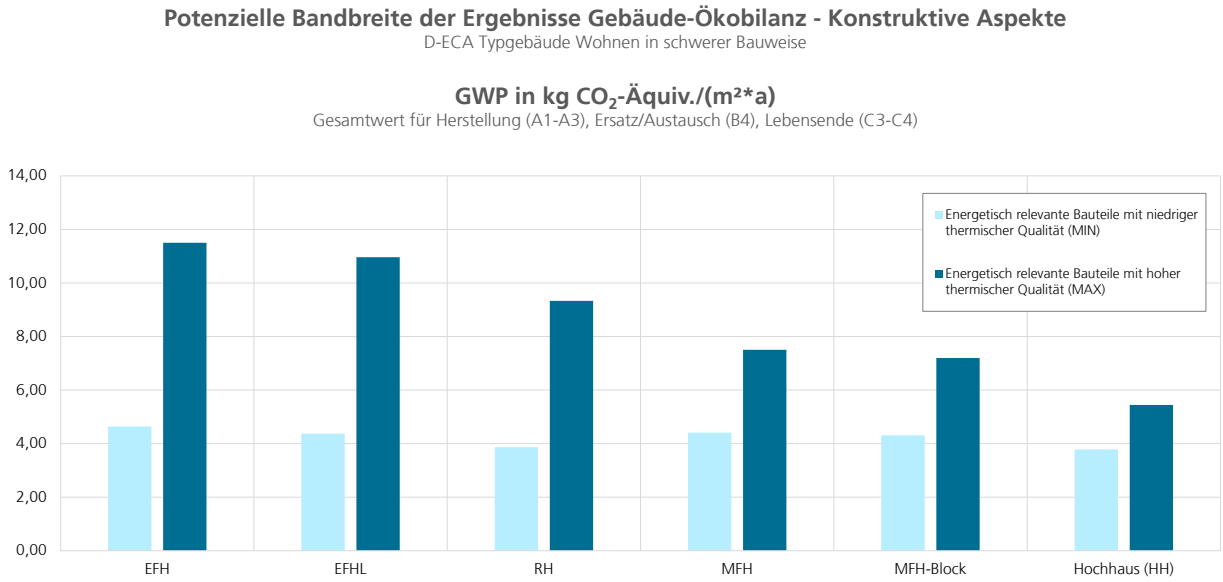


Bild 107:
Potenzielle Bandbreite der Ergebnisse GWP – District ECA Typgebäude Wohnen in schwerer Bauweise. (Eigene Darstellung).

Für die Verwendung der Ergebnisse im Anwendungsfall Sanierung werden die Ergebnisse der Gebäudeökobilanz mit minimaler und maximaler thermischer Qualität der Gebäudehülle gedanklich zu einem Delta gebracht. Das hier zu erwartende maximale Delta, das den abgeschätzten Beitrag zu den potenziellen konstruktiven Umweltwirkungen aus der Sanierungstätigkeit abbildet, liegt in einer Größenordnung, die sich auch in vergangenen Projekten gezeigt hat [Mahler 2019]. Für die kleinen Typgebäude Wohnen (EFH, EFHL, RH) kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass die potenziellen Umweltwirkungen im Ökobilanzmodul des District ECA gegebenenfalls eher überschätzt werden. Weiterhin kann aus den Ergebnissen geschlussfolgert werden, dass größere Wohngebäude (MFH, MFH-Block, Hochhaus)

tendenziell einen geringeren potenziellen Beitrag zu den konstruktionsbedingten Umweltwirkungen für die KG300 Baukonstruktion aufweisen, da für diese Gebäude das Verhältnis zwischen nutzbarer Fläche und Materialeintrag deutlich vorteilhafter ist, als bei kleineren Wohngebäuden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass die Bauteile für die Abbildung der in District ECA geforderten U-Werte-Bereiche nicht nur in Bezug auf die Schichtdicken der Dämmung angepasst wurden, sondern auch Anpassungen an den tragenden Schichten erfolgten, um der Abbildung potenzieller Bestandskonstruktionen Rechnung zu tragen.

Technologien der Energieversorgung

Die Technologien der dezentralen und zentralen Energieversorgung können in District ECA flexibel mit jedem Typgebäude kombiniert werden. Für Flexibilität im Datenaustausch wurden in der Gebäudeökobilanz-Software Generis® [Fraunhofer IBP 2024-4] „Projekte“ mit entsprechenden Typkonstruktionen umgesetzt und nach Kostengruppe (KG) KG400 und KG500 gemäß DIN 276 [Beuth 2018-2] strukturiert. Die Datengrundlage der Ökobilanzmodelle für die Technologien zur Energieversorgung stellen zu einem großen Anteil (in etwa 90 %) öffentlich verfügbare Umweltinformationen dar. Hierbei werden generische Daten der ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021-2] verwendet. Im Fall von Datenlücken, wurde für Hintergrunddaten der Ökobilanzmodelle der Technologien der Energieversorgung das Software- und Datenbanksystem Sphera LCA for Experts [Sphera 2023] genutzt.

Im Falle der Sanierung findet keine Delta-Bildung zwischen zwei verschiedenen fiktiven Zuständen (Bestand vorher, Sanierungszustand nachher) statt, da die bereitgestellten Ökobilanzdaten für die Energieversorgung nicht nach Bestand und Neubau differenziert werden können. Es wird stattdessen in diesem Fall immer konservativ vom kompletten Austausch/Ersatz der Technologien der Energieversorgung ausgegangen. Ökologische Informationen für die Technologien der Energieversorgung sind unter Berücksichtigung spezifischer Bandbreiten für unterschiedliche Leistungsbereiche (z. B. Wärmepumpen im Leistungsbereich von 5 bis 500 kW) und auf Basis der Festlegung von Stellvertreter-Technologien (z. B. Photovoltaik, Silizium, monokristallin) bereitgestellt. Die lebenszyklusbezogenen Kennwerte der Ökobilanz werden mit den im District ECA im Hintergrund ermittelten Leistungsangaben (kW), Rohrleitungslängen (m), Flächenbezügen (m²) oder Volumenstromangaben (m³/h) etc. verrechnet. Die Umweltinformationen sind hier bereits für verschiedene Leistungsklassen etc. vorskaliert und werden im District ECA aus Gründen der Vereinfachung – und wo möglich - linear interpoliert. Einzelne Technologiemodelle (z. B. BHKW) weisen gemäß Produktdatenblättern eine definierte Bandbreite der Leistungsbereitstellung auf (von … bis …). Ökobilanzkennwerte werden hier nicht linear interpoliert, da immer

die gleiche Komponente in der gleichen Größe und im gleichen Gewicht benötigt wird.

Umfang der Integration von Technologien für Energieversorgung: Für die Energieversorgung (zentral und dezentral) sind Ökobilanzkennwerte für 22 Technologien der Wärmeversorgung, sechs Technologien zur Lüftung, sechs Technologien zur Kühlung und drei Technologien zur erneuerbaren Stromerzeugung verfügbar. Diese sind flexibel mit allen Gebäudetypen im District ECA kombinierbar und die Ökobilanzdaten hierfür entsprechend bereitgestellt.

Ausgewählte Ergebnisse Produktökobilanz (Technologien der Energieversorgung): Ausgewählte Ergebnisse der Produktökobilanz, welche die Grundlage der Ökobilanzkennwerte für KG400 Technische Anlagen (dezentral) darstellen, werden nachfolgend in Bild 108 bis Bild 110 visualisiert und erläutert.

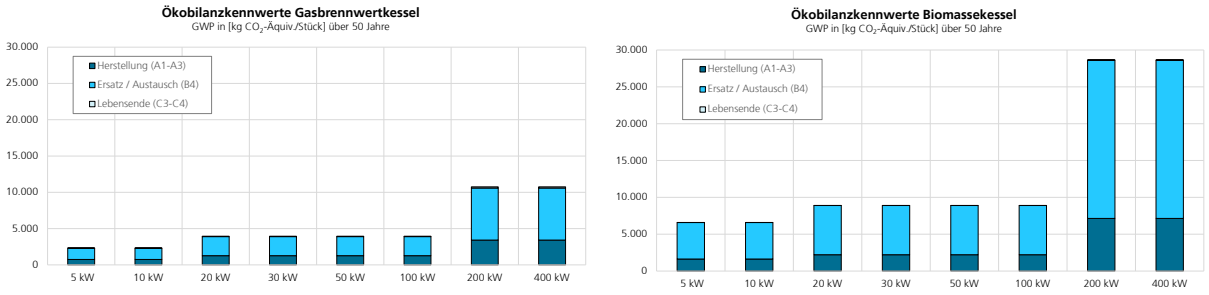


Bild 108:
Ökobilanzkennwerte KG400 Technische Anlagen, Kessel: Gasbrennwertkessel (links), Biomassekessel (rechts). (Eigene Darstellung).

Bild 108 zeigt die Gegenüberstellung der abgeschätzten Ökobilanzkennwerte für den Einsatz eines Gasbrennwertkessels und eines Biomassekessels. Die Skalierung der zu Grunde liegenden ÖKOBAUDAT Datensätze erfolgt konservativ. Die Ergebnisse zeigen zum einen die Relevanz der Herstellungsphase (A1-A3) sowie auch des anteiligen Austausches/Ersatzes (B4) über den Zeitraum von 50 Jahren. Höhere absolute potenzielle Umweltwirkungen für die konstruktiven Aspekte sind für den Einsatz eines Biomassekessels im Vergleich zum Gasbrennwertkessel im gleichen Leistungsbereich zu erwarten, da dieser mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 15 Jahren und einem dreifachen Austausch in die lebenszyklusbezogene Betrachtung einfließt. Für den Einsatz eines Gasbrennwertkessels wird hingegen eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und nur ein zweifacher Austausch berücksichtigt [VDI 2012].

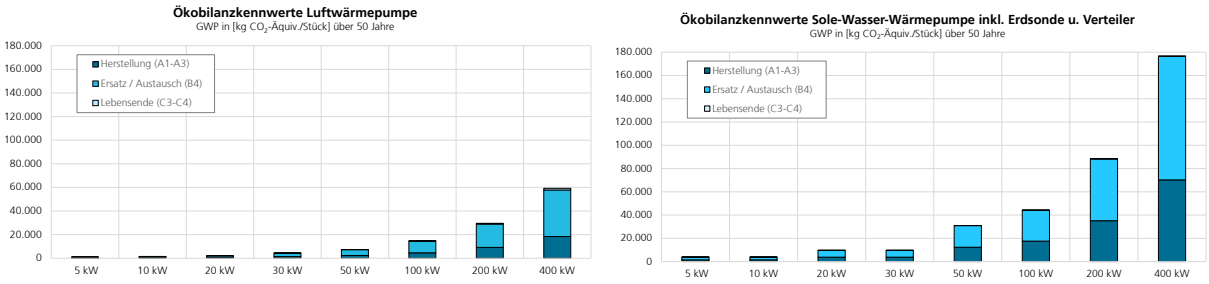


Bild 109:
Ökobilanzkennwerte KG400 Technische Anlagen, Wärmepumpen: Luft-WP (links), Sole-Wasser-WP (rechts). (Eigene Darstellung).

Bild 109 zeigt die Gegenüberstellung der abgeschätzten Ökobilanzkennwerte für den Einsatz einer Luft-Wärmepumpe und einer Sole-Wasser-Wärmepumpe. Die Skalierung der zu Grunde liegenden ÖKOBAUDAT Datensätze und spezifischen Produktmodelle für Erdsonden und Soleverteiler erfolgt konservativ. Die Ergebnisse zeigen auch hier zum einen die Relevanz der Herstellungsphase (A1-A3) sowie auch des anteiligen Austausches/Ersatzes (B4) über den Zeitraum von 50 Jahren. Höhere absolute potenzielle Umweltwirkungen für die konstruktiven Aspekte sind für den Einsatz einer Sole-Wasser-Wärmpumpe im Vergleich zu einer Luft-Wärmepumpe im gleichen Leistungsbereich zu erwarten. Die Gründe liegen vor allem im erhöhten Materialeinsatz der Sole-Wärmepumpe (Erdsonde). Die Nutzungsdauer der Sole-Wärmepumpe wird mit 20 Jahren angesetzt und führt zu einem zweifachen Austausch der Wärmepumpe selbst über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Die Erdsonden werden mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren berücksichtigt. Für die Luft-Wärmepumpe wird mit einer 18-jährigen Nutzungsdauer und einem zweimaligen Austausch/Ersatz bilanziert.

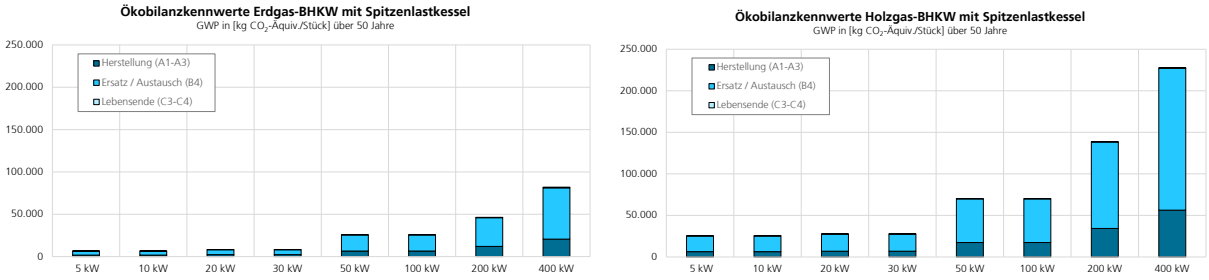


Bild 110:
Ökobilanzkennwerte KG400 Technische Anlagen, Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Spitzenlastkessel: Erdgas-BHKW mit Spitzenlastkessel Gasbrennwert (links), Holzgas-BHKW mit Spitzenlastkessel Biomasse (rechts). (Eigene Darstellung).

Bild 110 zeigt die Gegenüberstellung der abgeschätzten Ökobilanzkennwerte für den Einsatz eines Erdgas-Blockheizkraftwerks (BHKW) und eines Holzgas-BHKWs. Die Skalierung der zu Grunde liegenden spezifischen Produktmodelle erfolgt konservativ. Die Ergebnisse zeigen auch hier zum einen

die Relevanz der Herstellungsphase (A1-A3) sowie auch des anteiligen Austausches/Ersatzes (B4) über den Zeitraum von 50 Jahren. Höhere absolute potenzielle Umweltwirkungen für die konstruktiven Aspekte sind für den Einsatz eines Holzgas-BHKWs mit Spitzenlastkessel im Vergleich zum Erdgas-BHKW mit Spitzenlastkessel im gleichen Leistungsbereich zu erwarten. Die Gründe liegen auch hier im erhöhten Materialeinsatz (Vergaser für Holzgas-BHKW sowie erhöhte Umweltwirkungen des zu Grunde gelegten Spitzenlastkessels als Biomassekessel). Die Nutzungsdauer der BHKWs wird einheitlich mit 20 Jahren und einem zweifachen Austausch über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren angesetzt.

Anwendungshinweise (User Manual)

Die Datengrundlage des Ökobilanzmoduls in District ECA ist so strukturiert, dass grundsätzlich jede Form der Energieversorgung (zentral oder dezentral) mit allen Gebäudetypen (Wohnen, Nichtwohnen) kombiniert werden kann. Wesentliche Einschränkungen in Bezug auf die Bilanzgrenze sowie Annahmen und Abschätzungen für die Ökobilanz (insbesondere für die Nichtwohngebäude) sind:

- Der Anwendungsbezug „Neubau“ wird mit den QNG-Anforderungswerten für Neubau nach Bauweise „Niveau 1“ und damit im Standard „PLUS“ abgebildet [BMWSB 2022].

- Der Anwendungsbezug „Sanierung“ wird mit den QNG-Anforderungswerten für Komplettmodernisierung nach Bauweise „Niveau 2“ und damit im Standard „PREMIUM“ abgebildet [BMWSB 2022]. Abweichend von den Wohngebäuden, können hier keine spezifischen oder variierenden Ausprägungen der Sanierungsaktivität (z. B. über variierende U-Werte) berücksichtigt werden. Das für die Ökobilanz berücksichtigte Ausmaß der Sanierungsaktivität ist also immer gleich hoch und stellt eine konservative Abschätzung im Sinne einer frühen Planungsphase dar.

- Die Ökobilanzinformationen für die Gebäudekonstruktion, die auf Basis der Anforderungswerte QNG [BMWSB 2022] implementiert wurden, stellen unabhängig vom Anwendungsbezug, immer eine Mischung aus Kostengruppe KG300 Baukonstruktion und Kostengruppe KG400 Technische Anlagen gemäß DIN 276 [Beuth 2018-2] dar. Die Technologien zur Energieerzeugung (z. B. für Wärme (KG421), Kälte (KG431) oder Lüftung (KG431) etc.), die in District ECA von den Anwendenden zugeordnet und im Rahmen der Ökobilanz in District ECA nochmals differenziert berücksichtigt werden, werden in diesem Falle gegebenenfalls ökobilanziell überschätzt.

Einflussnahme der Anwendenden auf die Hintergrunddaten Ökobilanz: Die in District ECA hinterlegten Ökobilanzdaten können durch die Anwendenden

nicht angepasst werden. Ziel ist hierbei die Datengrundlage für die Ökobilanz homogen und konsistent in Bezug auf die verwendeten Ökobilanzindikatoren und die zu Grunde liegenden Wirkungsabschätzungsmodelle zu halten.

Bild 111 zeigt Grundeinstellungen, die zu Beginn der Analyse in der erweiterten Benutzeroberfläche gewählt werden können:

- Klimazone und
- Kostenberechnungsansatz
- Siedlungstypologie (ST) [Schrade 2022-1] und Festlegung der Quartiersgröße.

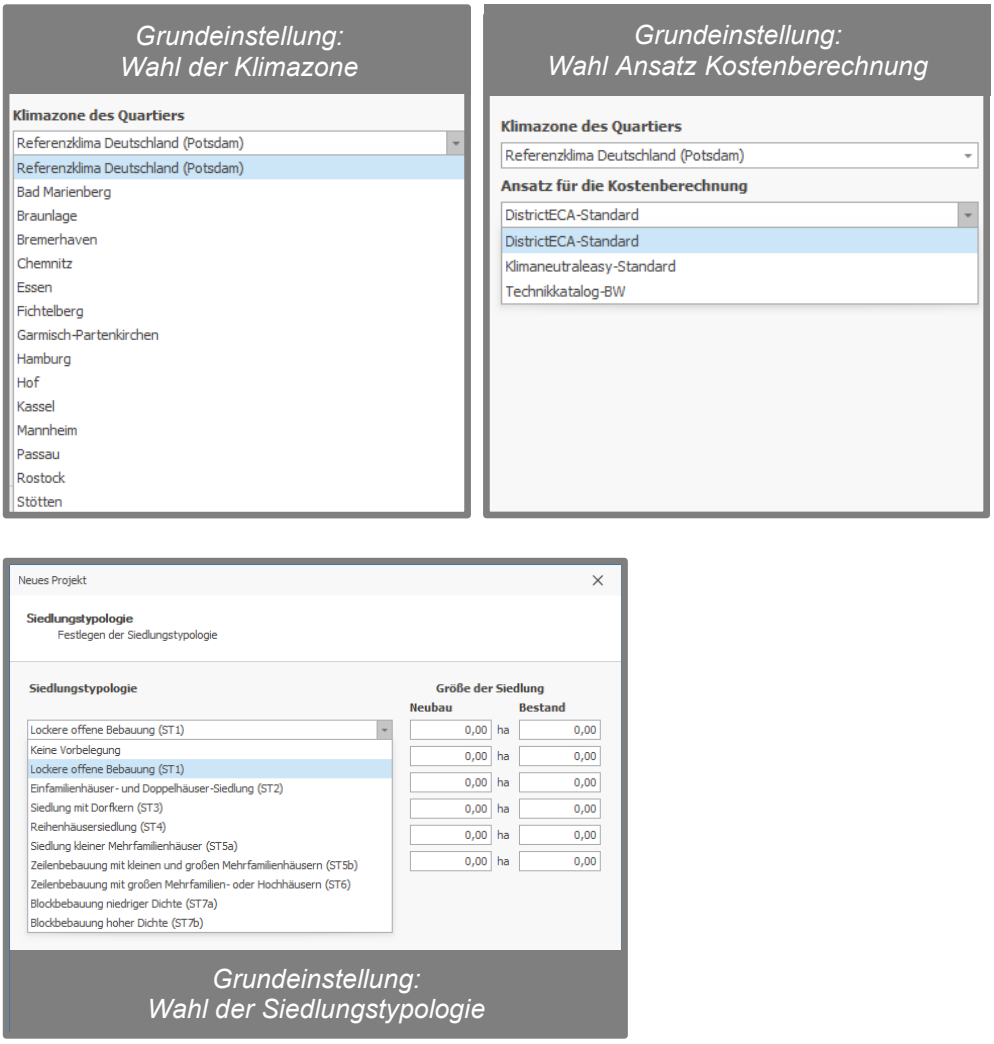


Bild 111:
Anpassung der Grundeinstellungen in der erweiterten Nutzeroberfläche des District ECA [Fraunhofer IBP 2024-5].

Die Grundeinstellungen werden genutzt, um daraufhin die Gebäudetypologien und die Energieversorgung vorauszuwählen. Sie werden auf der Nutzeroberfläche ersichtlich (Bild 112) und können jederzeit im bereitgestellten Funktionsumfang des District ECA wieder geändert werden. Neben der Visualisierung der Gebäudetypologien und der Energieversorgung im Quartier werden im unteren Bereich der Nutzeroberfläche die Ergebnisse der Energieberechnung, der Kostenberechnung und der Nachhaltigkeitsbewertung visualisiert. Die Energieberechnung enthält Informationen zu den CO_2-äquivalenten Emissionen, die sich aus dem Gebäudebetrieb (Modul B6) ergeben. Sie werden nach Vorgaben der energetischen Berechnung und der DIN V 18599 ermittelt. Die Ergebnisse der Ökobilanz des Quartiers finden sich unter dem Reiter „Nachhaltigkeitsbewertung“. Hier werden die potenziellen Umweltwirkungen dargestellt, die sich aus konstruktiven Aspekten über den Lebenszyklus des Quartiers ergeben. Die Darstellung kann entweder mit oder ohne Aktivierung der Anzeige der „Ergebnisse als absolute Werte“ erfolgen. Bei Aktivierung werden die Ergebnisse der Ökobilanz mit Jahresbezug dargestellt. Bei Nicht-Aktivierung werden die Ergebnisse je funktioneller Einheit mit 1 m^2_{NRF} und Jahr ersichtlich. Über die in Bild 112 visualisierten Reiter können weitere Einstellungen für Gebäude (KG300 Baukonstruktion), dezentrale Energieversorgung (KG400 Technische Anlagen) und zentrale Energieversorgung (KG500 Technische Anlagen) vorgenommen werden.

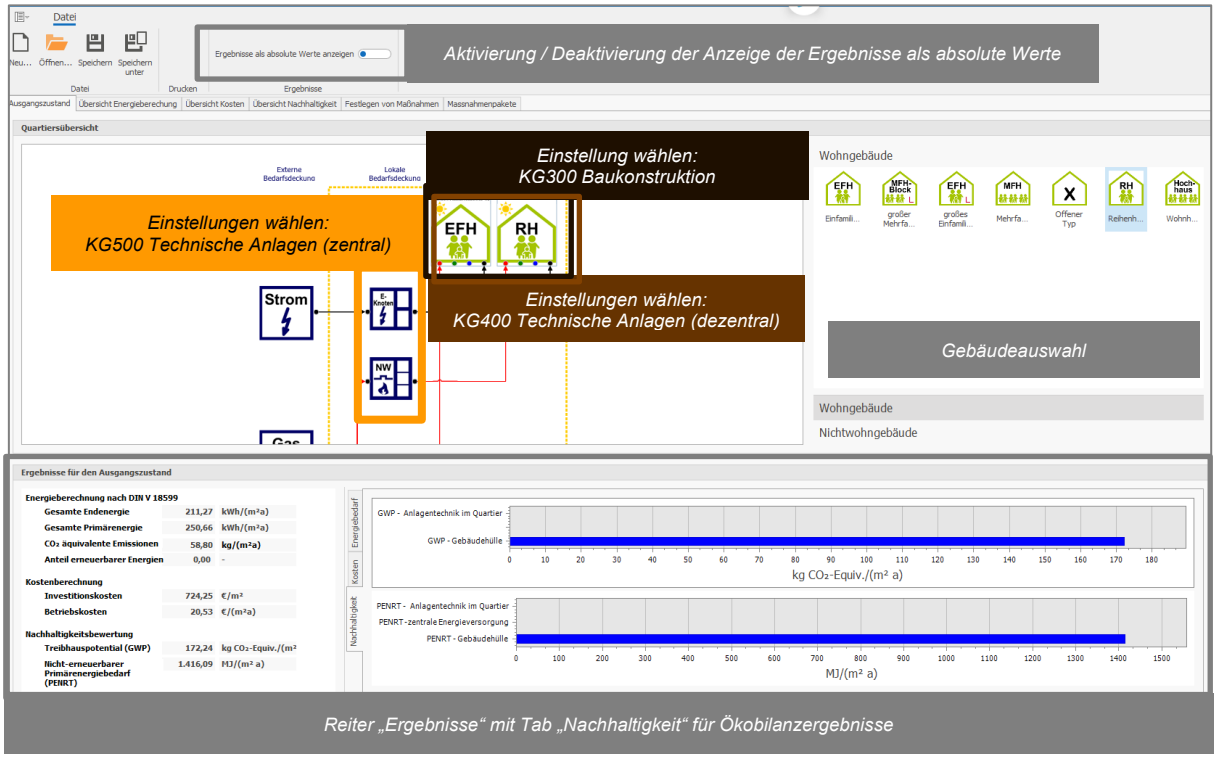
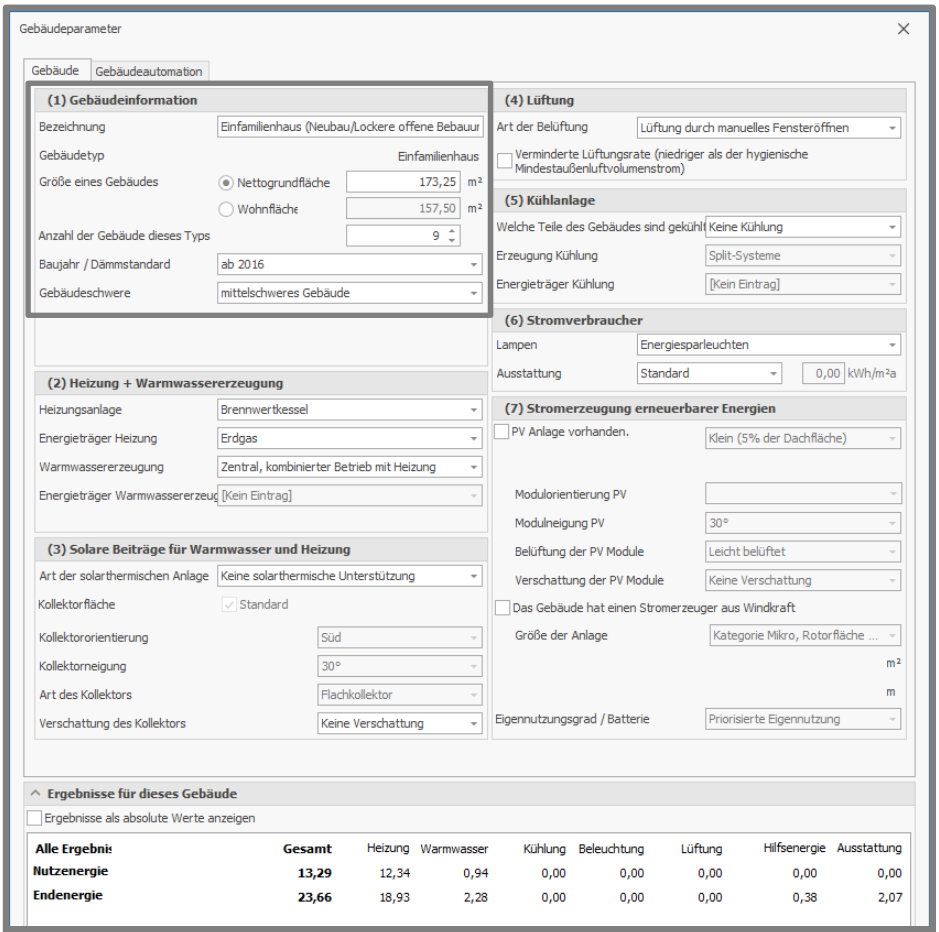


Bild 112:
Anpassung der Grundeinstellungen „Gebäude“ und „Energieversorgung“ in der erweiterten Nutzeroberfläche des District ECA [Fraunhofer IBP 2024-5].

Auf Basis der Grundeinstellungen zur Siedlungstypologie werden Grundeinstellungen für die jeweiligen Gebäude übernommen. Bild 113 zeigt die Grundeinstellungen für die Auswahl der Siedlungstypologie (ST) 1 als Lockere/Offene Bebauung im Neubau für 1 Hektar Siedlungsfläche, die seitens District ECA mit 9 Einfamilienhäusern im Dämmstandard „ab 2016“ vorkonfiguriert wurden.



Übernahme definierter Vorkonfiguration für Gebäude je Siedlungstypologie

Bild 113:
Vorkonfiguration und Grundeinstellungen „Gebäude“ nach Definition einer Siedlungstypologie [Fraunhofer IBP 2024-5].

Bild 114 zeigt die Möglichkeiten, wie Einfluss auf die Einstellungen zur KG300 Baukonstruktion und KG400 Technische Anlagen (dezentral) im Reiter des jeweiligen Gebäudetyps genommen werden kann. Je nach Konfiguration werden so die Ergebnisse der Ökobilanz im Reiter „Nachhaltigkeitsbewertung“ auf der Oberfläche direkt im Tool ermittelt und angepasst dargestellt.

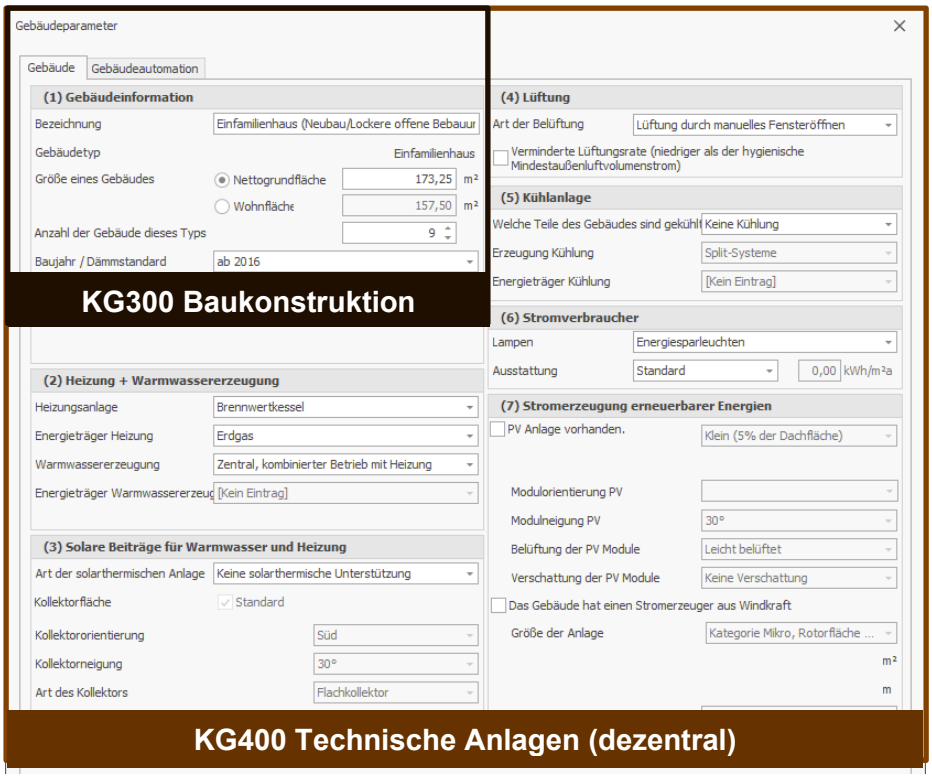


Bild 114:
Konfiguration „Gebäude“ [Fraunhofer IBP 2024-5].

Bild 115 zeigt die Möglichkeiten, wie Einfluss auf die Einstellungen zur KG500 Technische Anlagen (zentral), z. B. im Reiter „Nahwärme“ (oben links) oder auf die Elektrizitätsversorgung (oben rechts und unten), genommen werden kann. Auch hier werden je nach Konfiguration die Ergebnisse der Ökobilanz im Reiter „Nachhaltigkeitsbewertung“ auf der Oberfläche direkt im Tool ermittelt und angepasst dargestellt.

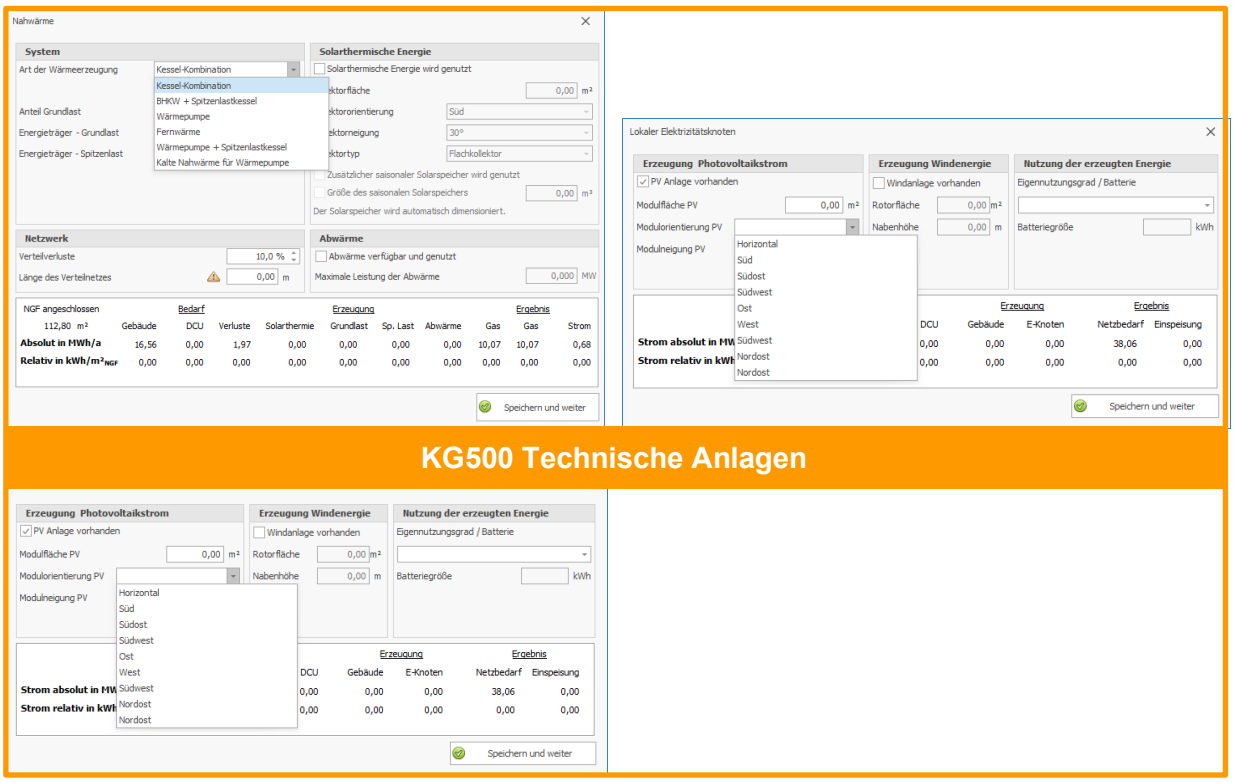


Bild 115:
Konfiguration „Energieversorgung, zentral“ [Fraunhofer IBP 2024-5].

Softwaretest

Im Sinne eines „Proof-of-Concept“ wurde ein Softwaretest anhand der beiden Demonstrationsquartiere des Projektes SQ2050 - Überlingen und Stuttgart – im implementierten Funktionsumfang für das Ökobilanzmodul in District ECA durchgeführt. Hierzu wurden die beiden Quartiere so präzise wie möglich mit ihrer Quartiers-, Gebäude- und Energieversorgungscharakteristik in die erweiterte Oberfläche übernommen. Im Anschluss wurden die so ermittelten Ökobilanzergebnisse für die konstruktiven Aspekte der Quartiere denjenigen Ergebnissen gegenüber gestellt, die im Rahmen der Ökobilanzbewertung für Energiekonzepte [Lenz 2024-1] ermittelt wurden. Ziel war es hierbei, die Ergebnisse im erweiterten Nutzerinterface anhand konkreter Beispiele zu validieren und zu plausibilisieren. Aufgrund der im Ökobilanzmodul zu implementierenden großen Variabilität der Hintergrunddaten, der komplexen Berechnungsvorgaben sowie der vorhandenen Abhängigkeiten der Eingabevariablen, wurde vorab zusätzlich ein strukturierter Abgleich für die Eingabe der Einzelgebäude durchgeführt sowie deren Aggregation in vereinfachten Anwendungsbeispielen getestet [Lenz 2024-2].

Softwaretest: Einzelgebäude:

Zunächst wurde ein Abgleich für die Kostengruppe KG300 Baukonstruktion durchgeführt, da deren Einfluss für das Ökobilanzergebnis im Quartier in der Regel am größten ist (vergleiche hierzu auch [Lenz 2024-1]). Detailliert über alle „Baujahre/Dämmstandards“ erfolgte dieser Abgleich am Typgebäude EFH. Für alle anderen Gebäude wurde beispielhaft das Baujahr beziehungsweise der Energiestandard „ab 2016“ (Neubau) zu Grunde gelegt. Zur Vorbereitung des Abgleichs wurden die Ökobilanzergebnisse für die Baukonstruktion händisch ermittelt und denjenigen Ergebnissen im Ökobilanztool gegenüberstellt. [Lenz 2024-2]

Softwaretest: Vereinfachtes Anwendungsbeispiel Quartier

Im Rahmen der vereinfachten Anwendung wurde ebenfalls die Skalierung der Ökobilanzergebnisse bei geändertem Flächenbezug und/ oder Anpassung der Gebäudeanzahl von mehr als einem Gebäude getestet. Hierzu wurde ein fiktives Quartier mit jeweils einem Typgebäude EFH und Büro in drei Varianten der Konfiguration abgelegt (Bild 116).

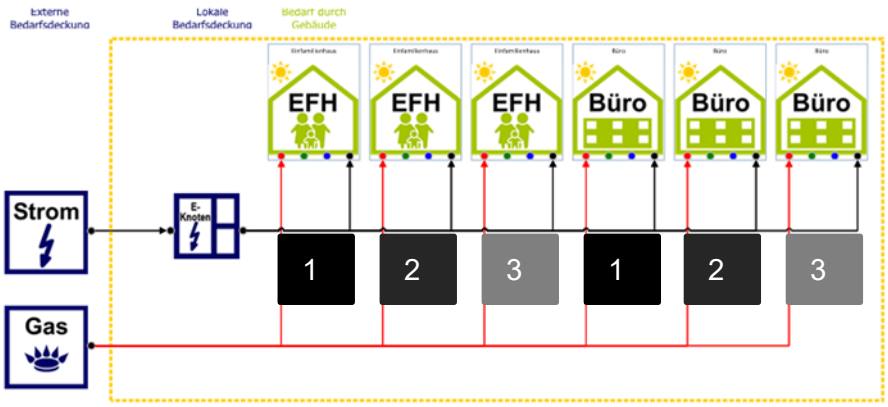


Bild 116:
Softwaretest fiktives Quartier: (1) Gebäude in Standardeinstellung, (2) Gebäude mit erhöhter Anzahl, (3) Einzelgebäude mit erhöhter NRF [Fraunhofer IBP 2024-5].

Das Ergebnis des Softwaretests der Einzelgebäude und der vereinfachten Anwendungsbeispiele stellt abschließend eine priorisierte Übersicht zu potenziellen Anpassungen in Dateneingabe und Funktionalität im LCA-Modul dar, die im Rahmen der wissenschaftlichen Verwertung der Projektergebnisse mit den Zeithorizonten kurz-, mittel- und langfristig weiter erörtert werden [Lenz 2024-2]. Sie sind ebenfalls relevant, um die Ergebnisse der Gegenüberstellung der Ökobilanz aus den nachfolgenden Softwaretest mit dem

Quartier Stuttgart und Überlingen zu verstehen und korrekt interpretieren zu können.

Softwaretest: Quartier Stuttgart

Für das Quartier Stuttgart wurde der Softwaretest mit den folgenden Grundeinstellungen (Bild 117) für die KG300 Baukonstruktion im erweiterten Nutzerinterface durchgeführt:

- Alle Gebäude Neubau in Dämmstandard EH55
- Alle Gebäude Sanierung im Baujahr 1969-1984;
- Sanierung „Wohnen“ mit NRF von 12.956 m² über 4 Typgebäude „MFH-BLOCK“ und Gebäudeschwere „massiv“;
- Sanierung „Wohnen“ mit NRF von 5.743 m² über 2 Typgebäude „MFH-BLOCK“ und Gebäudeschwere „massiv“;
- Neubau „Wohnen“ mit NRF von 41.507 m² über 12 Typgebäude „MFH-BLOCK“ und Gebäudeschwere „massiv“;
- Neubau „Kita“ mit NRF von 2.885 m² über 5 Typgebäude „Kindergarten“;
- Neubau „Altenheim“ mit NRF von 1.088 m² über 1 Typgebäude: Altenheim;
- Neubau „Supermarkt“ mit NRF von 1.319 m² über 1 Typgebäude „Supermarkt“;
- Neubau „Mischnutzung“ mit NRF von 2.128 m² über 1 Typgebäude „Mischnutzung A“;
- Sanierung „Büro“ mit NRF von 1.431 m² über 1 Typgebäude „Büro“.

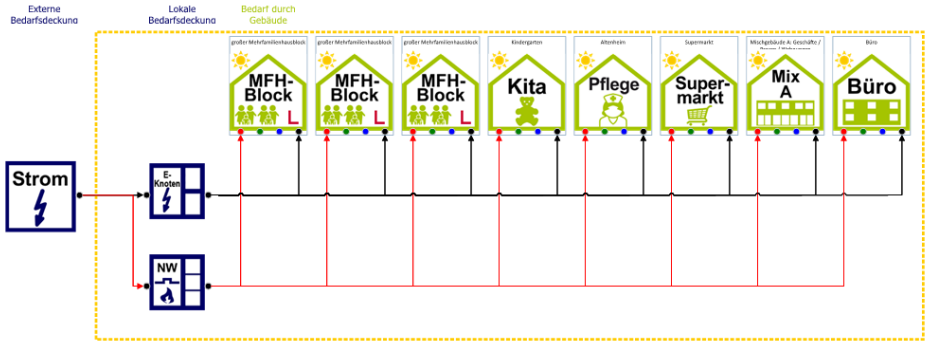


Bild 117:
Softwaretest Quartier Stuttgart: Typgebäudewahl [Fraunhofer IBP 2024-5].

Es treten Abweichungen in der Ergebnisberechnung auf, wie im User Manual [Lenz 2024-2] detailliert ausgeführt. In diesem Sinne, sind die Ergebnisse aus Ökobilanzbewertung [Lenz2024-1] und des erfolgten Softwaretests nicht aussagekräftig vergleichbar. Dennoch kann durch händische Nebenrechnung zumindest eine Tendenz zwischen beiden Ergebnissen aufgezeigt werden, unter der Maßgabe, dass eine Fehlerkorrektur im Ökobilanzmodul erfolgt.

- Die Anrechnung der Sanierungstätigkeit als fiktiver Neubau (aktuell) führt zu erhöhten Umweltwirkungen für die Baukonstruktion (KG300) für Gebäude mit Sanierung, die im Ökobilanzmodul angerechnet werden. Die methodische DELTA-Bildung für Sanierung im Ökobilanzmodul wird potenziell im Gegensatz zu den Ergebnisse der Ökobilanzbewertung im AP3.4 [Lenz 2024-1] zu niedrigeren Beiträgen bei den Umweltwirkungen der Baukonstruktion KG300 führen.

- Geringere Beiträge zur Quartiersbilanz sind ebenfalls aus Neubauaktivitäten Wohnen im Ökobilanzmodul für das Quartier Stuttgart zu erwarten. Diese sind dem Ausschluss von Kellerwänden und Fundament/Gründung im Ökobilanzmodul geschuldet. Es werden hier nach Abgleich nur die Bauteile der thermischen Hülle sowie die innerhalb dieser Hülle liegenden Innenbauteile (Innenwände, Decken) berücksichtigt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die mit Hilfe des Ökobilanzmoduls ermittelten Ergebnisse für die Baukonstruktion (KG300) im Quartier Stuttgart die Ökobilanzergebnisse im Rahmen der Ökobilanzbewertung [Lenz 2024-1] um bis zu ca. 30% unterschreiten werden, sobald die Fehlerkorrekturen erfolgt sind.

Softwaretest: Quartier Überlingen

Für das Quartier Überlingen wurde der Softwaretest mit den folgenden Grundeinstellungen (Bild 118) für die KG300 Baukonstruktion (im erweiterten Nutzerinterface durchgeführt:

- Alle Gebäude Neubau im Dämmstandard EH40;
- Alle Gebäude Sanierung im Baujahr 1969-1984;
- Neubau „Wohnen“ mit NRF von 22.794 m² über 7 Stück Typgebäude „MFH-BLOCK“ und Bauweise „massiv“ abgebildet;
- Bestand mit Sanierung „Wohnen“ mit NRF von 18.247 m² über 6 Stück Typgebäude „MFH-BLOCK“ und Bauweise „massiv“ abgebildet.

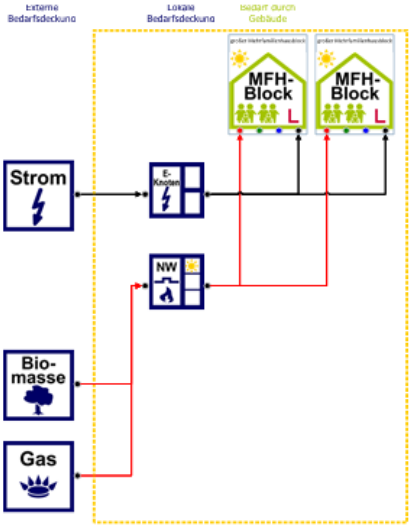


Bild 118:
Softwaretest Quartier Überlingen: Typgebäudewahl [Fraunhofer IBP 2024-5].

Es treten Abweichungen in der Ergebnisberechnung auf, wie im User Manual [Lenz 2024-2] detailliert ausgeführt. Im Falle des Softwaretest am Quartier Überlingen, sind die Ergebnisse aus Ökobilanzbewertung [Lenz2024-1] und des erfolgten Softwaretests aussagekräftiger vergleichbar, da hier ein reines Wohnquartier abgebildet wird. Aktuell noch auftretende Fehler im Umgang mit Nichtwohngebäuden spielen hier beispielsweise keine Rolle. Nachfolgend werden auch für das Quartier Überlingen, die Gründe für aktuelle Abweichungen in der Ergebnisdarstellung im Ökobilanzmodul kurz erläutert:

- Die Anrechnung der Sanierungstätigkeit als fiktiver Neubau (aktuell) führt zu erhöhten Umweltwirkungen für die Baukonstruktion (KG300) für Gebäude mit Sanierung, die im Ökobilanzmodul angerechnet werden. Die methodische DELTA-Bildung für Sanierung im Ökobilanzmodul wird

potenziell im Gegensatz zu den Ergebnisse der Ökobilanzbewertung im AP3.4 [Lenz 2024-1] zu niedrigeren Beiträgen bei den Umweltwirkungen der Baukonstruktion KG300 führen.

- Eine teilweise Anrechnung von technischen Anlagen kann nicht im Ökobilanzmodul erfolgen. Der potenzielle Beitrag aus den Kostengruppen KG400 und KG500 wird in diesem Fall höher ausfallen.

- Eine Kombination von mehr als zwei Erzeugern für die Nahwärmeversorgung ist nicht möglich. In diesem Fall wird der Anteil der Komponente „BHKW“ mit den gewählten Einstellungen vernachlässigt.

- Geringere Beiträge zur Quartiersbilanz sind ebenfalls aus Neubauaktivitäten für Wohnen im Ökobilanzmodul für das Quartier Überlingen zu erwarten. Diese sind dem Ausschluss von Kellergeschoss und Fundament/Gründung im Ökobilanzmodul geschuldet. Es werden hier nach Abgleich nur die Bauteile der thermischen Hülle sowie die innerhalb dieser Hülle liegenden Innenbauteile (Innenwände, Decken) berücksichtigt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die mit Hilfe des Ökobilanzmoduls ermittelten Ergebnisse für die Baukonstruktion (KG300) im Quartier Überlingen die Ökobilanzergebnisse im Rahmen der Ökobilanzbewertung [Lenz 2024-1] um bis zu ca. 10% unterschreiten werden, sobald die Fehlerkorrekturen erfolgt sind.

Softwaretest: Zusammenfassung

Der Softwaretest zur Ökobilanzfunktionalität hat ebenfalls Aufschluss über die Komplexität der Datenintegration bei der Erweiterung der Nutzeroberfläche gegeben. Er hat insbesondere die Wechselwirkungen der verschiedenen Aspekte aufgezeigt, die in District ECA adressiert werden können und bei der korrekten Strukturierung und Hintergrundberechnung der Ökobilanzergebnisse mit bedacht werden müssen. Neben der im Projekt umzusetzenden Einbindung von Ökobilanzfunktionalität wurden beispielsweise zusätzliche Features in District ECA implementiert, die für die energetische Stadtplanung sinnvoll und relevant sind und diese zukünftig vereinfachen. Dies betrifft u. a. die Eingabe der Quartiere in Anlehnung an die Arbeiten zu den klimaneutralen Energieversorgungskonzepten im Projekt SQ2050 [Schrade 2022-1], die Aktualisierung der energetischen Berechnungen, die Möglichkeit der Integration von Maßnahmenpaketen sowie die Aktualisierung und Erweiterung der Kostenberechnung. Da die Ökobilanzdatengrundlage im Tool in Konsistenz mit diesen Erweiterungen strukturiert wurde, werden auch zukünftig die Prozesse für die Qualitätsprüfung und -sicherung im Bereich der Ökobilanz weiter fortgeführt.

Unter Berücksichtigung der identifizierten Fehler kann in der Gegenüberstellung der im Ökobilanzmodul berechneten Werte und der händisch ermittelten Werte zusammenfassend festgehalten werden, dass die im Ökobilanzmodul berechneten Werte für die Kostengruppe KG300 Baukonstruktion unter den noch identifizierten Fehlern und Abweichungen zur Ökobilanzbewertung [Lenz 2024-1] grundsätzlich plausibel sind.

Weiterführende Informationen:

- User Manual zum LCA-Modul des District Energy Concept Advisers mit Dokumentation zu Hintergrunddaten und Anwendungshinweisen [Lenz 2024-2]
- Software District Energy Concept Adviser. Verfügbar unter https://district-eca.de [Fraunhofer IBP 2018]
- Software District Energy Concept Adviser mit LCA-Modul. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/tools-22/oekobilanzmodul-fuer-district-eca-desktop [Fraunhofer IBP 2024-5]

2.16 Messkonzepte

Leitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer IBP

Mitarbeit im Arbeitsbereich: Landeshauptstadt Stuttgart, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See (Überlingen), Baugenossenschaft Überlingen

2.16.1 Aufgabenstellung

Für die zwei Demonstrationsquartiere in Stuttgart und Überlingen sollten angepasste Monitoringkonzepte entwickelt und ausgeschrieben werden. Die eingesetzten innovativen Technologien sollten detailliert analysiert und die Energieverbräuche im Quartier und je Gebäude kontinuierlich erfasst werden. Die Mindestvorgaben aus dem Messleitfaden der BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt sollten dabei erfüllt werden [Erhorn-Kluttig 2020]. Die Messaufnehmer dafür bestehen aus Wärmemengenzählern, Durchflussmessern, Volumenstrommessgeräten, Temperaturfühlern, Gaszählern und anderen Brennstoffzählern. Das Messkonzept sollte zusätzlich die notwendigen Daten in einer repräsentativen Anzahl an Wohneinheiten für die Überprüfung der Auswirkung und späteren Nutzung der Quartiers-App (siehe Kapitel 2.12) zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens bereitstellen. Die für den

Stromverbrauch relevanten Messdaten sollten zusätzlich für die Anwendung des GridOptimizers nutzbar sein.

Die geplanten Arbeiten dazu gliederten sich in:

- die Zusammenstellung der Kenngrößen, die durch das Messprogramm erfasst werden sollten,
- die Planung des Messkonzepts und damit die Festlegung des Messorts, der Art des Messaufnehmers, der Messfrequenz und der Messgenauigkeit sowie der Überprüfung, ob die Messdaten aus eventuell vorhandenen Gebäudemanagementsystemen übernommen werden konnten,
- die Ausschreibung des Messkonzepts
- die Inbetriebnahme und die Überprüfung der Messwerterfassung auf seine Funktionsfähigkeit und der Plausibilität der erfassten Werte

2.16.2 Vorgehen

Für die Zusammenstellung der notwendigen Messwerte wurden für die Erfassung der Energieverbräuche und die Anbindung an die Quartiers-App zwei unterschiedliche Herangehensweisen gewählt.

Die Definition der Bilanzräume für das Monitoring eines Quartieres (Bild 119) und die Auswahl bzw. Positionierung der hierzu erforderlichen Messaufnehmer orientierte sich an den Mindestvorgaben des Messleitfaden der BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt.

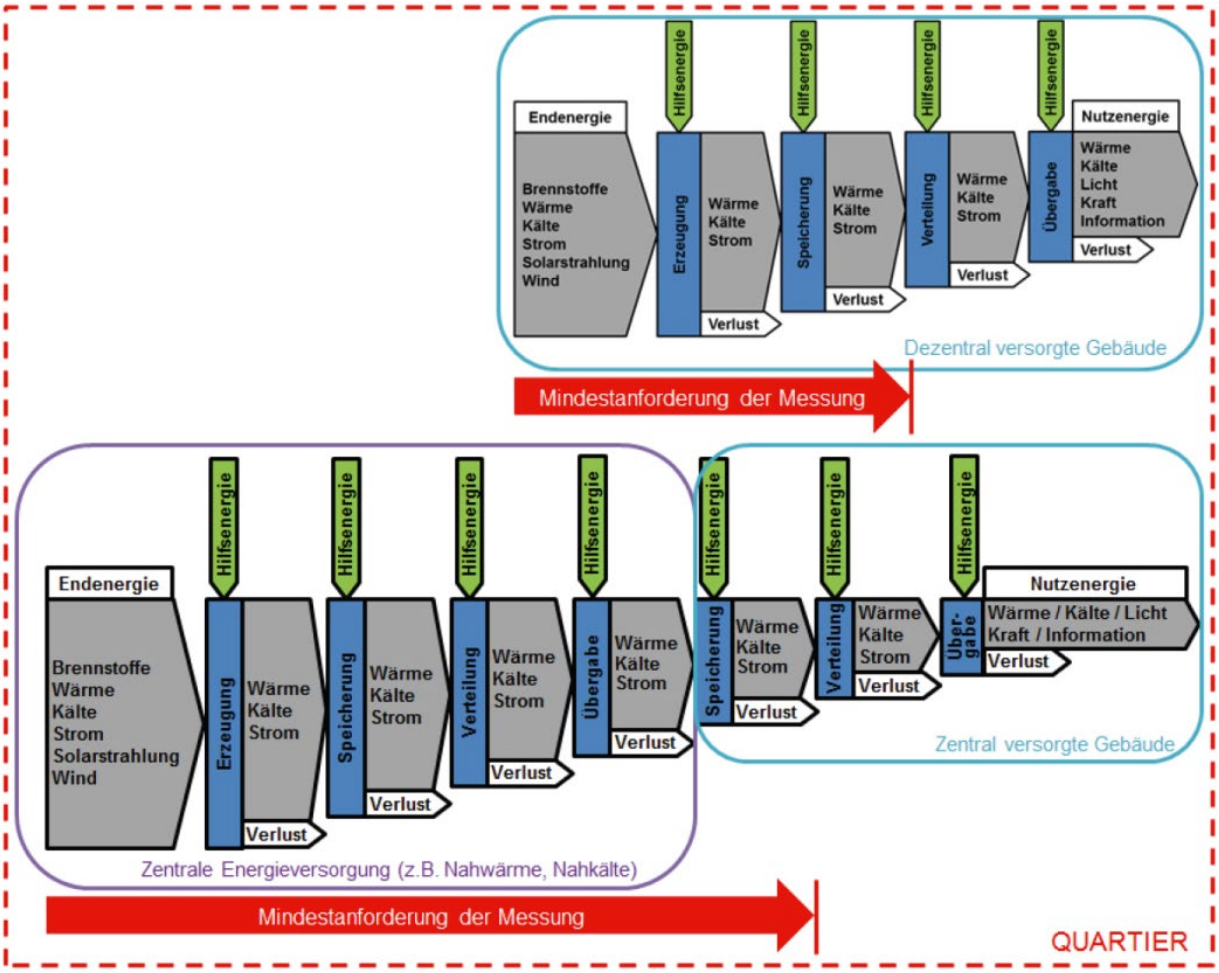


Bild 119:
Energieflüsse in einem Quartier mit zentral und dezentral versorgten Gebäuden. Die roten Pfeile markieren jeweils die Bereiche, die mindestens von den Messungen in einem Quartier abgedeckt werden müssen [Erhorn-Kluttig 2018].

Innerhalb eines Quartiers-Monitorings beinhaltet die Messdatenerfassung im Wesentlichen die zentrale Energieversorgung (Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe) des Quartiers sowie die Gebäudeübergabestationen der einzelnen Gebäude im Quartier. Werden einzelne Gebäude dezentral versorgt (z. B. PV-Anlage, Solarthermie), so sind diese Energiemengen ebenfalls zu erfassen.

Auf Basis der von den Projektpartnern zur Verfügung gestellten TGA-Planung und den zugehörigen Schemata wurden die notwendigen Messpositionen, Sensoren und Erfassungsintervalle definiert. Anschließend wurden die Messlisten mit den Projektpartnern im Hinblick auf die Umsetzbarkeit diskutiert und abgestimmt. Die Erstellung der Messkonzepte erfolgte kontinuierlich während der Projektlaufzeit, sobald die dafür notwendigen Planungsunterlagen zur Verfügung standen.

Für die Quartiers-App wurden zusätzlich im Messkonzept in den einzelnen Wohnungen und den dazugehörigen Kellern des ersten Bauabschnitts sämtliche Verbräuche, wie Strom, Wärme, Kaltwasser und Warmwasser mit berücksichtigt, um so dem Wohnungsnutzer ein umfassendes Bild seines Verbrauchsverhaltens geben zu können. Als unterstützende Information wurden auch Sensoren für Raumtemperatur und -feuchte in jeweils einem repräsentativen Wohnraum vorgesehen. Auch diese Messstellen wurden mit den relevanten Projektpartnern und insbesondere mit dem Fraunhofer FIT als Entwickler der App diskutiert. Da es sich beim Monitoring bei den wohnungsweisen Verbrauchs- bzw. Raumklimamesswerten in der Regel um personenbezogene Daten handelt, ist durch das Fraunhofer FIT ein Datenschutzkonzept erarbeitet und durch die anderen Projektbeteiligten angepasst und ergänzt worden.

Für die Erfassung der notwendigen Werte für die Quartiers-App wurde der erste Bauabschnitt des Quartiers in Überlingen ausgewählt, weil dort die Planung am weitesten fortgeschritten war und damit eine Umsetzung des Messkonzepts und die Einbindung der erfassten Messwerte in die App zu einem möglichst frühen Zeitpunkt im Projektablauf am aussichtsreichsten war.

2.16.3 Ergebnisse

Quartier Stuttgart

Für den Bau 2 (Bettenhaus) des Quartiers Bürgerhospital, der als erstes geplante Bauabschnitt des Quartiers, wurden beispielhaft unterschiedliche Messkonzepte für die Bereitstellung von zeitlich hoch aufgelösten Messdaten für die Anwendung in der Quartiers-App erarbeitet und diskutiert. Während für das Quartiers-Monitoring in der Regel Stundenmittelwerte für die Wärmeverbräuche und Viertelstundenwerte für die Stromverbräuche ausreichend sind, werden für die Quartiers-App und auch für den GridOptimizer deutlich kürzere Abtastintervalle benötigt. Hierzu wurden geeignete Messgeräte wie z.B. Smart Meter Gateways vorgeschlagen, welche eine hochfrequente Erfassung ermöglichen. Im weiteren Verlauf des Projektes stellte sich jedoch heraus, dass eine detaillierte wohnungsweise Strom- und Wärmemengenerfassung im Bau 2 nicht möglich ist.

Für die Erfassung der Verbräuche zur Beurteilung des Energiekonzepts wurden entsprechend dem Leitfaden die jeweiligen Messstellen vorgesehen. Da in diesem Gebäudekomplex neben einer Wohnnutzung auch eine Kita und ein Familienzentrum geplant sind, wurde zusätzlich eine separate Erfassung der Energieverbräuche für die jeweils unterschiedlichen Nutzungsbereiche geplant. Das Messkonzept für den Bau 2 (Bettenhaus) wurde im Projektverlauf weiter konkretisiert und laufend an die aktuelle Anlagen- bzw. Elektroplanung angepasst.

Für den Bauabschnitt 2a lagen bis zum Ende des Projekts noch keine konkreten Pläne vor. Um die Anzahl der notwendigen Messkanäle abschätzen zu können, wurde ein vorläufiges Messkonzept auf Basis des Nutzungskonzepts und der angedachten Energieversorgungsstruktur erarbeitet. Dieses beinhaltet neben der notwendigen Messstellen zur Überprüfung des Energiekonzepts auch die wohnungsweisen Messungen für die Quartiers-App. Dabei wurde darauf geachtet, dass möglichst dieselben Messstellen erfasst werden wie im Quartier Überlingen. Einerseits ermöglicht dies die Vergleichbarkeit der Standorte, andererseits werden damit die notwendigen Anpassungen an der Quartiers-App gering gehalten.

Für die zentrale Energieversorgung des Quartiers Bürgerhospital wurden unterschiedliche zentrale Energieversorgungskonzepte diskutiert. Für die vielversprechendste Variante „Variante 1e – Erdreich-WP (Ökostrom)“ wurde beispielhaft ein Messkonzept zur Bewertung der Effizienz der Energieerzeugung in der Heizzentrale (Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe), der Versorgung im Nahwärmenetz und der Übergabe an die einzelnen Gebäude erarbeitet. Bild 120 zeigt schematisch die jeweils zu erfassenden Messgrößen zur energetischen Bewertung des Quartiers Bürgerhospital.

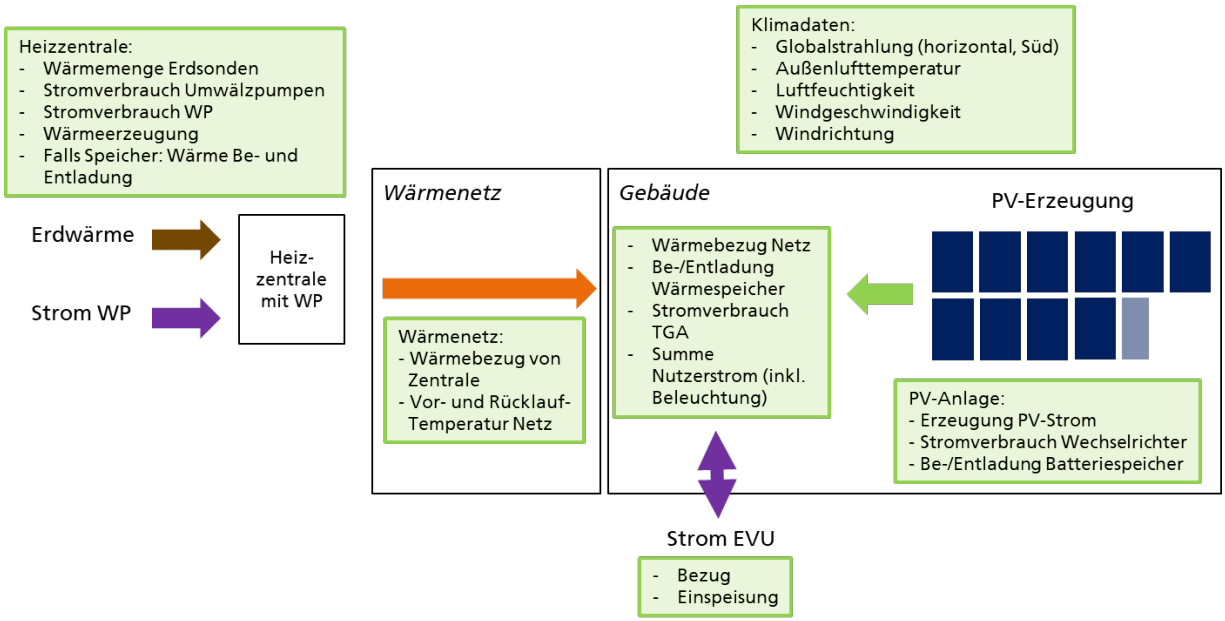


Bild 120:
Messkonzept zentrale Energieerzeugung und Einbindung der einzelnen Gebäude im Quartier Bürgerhospital.

Die vorgesehenen Messgrößen für die Energiezentrale (siehe Bild 121) werden überwiegend bereits von den Stadtwerken Stuttgart erfasst und aufgezeichnet. Der Zugriff auf die Messdaten kann über das Stadtwerke-Portal erfolgen. Fehlende Messstellen wurden zu Ergänzung vorgesehen.

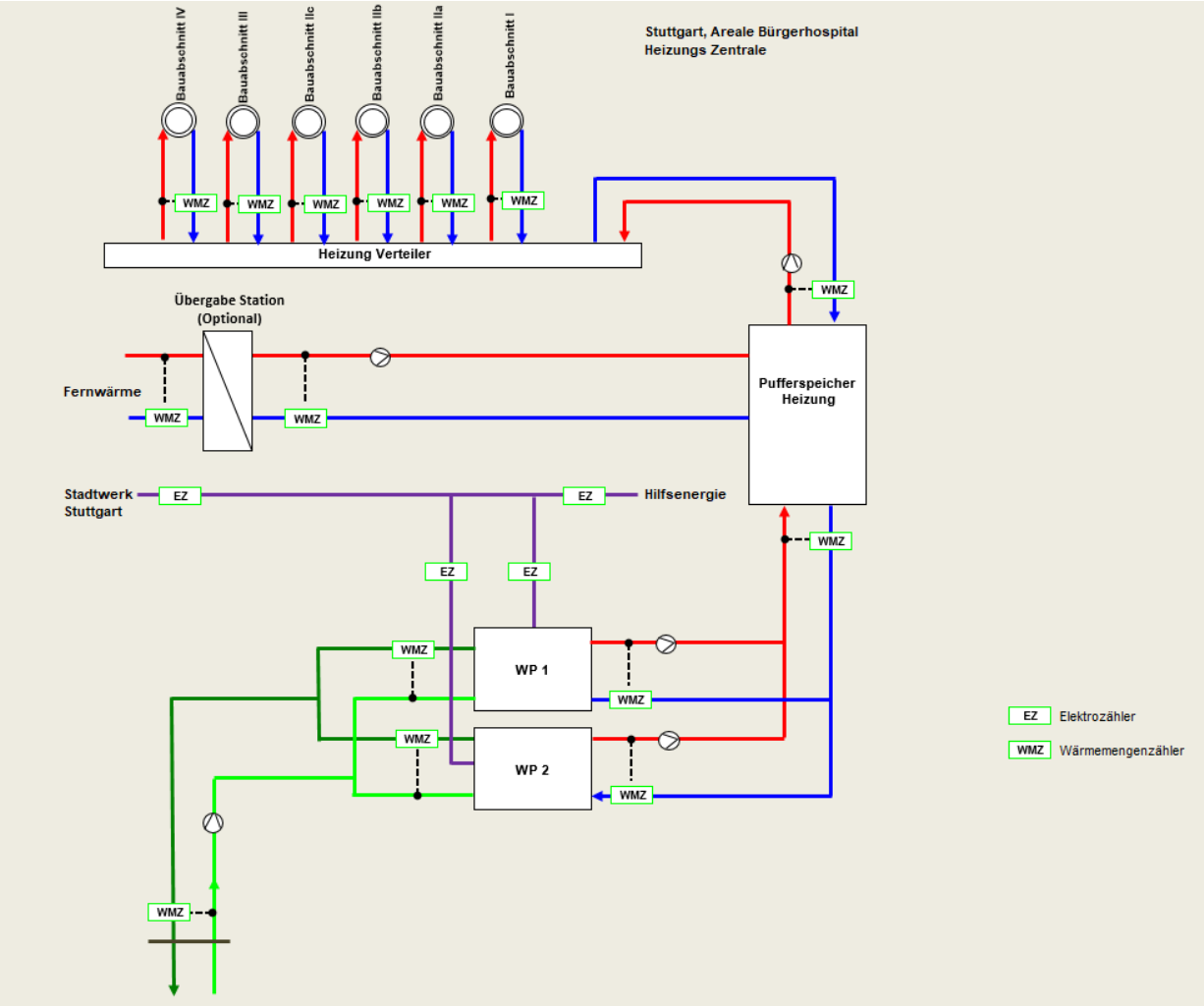


Bild 121:
Entwurf Messstellenübersicht zentrale Energieerzeugung.

Zur Erfassung der Klimadaten wurde letztendlich eine Datenanbindung an eine bereits bestehende Wetterstation der Landeshauptstadt Stuttgart auf dem Amt für Umweltschutz vorgesehen; der ursprüngliche Plan einer eigenen Wetterstation im Quartier wurde aus Effizienzgründen verworfen.

Eine Kontrolle der Plausibilität der zu erfassenden Messwerte konnte nicht erfolgen, da die geplanten baulichen Arbeiten bis zum Ende der Laufzeit des Projektes noch nicht umgesetzt waren.

Weiterführende Informationen:

- Dokumentiertes Messkonzept für das Stadtquartier Stuttgart [Beckert 2024]

Quartier Überlingen

Im Quartier Schättlisberg wurde für die Erfassung der notwendigen Werte für die Quartiers-App der erste Bauabschnitt ausgewählt, um eine möglichst frühe Umsetzung und Einbindung der erfassten Messwerte in die App zu ermöglichen. Es wurde ein Messkonzept für eine detaillierte Erfassung aller notwendigen Verbräuche und Raumklimadaten nach den Bedarfen der Quartiers-App in hoher Zeitauflösung für alle Wohnungen im Bauabschnitt erarbeitet und mit den Projektpartnern und Planern abgestimmt.

Zusätzlich wurden im ersten Bauabschnitt Messtellen zur etwas detaillierteren Erfassung des Energieverbrauchs auf Gebäudeebene vorgesehen (siehe Bild 122), um Nebenverbräuche und Leitungsverluste der Wärmeleitungen zwischen den Gebäuden besser beurteilen und von den Verbräuchen der Nutzer unterscheiden zu können. Zudem ermöglichen diese Messwerte eine gute Überprüfbarkeit der Plausibilität aller Einzelverbräuche im Gebäude in Bezug auf dem Gesamtverbrauch.

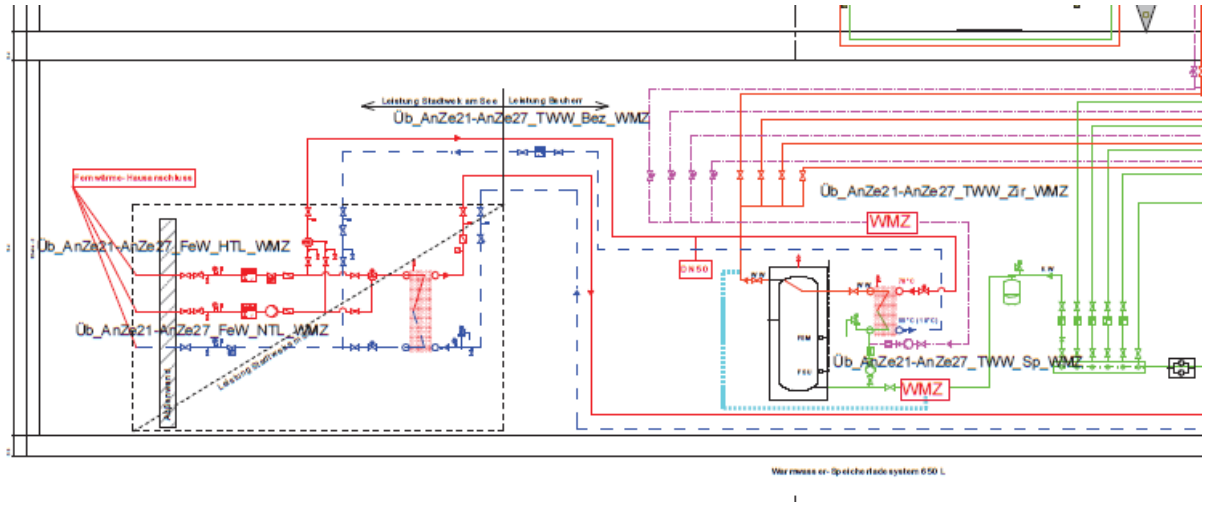


Bild 122:
Auszug Messstellenübersicht HLK-Planung 1. Bauabschnitt Quartierserweiterung Schättlisberg.

Die Neubauten der BGÜ werden außerdem mit gebäudeweisen PV-Anlagen und Batterieanlagen ausgestattet. Auch hier wurde die Erfassung der notwendigen Messwerte für Stromerzeugung, -speicherung und -verbrauch – hier für alle Bauabschnitte - vorgesehen (siehe Bild 123).

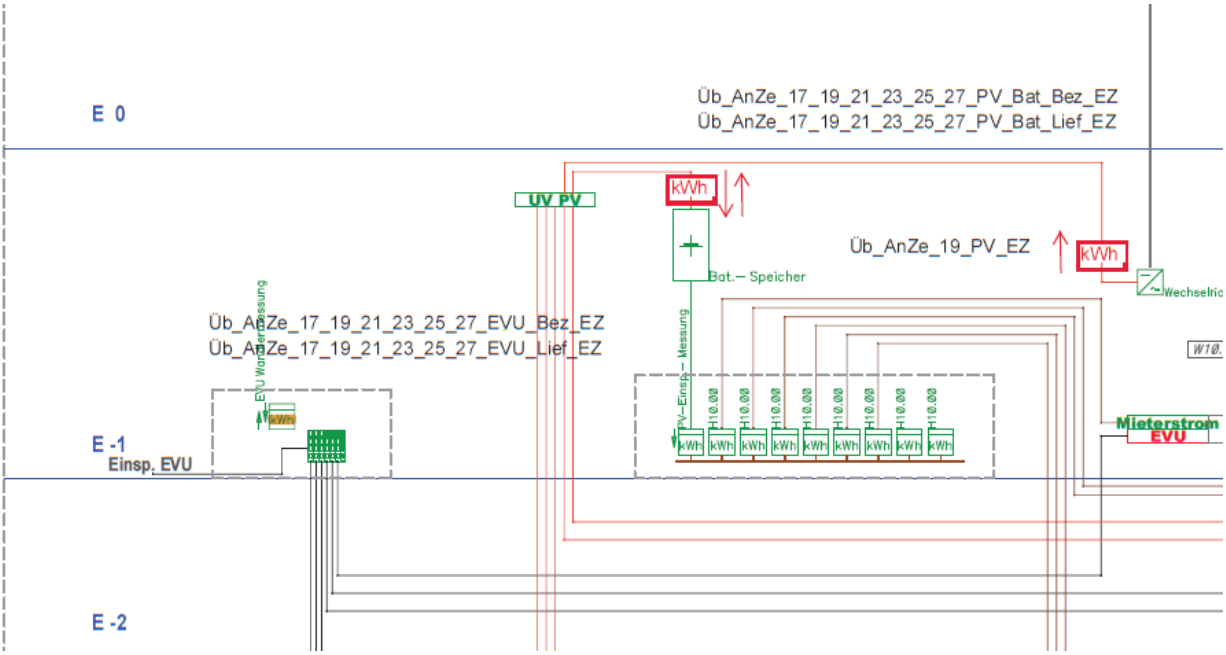


Bild 123:
Auszug Messstellenübersicht HLK-Planung 1. Bauabschnitt Quartierserweiterung Schättlisberg.

Um Kostenüberschreitungen im Messtechnikbudget zu minimieren, wurden für die Bauabschnitte 2 und 3 die Messpunkte auf das absolut notwendige Maß für eine energetische Bewertung im Quartier reduziert. Eine Anbindung an die Quartiers-App war hier nicht vorgesehen.

Die Erfassung der Stromverbräuche und -erzeugung im Quartier Schättlisberg wurde über einen externen Energieversorger umgesetzt. Das Unternehmen übernimmt hierzu auch die Stromabrechnungen gemäß dem Mieterstrommodell. Die Daten werden dem Projekt über eine Datenschnittstelle zu dessen Datenbank zur Verfügung gestellt. Ursprünglich war geplant, die Daten über eine Schnittstelle mit anonymisierter Datenabfrage zur Verfügung zu stellen, dies konnte aus technischen Gründen jedoch nicht umgesetzt werden. Daher können wohnungsweise Messwerte (personenbezogene Daten) trotz Datenschutzvereinbarung aktuell nur bei Wohnungen mit Zustimmung der Nutzer zur Datenverarbeitung in der Quartiers-App abgerufen werden. Diese werden dann über eine Pseudonymisierung (vertrauliche Zuordnung von Wohnungsnummer und Messwert) in der zentralen Messdatenbank gespeichert. Da nur wenige Wohnungsnutzer diese Freigabe erteilten, waren die wohnungsweisen Stromverbräuche für das erneute Einlernen des GridOptimizers (siehe Kapitel 2.14) während der Projektlaufzeit nicht in ausreichendem Umfang verfügbar. Um trotzdem die Stromverbräuche der Wohnungen in Summe pro Gebäude für eine energetische Bilanzierung zu erhalten, können aktuell nur alle gemessenen Sonderstromverbräuche vom Gesamtverbrauch der jeweiligen Gebäude abgezogen werden. Eine direkte Messung der Wohnungssumme des Stromverbrauchs ist aufgrund der Anordnung der Stromkreise nicht kosteneffizient umzusetzen.

Die Erfassung der Wasser- und Wärmeverbräuche erfolgt über M-Bus-Zähler. Für die zentrale Datenerfassung müssen die Daten im Raster der Messintervalle über die M-Bus-Gateways von der zentralen Messwerterfassung ausgelesen und (pseudonymisiert) in der Datenbank gespeichert werden.

In Zusammenarbeit mit dem Stadtwerk am See sowie der Energieagentur Ravensburg wurde ein Messkonzept für das Wärmenetz und insbesondere für den Neubauabschnitt des 3-Leiter-Wärmenetzes in der Quartierserweiterung erarbeitet. Eine vollständige messtechnische Bilanzierung der Wärmeverluste im Wärmenetz ist aufgrund der offenen Ringstruktur nicht möglich. Zur abschätzenden Bewertung der Wärmeverluste über das Netz wurden jeweils an der gebäudeweisen Übergabestation Wärmemengenzähler mit M-Bus-Schnittstelle vorgesehen (im Bestand jeweils ein Zähler je angeschlossener Gebäudegruppe/Übergabestation, im Neubaugebiet je zwei separate Wärmemengenzähler pro Übergabestation für den Hochtemperatur- und Niedertemperaturanschluss). So kann anhand der jeweiligen Vor- und Rücklauftemperaturen abschätzend ein mittleres Temperaturniveau in den einzelnen Leitungen des Wärmenetzes ermittelt werden. Zusätzlich wurde eine Messung der Systemtemperaturen im Bereich der Anbindung an das Bestandsnetz (Hildegardring) sowie im Bereich des Ringschlusses (Christian-Lahusen-Straße) mit eingeplant. Die Erfassung der Stromverbräuche im Bestand wurde je Gebäudegruppe vorgesehen. Dort wo eine direkte Erfassung an den Häusern nicht möglich ist, wurden Stromzähler an der Trafostation geplant.

Die für die Energiezentrale der Stadtwerk am See vorgesehenen Messpunkte zur Bewertung der Erzeugerseite (siehe Bild 124) können direkt über eine von den Stadtwerken betriebene Gebäudeleittechnik erfasst werden. Diese wurde sukzessive um die benötigten Messstellen (z. B. Solarthermiefeld) erweitert. Lediglich im Bereich der Hilfsenergieaufwendungen ließ sich keine durchgängige Trennung der Hilfsenergien je Wärmeerzeuger realisieren (lediglich die Hilfsenergien für das Solarthermiefeld, BHKW und Hackschnitzel-Kessel werden separat erfasst). Alle Messdaten aus der Energiezentrale werden über die zentrale Gebäudeautomatisation erfasst. Die für das Monitoring notwendigen Messdaten werden vor Ort in einer Datei gespeichert und einmal pro Stunde per Email an den zentralen Datenserver verschickt. Dort werden sie auf Vollständigkeit überprüft und in die zentrale Datenbank eingepflegt.

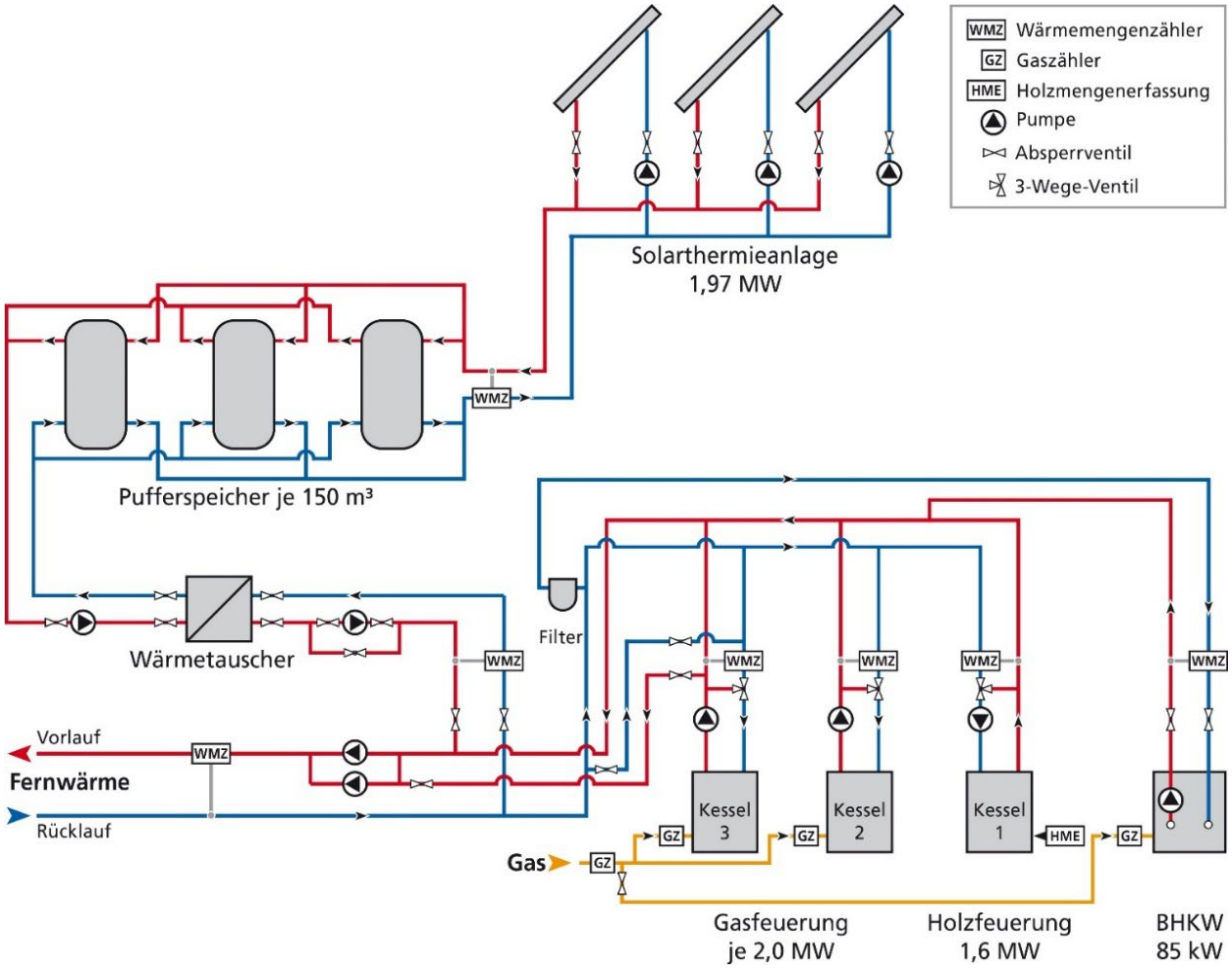


Bild 124:
Messstellenübersicht Solarthermiefeld und Energiezentrale.

Um alle Messdaten zentral auswerten und für die Quartiers-App verarbeiten zu können, wurde eine Messwerterfassung vorgesehen, welche die Daten aus allen Datenquellen sammelt und in einer zentralen Datenbank speichert. Bild 125 zeigt die Kommunikationsstruktur für diese zentrale Datenerfassung, die mit den Projektpartnern an allen relevanten Schnittstellen abgestimmt wurde. Für die personenbezogenen Daten wurde eine pseudonymisierte Speicherung entsprechend dem erarbeiteten Datenschutzkonzept vorgesehen. Zusätzlich zum Konzept der Datenerfassung wurde eine funktionale Ausschreibung für die Umsetzung der Arbeiten erstellt und die Ausschreibung über die BGÜ begleitet.

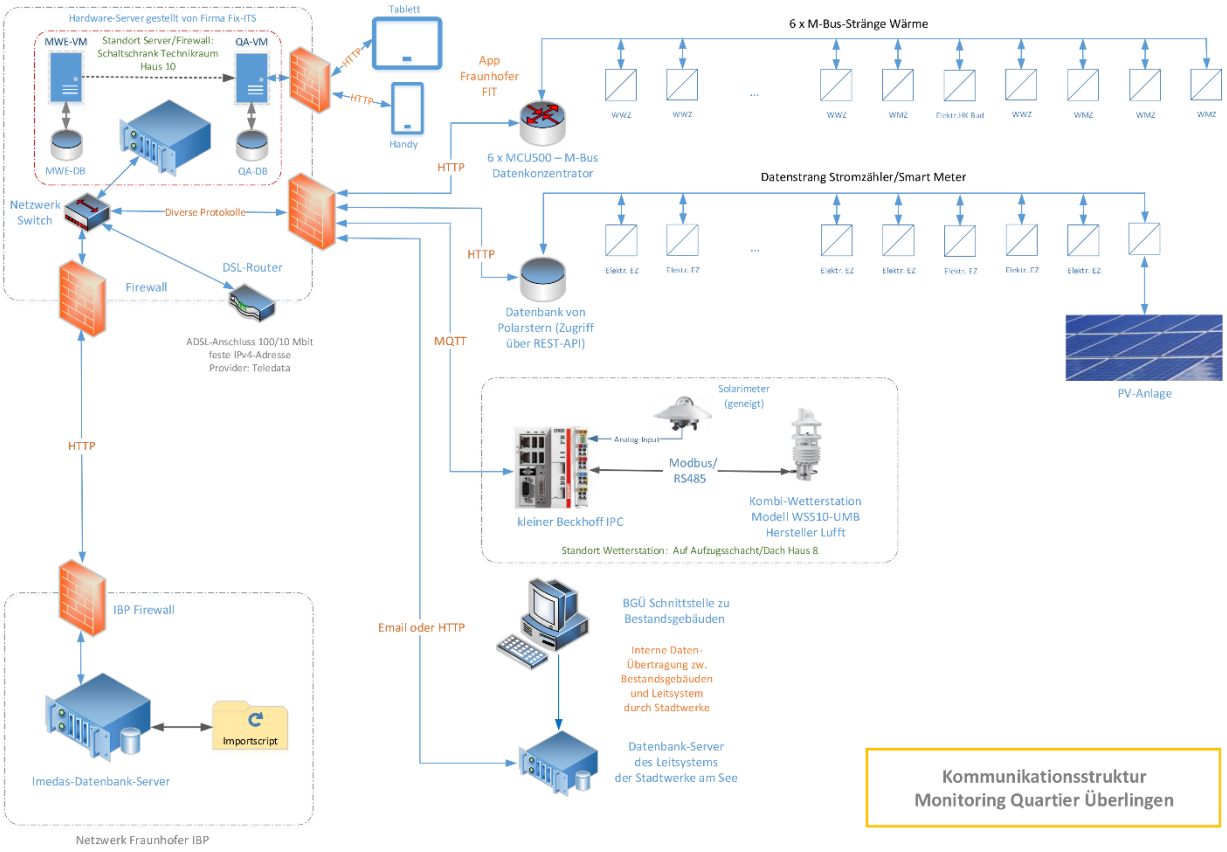


Bild 125:
Kommunikationsstruktur der Messwerterfassung im Quartier Schättlisberg.

Bis zum Ende der Projektlaufzeit wurden aus der Wärmezentrale und aus dem Wärmenetz nur ein Teil der gemäß Messkonzept vorgesehenen Datenkanäle an die zentrale Messwerterfassung regelmäßig verschickt. Auch die Einbindung der Messwerte aus dem 1. Bauabschnitt war noch nicht vollständig abgeschlossen, da es bei der Einbindung der M-Bus-Gateways immer wieder zu einzelnen Problemen bei der Datenübertragung kam. Die Einbindung der Messpunkte aus dem 2. und 3. Bauabschnitt wurde vorbereitet, konnte jedoch innerhalb der Projektlaufzeit nicht mehr beauftragt werden. Aus diesen Gründen war eine Überprüfung der Plausibilität der Messwerte nur teilweise möglich, eine Überprüfung der Vollständigkeit der Messwerte konnte nicht durchgeführt werden.

Weiterführende Informationen:

- Dokumentiertes Messkonzept für das Stadtquartier Überlingen [Beckert 2024]

2.17 Mitarbeit im IEA EBC Annex 72

Leitung und Bearbeitung des Arbeitsbereichs: Fraunhofer IBP

2.17.1 Aufgabenstellung

Während der Laufzeit des Vorhabens STADTQUARTIER 2050 wurden die vorgesehenen Arbeiten um die Mitarbeit im inhaltlich bezüglich der Ökobilanzbewertung verwandten IEA EBC Annex 72 [IEA EBC 2023] ergänzt. Der Annex setzte sich international und wissenschaftlich mit dem Thema der ökologischen Gebäudebewertung und der Ermittlung von Umweltwirkungen auf Gebäudeebene auf Basis der Methode der Ökobilanz und vor dem Hintergrund der Klimaneutralität auseinander. Er verfolgte u.a. die Ziele methodischen Konsensus voran zu treiben und die Methode der Ökobilanz besser mit Werkzeugen der Gebäudeplanung (bspw. auf Basis von Building Information Modeling, BIM) zu verknüpfen.

Eine Anbindung des Vorhabens STADTQUARTIER 2050 an die Aktivitäten des parallel laufenden IEA EBC Annex 72 war ursprünglich in Form der Leitung und inhaltlichen Ausgestaltung von Arbeiten im Rahmen der „Activity 2.4“ des Annex zur Definition von Anforderungen an den Datenaustausch für die Ökobilanz mit Blick auf die Gebäudeebene und die Quartiersebene geplant sowie durch die Einbindung eines Anwendungsbeispiels (Use Case). Durch die Mitarbeit im Annex sollte einerseits sichergestellt werden, dass die zu definierenden Strukturen für den Datenaustausch und die Anforderungen zum Informationsaustausch im Vorhaben STADTQUARTIER 2050 anwendbar sind. Zum anderen sollten die Anforderungen aus Sicht des Quartierskontextes aus dem Projekt in den Annex zurück gespiegelt werden, um den Rahmen der bisherigen Anwendbarkeit vom Gebäudekontext in den Quartierskontext gegebenenfalls zu erweitern, im mindesten aber zu gewährleisten.

Die geplanten Arbeiten gliederten sich in:

- Die inhaltliche Mitarbeit im Rahmen des Subtask 2 „Building assessment workflow and tools“,
- Berichtswesen, insbesondere Beitrag zum Bericht „Building assessment workflows and tools,“
- Eine Publikation in einem Fachjournal,
- Die Teilnahme an Projekttreffen

2.17.2 Vorgehen

Im Laufe der Arbeiten im Annex und in den Diskussionen zur Arbeitsplanung zeigte sich schnell, dass sowohl die Ressourcen zur technischen Umsetzung der Annex-Partner in Bezug auf Datenaustauschformate und BIM als auch potenzielle Anwendungsbeispiele nur limitiert vorlagen. In Abstimmung mit den verantwortlichen Annex-Partnern wurden die ursprünglichen Arbeitsziele im Annex innerhalb der Activity 2.4 daher angepasst, und auf die Potenziale zur Nutzung von Ökobilanz-Informationen und zur Unterstützung für Entscheidungsträger in frühen Planungsphasen (Design) ausgerichtet. Die Arbeiten des Fraunhofer IBP konzentrierten sich damit verstärkt auf die Analyse von Ökobilanz-Tools in Bezug auf Funktionalität, Nutzbarkeit etc. in unterschiedlichen Anwendungskontexten und Planungsstufen im Bereich der Gebäudeökobilanz.

Die Teilnahme an einer BIM Case Study durch das Fraunhofer IBP fand im Rahmen des Subtask 5 des Annexes statt. Hierbei wurden verschiedene Arbeitsabläufe zur Integration von BIM und Ökobilanz getestet, um Unterschiede bei der Massen- und Mengenermittlung für das Gebäudemodell (sog. „Bill of Quantities, BoQs“) und der Ableitung von Sachbilanz- (LCI) bzw. Wirkungsabschätzungsergebnissen (LCIA) zu bewerten, die sich aus der Wahl verschiedener BIM-LCA-Workflows und/oder Tools/Datenbanken ergeben.

Die durchgeführten Arbeiten des Fraunhofer IBP im Annex gliederten sich deshalb in:

- Die inhaltliche Mitarbeit im Rahmen des Subtask 2 „Building assessment workflow and tools“ und den Beitrag zum Berichtswesen in diesem Subtask.

- Die Teilnahme an Projekttreffen, als Leiter der „Activity 2.4“.

- Eine Publikation in einem Fachjournal.

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung, welche Potenziale zur Nutzung von Ökobilanz-Informationen und zur Unterstützung für Entscheidungsträger in frühen Planungsphasen bestehen, wurde eine umfassende Umfrage und Erhebung zu Ökobilanz-Tools im Gebäudekontext durch das Fraunhofer IBP konzipiert, durchgeführt und ausgewertet. Die Erhebung wurde mit Hilfe des Tools LimeSurvey® [LimeSurvey 2024] durchgeführt und durch persönliche Interviews ergänzt. Die Erhebung und die Umfrage wurden in kontinuierlichem Austausch mit den Annex-Partnern diskutiert und präsentiert (u. a. Teilnahme an Subtask-Treffen und IEA EBC A72 Gesamttreffen). Die Ergebnisse wurden intern und im Detail im Background-Report „Designer’s Toolbox for Building LCA“ [Di Bari 2023] dokumentiert und sind in kondensierter Form in den Bericht „Guidelines for Design Decision-Makers (Annex 72)“ [Passer 2023] eingeflossen.

In Bezug auf Datenaustauschformate und Anforderungen zur Integration von Ökobilanz-Informationen über Building Information Modelling (BIM) hat das Fraunhofer IBP zu einer aus dem Annex heraus definierten BIM Case Study beigetragen. Ziel war es, den bisher am Fraunhofer IBP definierten Ansatz [Horn 2020] zum Ökobilanz-Datenaustausch auf Gebäudeebene im internationalen Kontext zu spiegeln. Für die Durchführung der Case Study wurde ein IFC-basiertes [ISO 2024] Gebäudemodell an die Annex-Partner übergeben, dass mit Hilfe der vorhandenen Ansätze zum Datenaustausch auf Integrationsfähigkeit und Automatisierbarkeit für das Gebäudeökobilanz-Ergebnis getestet wurde. Seitens des IBP wurde hierzu das Gebäudeökobilanz-Tool GENERIS® [Fraunhofer IBP 2024-4] verwendet. Als Datengrundlage fungierte die ÖKOBAUDAT, Version 2021-II [BMWSB 2021-2]. Methodische Vorgaben zur Generierung des Ökobilanzergebnisses wurden im Annex an die vorhandenen Normen im Bauwesen (z. B. DIN EN 15978 [Beuth 2012]) ausgerichtet. Die Ergebnisse der Teilnahme an der Case Study wurden in den Bericht des Subtask 5 „Assessing life cycle related environmental impacts caused by buildings: Case study collection“ [Birgisdóttir 2023] integriert.

2.17.3 Ergebnisse

Als Projektergebnisse im Rahmen der Annex-Arbeit sind v. a. Beiträge zu Berichten (u. a. auch ein unveröffentlichter Sub-Report zur Erhebung zu den vorhandenen Ökobilanz-Tools) und Fachpublikationen entstanden (siehe auch weiterführende Informationen).

Datenaustauschformate / Anforderungen zur Integration von Ökobilanz-Informationen über Building Information Modelling (BIM)

In Bezug auf Datenaustauschformate und Anforderungen zur Integration von Ökobilanz-Informationen über Building Information Modelling (BIM) wurden folgende Erkenntnisse gewonnen [Soust-Verdaguer 2020]:

- Die systematische Differenzierung und Klassifizierung von Gebäudekomponenten, -elementen und -materialien über den Lebenszyklus etc. unterstützt die ökologische Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz). Es wird hierbei zwischen einer vertikalen und eine horizontalen Hierarchie differenziert, die u. a. auch seitens der deutschen Norm DIN 276 [Beuth 2018-2] abgebildet wird. Die vorhandenen Systeme zur Klassifizierung sind z. T. sehr heterogen - mit direkten Auswirkungen auf die Nutzbarkeit der Gebäudeinformationen im Rahmen von BIM, die Kopplung dieser Informationen an Ökobilanzdatenbanken und die Vergleichbarkeit von Ökobilanzergebnissen innerhalb der vertikalen und/oder horizontalen Hierarchie.

- Je hierarchischer und dichter die Gebäudeelement-Klassifizierung aufgesetzt wird, desto komplexer und höher ist der Aufwand bei einer vollständiger Abbildung des Gebäudemodells. Es bestehen aber auch große Potenziale zur vereinfachten Nutzung in der Planungsbegleitung und -entwicklung, da im Planungsverlauf auch mit mehreren Ebenen und Hierarchien gearbeitet werden kann.

- Fehlende Vergleichbarkeit von Ökobilanz-Ergebnissen, insbesondere in den Subebenen des Gebäudes oder während unterschiedlicher Planungsphasen, können durch Zuordnung (Mapping) der unterschiedlichen Klassifizierungssysteme an möglichst unabhängige Standards (wie z. B. IFC [ISO 2024] bzw. die sogenannten Level of Developments (LOD) [BIMForum 2023]) adressiert werden.

BIM-LCA Case Study

Wesentliche Erkenntnisse und Ergebnisse über die Teilnahme an der BIM-LCA Case Study können wie folgt festgehalten werden:

- Für die verschiedenen nationalen Ansätze zur Verknüpfung von BIM und Ökobilanz sind der Regel immer notwendig bzw. werden verwendet: die Definition einer Gebäudegeometrie, eine Materialdefinition und eine Material-/Stückliste. Für die Energiebedarfsberechnung und/oder thermische Simulationen werden häufig EnergyPlus und/oder Design-Builder genutzt.

- In der Regel werden mehrere Software-Lösungen statt einer voll-integrierten BIM-Lösung genutzt, um sowohl das Thema Energie als auch das Thema Ökobilanz im Kontext BIM zu adressieren. Die für die Ökobilanz genutzten Prozesse bzw. Tools zur BIM-Integration können in den nachfolgenden Stufen beschrieben werden, mit sinkendem Grad der Automation von Stufe (1) zu Stufe (4):

    - Stufe (1): spezialisierte Ökobilanzsoftware mit BIM-Integration über Plug-Ins oder einem eigenständigen BIM-Modul, mit hoher Automatisierung, langem Entwicklungszeitraum und Notwendigkeit von Anwendungspartnern aus der Industrie.

    - Stufe (2): Ökobilanzsoftware, die den Prozess durch Skripting-Schnittstellen an bestehende Software (z. B. Rhino Grasshopper, Revit Dynamo) oder über andere Skriptsprachen (z. B. Python, Matlab) ermöglichen, mit steigender Akzeptanz und Beliebtheit in der Planungspraxis.

    - Stufe (3): BIM-basiertes Ergebnis mit Unterstützung von Tabellenkalkulationsprogrammen. Die Daten werden für die weitere Analyse

aus der BIM-Umgebung extrahiert und anschließend über Tabellenkalkulationsprogramme weiter verarbeitet.

- Stufe (4): manuelles Ergebnis per Tabellenkalkulationsprogramm mit hohem Zeitaufwand aber hoher Transparenz bei Weitergabe.

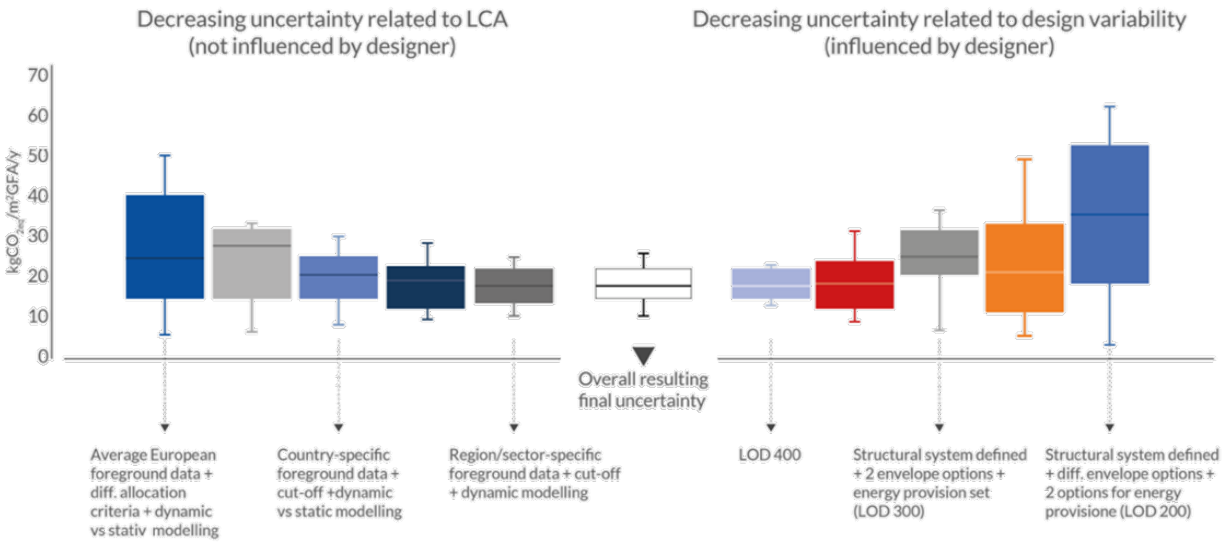


Bild 126:
Mögliche Quellen für Unsicherheiten in der Gebäudeökobilanz, differenziert nach Möglichkeit zur Einflussnahme durch den Planenden [Passer 2023].

- Ökobilanz-inhärente Unsicherheiten (siehe Bild 126), auf welche der Planende keinen Einfluss über BIM nehmen kann, welche aber mit hoher Unsicherheit auf das Ergebnis der Gebäudeökobilanz verbunden sind, sind u. a. die Abbildung des Energiesystems und/oder die Berücksichtigung zeitlicher und/oder dynamischer Effekte in den Ökobilanz-Hintergrunddaten. Diese können durch die Wahl von passenden nationalen/regionalen Hintergrunddaten minimiert werden.

- Unsicherheiten in Bezug auf die Gebäudeökobilanz (siehe Bild 126), auf welche der Planende Einfluss nehmen kann, stellen z. B. die zugrundeliegenden Energiebedarfsdaten für das Gebäude, oder die Wahl der berücksichtigten Gebäudebestandteile dar. Diese können über einen strukturierten Ansatz der Level of Development (LOD) [BIMForum 2023] im Rahmen der Gebäudemodellierung und Planungsbegleitung über BIM adressiert und präzisiert werden.

Nutzung von Ökobilanz-Informationen in frühen Planungsphasen

In Bezug auf die Bearbeitung der Fragestellung, welche Potenziale zur Nutzung von Ökobilanz-Informationen und zur Unterstützung für Entscheidungs-

träger in frühen Planungsphasen bestehen, konnten folgende Erkenntnisse aus der Umfrage und dem Feedback von knapp 70 Teilnehmenden abgeleitet werden [Passer 2023], [Di Bari 2023]:

- Verfügbare Tools für die Gebäudeökobilanz zeigen vermehrt Gemeinsamkeiten in Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit und die Konformität mit methodischen Anforderungen der Gebäudeökobilanz – aber auch eine hohe Variabilität in Bezug auf ihre Funktionalität. Herausforderungen, mit denen sich die Tools in der Regel (immer wieder) konfrontiert sehen sind die Zuverlässigkeit in Bezug auf die Vollständigkeit und Korrektheit der Ergebnisse sowie die eigene Interkonnektivität.

- Die Anzahl der Ökobilanztools mit Bezug zum Stadtkontext ist eher gering und berücksichtigt in der Regel nur die betriebsbedingten Emissionen, nicht aber die konstruktionsbedingten („grauen“) Emissionen. Ein Großteil der Tools ist bereits ab der Entwurfsphase einsetzbar. Benchmark-basierte Ansätze werden bisher nur vereinzelt verfolgt.

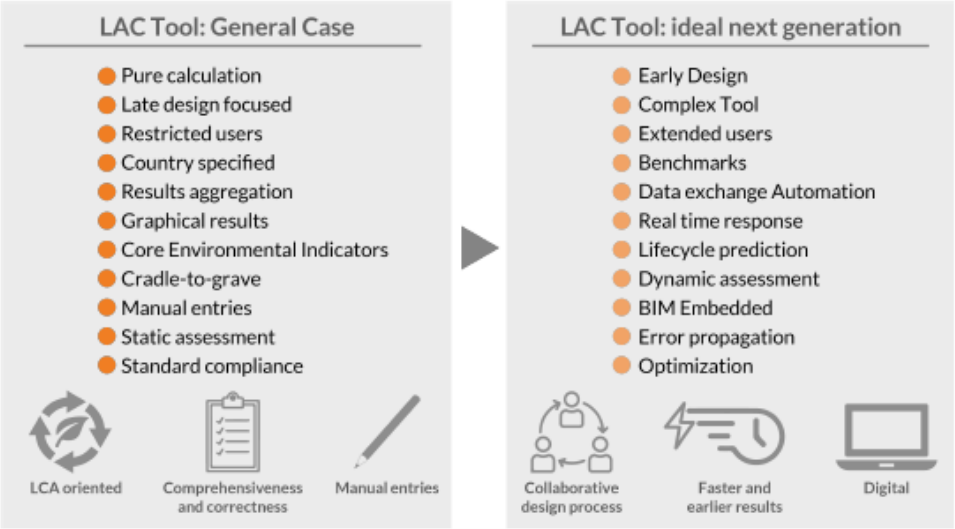


Bild 127:
Synthese aus der Analyse von Ökobilanz-Tools: Allgemeine (linke Seite) und ideale „Next-Generation“ Tools (rechte Seite) [Passer 2023].

- Ideale „Next-Generation“ Tools (siehe Bild 127) werden in den kollaborativen Entwurfsprozess eingebettet sein. Die ökologische Analyse wird nicht mehr nur retrospektiv unter unveränderlichen („statischen“) Randbedingungen erfolgen, sondern echtzeitbasiert mit entsprechender Interkonnektivität (BIM, Geoinformation – GIS etc.) und benchmark-basiertem Ansatz in die frühen Planungsphasen eingebunden sein müssen.

- Schnelle und robuste Aussagen zur Ökobilanz unter begrenzter Informationsbasis und mit verbesserter Kommunikation in Bezug auf Unsicherheiten, Ergebnisabweichungen und potenzieller Fehlerfortpflanzung

werden auch eine verbesserte Datenbasis und die Arbeit mit statistischen Werkzeugen notwendig machen, um benchmark-basierte Ansätze besser zu unterstützen.

Die Erkenntnisse und Arbeiten im Annex stützen damit die Lösungsansätze im Projekt STADTQUARTIER 2050 in Bezug auf die Notwendigkeit von Ökobilanz-Tools für die frühe Planungsphase (siehe auch Kapitel 2.15). Zum anderen zeigen die Arbeiten im Annex aber auch auf, dass weiterhin Forschungsbedarf in Bezug auf die Harmonisierung von Datenstrukturen und den Umgang zur Vereinfachung der methodischen Komplexität des Themas Ökobilanz für die Anwendenden besteht, ohne wissenschaftliche Belastbarkeit durch inkonsistente Daten oder durch fehlende Abbildung von Wechselwirkungen zu verlieren.

Weiterführende Informationen:

- Fachpublikation “Implications of using systematic decomposition structures to organize building LCA information: A comparative analysis of national standards and guidelines” [Soust-Verdaguer 2020]
- Projektberichte des IEA EBC Annex 72:
    - “Guidelines for design decision-makers (Annex 72)” [Passer 2023]
    - “Assessing life cycle related environmental impacts caused by buildings: Case study collection” [Birgisdóttir 2023].

3 Veröffentlichungen

In den fünf Projektjahren erarbeiteten die Projektpartner folgende Veröffentlichungen:

- Buchveröffentlichungen:
    - Mitherausgabe des gemeinsamen Buchs der vernetzten Projekte aus der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“: Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts [Leonhardt 2024].
    - Kapitel „Presenting the lighthouse of energy transition “STADTQUARTIER 2050” im Buch “Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts” [Görres 2024-1]
    - Kapitel “Solutions for Climate Neutral District Concepts” im Buch “Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts” [Schrade 2024]
- Konferenzbeiträge:
    - World Sustainable Energy Days 2023: Standardisierte Prozedur für die Entwicklung von klimaneutralen Versorgungskonzepten veranschaulicht an zwei Demoquartieren [Schrade 2022-2].
    - Bauphysiktage in Weimar 2024: Klimaneutral Easy – Planungstool für die klimaneutrale Energieversorgung von Wohnquartieren [Stegmaier 2024].
    - BEYOND 2020 – World Sustainable Built Environment conference 2020: Implications of using systematic decomposition structures to organize building LCA information: A comparative analysis of national standards and guidelines [Sous-Verdaguer 2020].
- Research Paper:
    - HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 2021: Handlungsempfehlungen für die Gestaltung mobiler Apps in smarten und nachhaltigen Quartieren [Bonenberger 2021]
    - Business & Information Systems Engineering, 2023: The Design of Citizen-Centric Green IS in Sustainable Smart Districts [Graf-Drasch 2023-3]

- Zeitungsartikel:
    - Artikel im Südkurier, 07.09.2018 (elekronische Version)

SÜDKURIER | https://www.suedkurier.de/9882818

ÜBERLINGEN 07. September 2018, 18:00 Uhr

Großer Wurf für Wohnungsmarkt: Nahezu 170 Wohnungen am Hildegardring in Überlingen

In Überlingen fällt der Startschuss für ein neues Stadtquartier der Baugenossenschaft. Hier entstehen nahezu 170 Wohnungen unterschiedlichen Zuschnitts. Oberbürgermeister Jan Zeitler verspricht sich "spürbaren Beitrag an bezahlbarem Wohnraum, die Durchschnittsmiete soll bei 9 Euro liegen.



Mit einem Riesenspaten legten sich Oberbürgermeister Jan Zeitler (Mitte) und die beiden BGÜ-Geschäftsführer Andreas Huther (links) und Dieter Ressel schon mal mächtig ins Zeug. Weit kamen sie ob des trockenen, harten Bodens zwar nicht, doch sie hatten zahlreiche Zuschauer. | Bild: Hanspeter Walter Journalist-Texte-Bilder

VON HANSPETER WALTER

Große Vorhaben brauchen große Symbole. Das hat sich Volker Eisenhut, Projektleiter der Baugenossenschaft Überlingen (BGÜ), für das neue Wohnquartier "Nördlich Hildegardring" am Schättlisberg, auch gedacht, als er die Veranstaltung zum offiziellen Spatenstich vorbereitete.

Wohnungen entstehen in drei Etappen

Für den Startschuss zum Neubau von nahezu 170 Wohnungen, die in drei Etappen erstellt werden, konnte das Handwerkszeug daher nicht groß genug sein. So bestellte Eisenhut in einer Thüringer Spezialschmiede einen Riesenspaten mit über drei Meter langem Handgriff, an dem sich Oberbürgermeister Jan Zeitler mit den beiden BGÜ-Geschäftsführern Dieter Ressel und Andreas Huther mächtig ins Zeug legen konnte. Flankiert von Architekten und Planern, von Vertretern der Baufirmen und Banken, von Stadträten, interessierten Bürgern und Nachbarn.

Bild 128:
Seite 1 von 4 des Artikels zum Projekt im Südkurier, 07.09.2018.

- Artikel im Südkurier, 08.09.2018



LINGEN · SALEM · MEERSBURG · STETTEN

SAMSTAG, 8. SEPTEMBER 2018

Großer Wurf für Wohnungsmarkt

- Startschuss für neues Stadtquartier
- Nahezu 170 Wohnungen am Hildegardring
- Durchschnittsmiete bei 9 Euro pro Quadratmeter

VON HANSPETER WALTER

Überlingen – Große Vorhaben brauchen große Symbole. Das hat sich Volker Eisenhut, Projektleiter der Baugenossenschaft Überlingen (BGÜ), für das neue Wohnquartier „Nördlich Hildegardring" am Schärtlisberg, auch gedacht, als er die Veranstaltung zum offiziellen Spatenstich vorbereitete. Für den Startschuss zum Neubau von nahezu 170 Wohnungen, die in drei Etappen erstellt werden, konnte das Handwerkszeug daher nicht groß genug sein. So bestellte Eisenhut in einer Thüringer Spezialschmiede einen Riesenspaten mit über drei Meter langem Handgriff, an dem sich Oberbürgermeister Jan Zeitler mit den beiden BGÜ-Geschäftsführern Dieter Ressel und Andreas Huther mächtig ins Zeug legen konnten. Flankiert von Architekten und Planern, von Vertretern der Baufirmen und Banken, von Stadträten, interessierten Bürgern und Nachbarn.

„Einen spürbaren Beitrag an bezahlbarem Wohnraum", verspricht sich Oberbürgermeister Jan Zeitler von dem Großprojekt, dessen erster Abschnitt bis zum Jahr 2020 schon realisiert sein soll. Die Baumaschinen stehen in den Startlöchern, um die ersten Baugruben auszuheben, wie Architekt Gerhard Metzger erklärte, der trotz des straffen Zeitplans guter Dinge ist. Entstehen werden insgesamt 167 Wohnungen ganz unterschiedlichen Zuschnitts. „Es soll damit eine soziale und altersmäßige Durchmischung sichergestellt werden", sagte Jan Zeitler. „Nein, es werden keine Eigentumswohnungen gebaut", betonte der OB auf Nachfrage einer Bürgerin noch einmal ausdrücklich: „Das werden Genossenschaftswohnungen."

Ganz wichtig ist Zeitler auch die Tatsache, dass sich die Stadt mit dem Verkauf der Grundstücke ein Belegungsrecht für 30 Wohnungen der BGÜ „langfristig" gesichert habe. Sollte im Einzelfall eine der Neubauwohnungen zu teuer sein, könne diese Belegung auch im übrigen Bestand der BGÜ in Anspruch genommen werden. Um weitere neue Ideen vorzustellen, kündigte der OB die zugesagte Bürgerversammlung zum Thema Wohnen für den 25. Oktober an.

Den hohen Anspruch an das neue Wohnquartier skizzierte BGÜ-Geschäftsführer Dieter Ressel aus verschiedenen Perspektiven. Deutlich mehr als 40 Millionen Euro investiere die Genossenschaft in dieses Vorhaben, das für die Region eine „eher ungewöhnliche Größe" habe. Davon müsse die BGÜ Mittel im zweistelligen Millionenbereich über die Banken finanzieren. Vor diesem Hintergrund stellte Ressel die Gretchenfrage: „Was bedeutet ‚bezahlbarer Wohnraum'?" Die BGÜ habe bei dieser Einordnung den „Durchschnittsverdiener" im Blick. Dies bei einer energetisch sehr hochwertigen und nachhaltigen Bauausführung und der Schaffung einer hohen Aufenthaltsqualität. Die Bewohner sollten künftig „ein Abbild unserer Gesellschaft sein", so Ressels Vorstellungen. Eine Heimat finden solle hier ebenso der „junge Manager" wie der „pflegebedürftige Senior". Dies ist in den Grundrissen berücksichtigt. Als Experiment wird es eine große „Cluster"-Wohnung geben, die sich für Wohngemeinschaften verschiedener Art eignet.

„Hier wird Politik konkret", sagte Bundestagsabgeordneter Lothar Riebsamen (CDU) und verwies auf das Pilotprojekt Stadtquartier 2050, das hier in Kooperation mit der Stadt Stuttgart und wissenschaftlichen Instituten als klimaneutrales und zugleich sozialverträglich gestaltetes Quartier beispielhaft realisiert werden soll. Finanzielle Fördermittel sind zwar von zwei Bundesministerien bereitgestellt, doch noch sind die Modalitäten für wichtige Zuschüsse nicht in trockenen Tüchern. Die „soziale Durchmischung" war auch Riebsamen ein wichtiges Anliegen, die von ihm genannte Zahl als Durchschnittsmieten war mit 6,84 Euro pro Quadratmeter allerdings zu utopisch und stammte aus dem Altbestand der BGÜ. Geschäftsführer Dieter Ressel beeilte sich daher, Riebsamens zu optimistische Zahl richtig zu stellen. „Im Moment kommen wir bei unseren Kalkulationen im Durchschnitt auf etwa 8,92 Euro Miete pro Quadratmeter", so Projektleiter Volker Eisenhut.

„Einen großen Tag für Überlingen" erkannte dennoch auch Landtagsabgeordneter Martin Hahn (Grüne), der viele Jahre selbst dem Stadtrat angehört hatte: „Was hier entstehen kann, ist ein großer Wurf", erklärte er. Mit diesem Vorhaben in „wunderbarer Lage" komme die Stadt mit dem Mietwohnungsmarkt „ein gutes Stück weiter". Wichtig sei ihm persönlich auch die Frage: „Wer verdient daran?"

Deshalb freue er sich, dass das Projekt mit einem genossenschaftlichen Gedanken realisiert werde. Sanierungen seien bei der Marktlage „etwas schwierig", sagte Hahn. „Doch wenn wir bei den Neubauten das Mögliche tun, kommen wir auch beim Klima weiter."

So soll das neue Quartier einmal aussehen: Im Zentrum befindet sich der autofreie Anger als Begegnungsraum, im Gebäude rechts ist im Erdgeschoss ein Café geplant und ganz oben auf dem Dach eine öffentliche Aussichtsplattform. BILD: BGÜ, ARCHITEKTEN

Mit einem Riesenspaten legten sich Oberbürgermeister Jan Zeitler (Mitte) und die beiden BGÜ-Geschäftsführer Andreas Huther (links) und Dieter Ressel schon mal mächtig ins Zeug. Weit kamen sie ob des trockenen, harten Bodens zwar nicht, doch sie hatten zahlreiche Zuschauer. BILD: HANSPETER WALTER

Keine Satellitensiedlung

Neben den unterschiedlich dimensionierten Wohnungen, die zu einer guten Durchmischung an Bewohnern beitragen soll, kommen der sogenannte Anger als autofreier Aufenthaltsbereich zwischen den beiden Gebäudezeilen, Begegnungsmöglichkeiten für Bewohner und Nachbarn sowie eine Aussichtsterrasse mit Blick auf Stadt und See. Das Stadtquartier soll nicht als Satellit auf Umlaufbahn sein, sondern an den Gebäudebestand am Hildegardring sozial, aber auch nach Möglichkeit auch energietechnisch angeschlossen werden. Auch darum geht es im Projekt Stadtquartier 2050, an dem nicht nur Bauphysiker forschend tätig sind. Präsent war auch die Sozialwissenschaftlerin Annette Roser vom Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES) in Karlsruhe, die das Gespräch zu Nachbarn suchte. Dazu ist eine Quartiers-App in Planung, über die die Bewohner in sozialen Kontakt treten können, aber auch ein Feedback zum eigenen Energieverbrauch bekommen.

Besonderheit des Konzepts ist es auch, dass die vorgeschriebenen ökologischen Ausgleichsflächen nicht im Wald bei Denklingen oder anderswo bereitgestellt werden, sondern unmittelbar angrenzend an die Bebauung. „Ein breiter Streifen des benachbarten Maisackers wird mit Bäumen und echten Hecken ökologisch aufgewertet", betont Architekt Gerhard Metzger. Zudem werde es hier auch Gelegenheiten für die Bewohner geben, sich hier einen eigenen kleinen Nutzgarten anzulegen. (hpw)

Bild 129:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt im Südkurier, 08.09.2018.

- Artikel in der Stuttgarter Zeitung, 09.04.2021



Meine StZ Schlagzeilen **Stuttgart** Stadtbezirke Region Baden-Württemberg

Startseite > Stuttgart > Bund gibt Geld für zukunftsträchtiges Projekt

Ehemaliges Bürgerhospital in Stuttgart

Bund gibt Geld für zukunftsträchtiges Projekt

09.04.2021 - 17:09 Uhr

Diese Bebauung ist beim früheren Bürgerhospital geplant. Foto: Pesch-Partner

Zusammen mit Überlingen am Bodensee will die Stuttgart vorexerzieren, wie man klimaneutrale Stadtviertel schafft und die Wohnungspreise trotzdem bezahlbar hält. Das gemeinsame Forschungs- und Bauprojekt ist zwei Bundesministerien einen hohen Millionenzuschuss wert.

Josef Schunder

Bild 130:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt in der Stuttgarter Zeitung, 09.04.2021.

- Artikel in den Stuttgarter Nachrichten, 09.04.2021

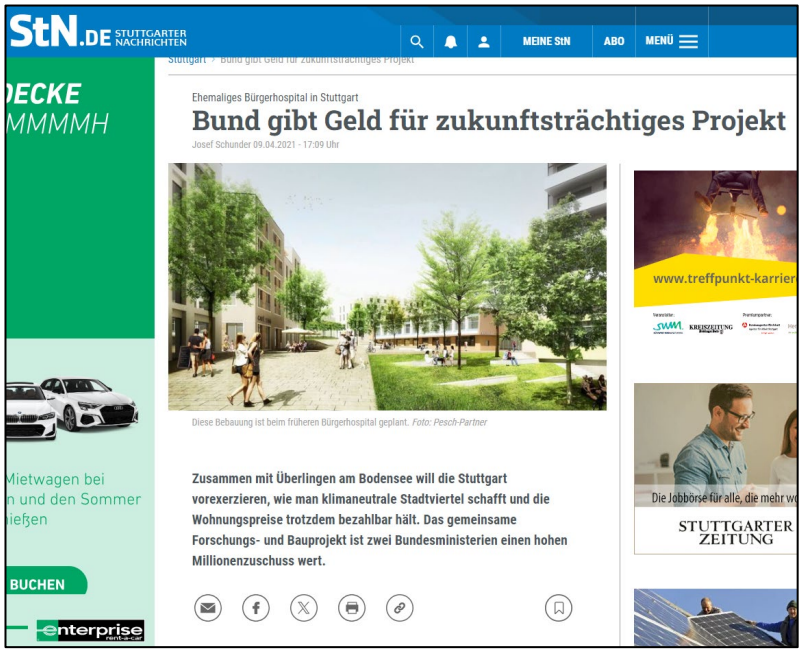


Bild 131:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt in den Stuttgarter Nachrichten, 09.04.2021.

- Artikel in der Schwäbischen Zeitung, 10.04.2021



Bild 132:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt in der Schwäbischen Zeitung, 10.04.2021.

- Artikel im Südkurier, 10.04.2021



ÜBERLINGEN

ANZEIGE
Jetzt bei uns Kräuter für Ihren Küchengarten
Owingen · ✆ 07551/60132
LINZGAU BAUMSCHULE

NACHRICHTEN

BÜCHERNACHT

Großes Vergnügen für alle Literaturfreunde

Überlingen – Die erste digitale „Lange Nacht der Bücher" am heutigen Samstag ist ein Beitrag zum Stadtjubiläum 1250 Jahre Überlingen und wird unter www.ueberlingen.de ausgestrahlt. Das Programm startet um 16 Uhr, Martin Walser liest dann aus seinem Buch „Sprachlaub oder: Wahr ist, was schön ist", mit Bildern von Alissa Walser. Der Kurzfilm „Die ganze Welt ist voller Wunder" wird um 18 Uhr ausgestrahlt. Peter Graubach führt ab 18.30 Uhr in die Ausstellung ein: „Überlingen legendär! 1250 Jahre sagenhafte Stadtgeschichte". Die Ravensburger Schriftstellerin Katrin Seglitz trägt ab 19 Uhr aus ihrem Roman „Schweigenberg" vor. Ab 20 Uhr wird Harald Lenskis Theaterstück „Götterdämmerung 4.0" gezeigt. Letzter Programmpunkt sind die „Gutenachtgeschichten", die Oswald Burger ab 22 Uhr erzählt.

BUNDESZUSCHUSS

Quartiersentwicklung wird gefördert

Das hätte Sie gestern am Ufer erwartet

- Coronabedingt konnte Landesgartenschau nicht eröffnen
- Rundgang mit Geschäftsführerin Edith Heppeler
- So schön sind die einzelnen Bereiche geworden
- Text, Bilder: Stefan Hilser, Video unter: www.sk.de/10781118

Startklar: So präsentiert sich die Landesgartenschau 2021 am 9. April, an dem Tag, an dem sie im zweiten Anlauf eigentlich starten sollte. Das Bild entstand in den Villengärten.

Der Veranstaltungskalender ist voll, unter anderem mit einem Auftritt der Südwestdeutschen Philharmonie auf der Seebühne, gemeinsam mit einem Chor des Gymnasiums Überlingen. Rund 3000 Veranstaltungen und Programmpunkte sind über das ganze LGS-Gelände bis in den Herbst vorgesehen. Nachdem jetzt der Start verzögert wurde, sei es denkbar, einen Teil der jetzt ausfallenden Termine nach hinten zu verlegen, sagt Edith Heppeler, LGS-Geschäftsführerin.

Punktgenau blüht der Frühjahrsflor, auch die Stauden sind schon gut angewachsen,

BUNDESZUSCHUSS

Quartiersentwicklung wird gefördert

Überlingen/Stuttgart – Überlingen und die Landeshauptstadt erhalten vom Bund einen Zuschuss in Höhe von 13,5 Millionen Euro für ein gemeinsames Forschungsprojekt zur klimaneutralen und innovativen Quartiersentwicklung. Das hat die Stadt Stuttgart gestern mitgeteilt. Das Projekt ist eines von sechs Leuchtturmprojekten, das aus mehr als 60 bundesweit eingereichten Beiträgen ausgewählt wurde. Das Überlinger Demonstrationsquartier umfasst sowohl die Erweiterung eines städtischen Randgebiets durch Neubau als auch die energetische Sanierung bereits vorhandener Wohnbebauung. Um das Ziel Klimaneutralität zu erreichen, müssen höchste energetische Standards und die Versorgung mit Energie auf Basis erneuerbarer Energie erreicht werden. Zusätzlich wird mit dem Projekt die Schaffung von bezahlbarem Wohnraum verfolgt.

Bild 133:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt im Südkurier, 10.04.2021.

- Artikel im Hallo Ü, 29.04.2021

DONNERSTAG, 29. APRIL 2021 / NR. 17

überlingen

Integriertes Quartierskonzept für die Überlinger Altstadt

Der Klimawandel schreitet immer weiter voran und erfordert Wege zu finden, wie auch Überlingen seinen Beitrag zur Energiewende leisten kann.
Die denkmalgeschützten Gebäude sind ein Beweis für die Geschichtsträchtigkeit der Stadt Überlingen und haben eine identitätsstiftende Wirkung. Doch aufgrund ihrer vielen Altbauten weist die Altstadt großes Energiespartpotenzial auf. Deshalb hat die Stadt Überlingen das Stadtwerk am See, mit Gemeinderatsbeschluss vom 21.10.2020, dazu beauftragt, eine Konzeptstudie für eine zukunftsfähige und nachhaltige Energieversorgung für unsere Altstadt zu erstellen.

Das Untersuchungsgebiet ist in der beigefügten Karte zu sehen.
Ziel der Konzeptstudie ist es Einsparpotenziale ausfindig zu machen, um eine klima- und sozialverträgliche Energieversorgung zu ermöglichen. Zu den Anpassungsmöglichkeiten zählen die Nutzung erneuerbarer Energien, ebenso wie die Steigerung der Energie-Effizienz. Betrachtet werden dabei die beiden Bereiche der Wärme- sowie Stromversorgung. Zusätzlich sollen alternative Mobilitätskonzepte untersucht werden. Langfristig soll Elektromobilität dabei helfen, die Luftverschmutzung und den Lärm in der Altstadt zu reduzieren und damit die Lebensqualität weiter anzuheben. Die Kombination aus Energie- und Mobilitätskonzept kann maßgeblich dazu beitragen, die Überlinger Altstadt als attraktiven Wirtschafts- und Wohnstandort zu sichern.

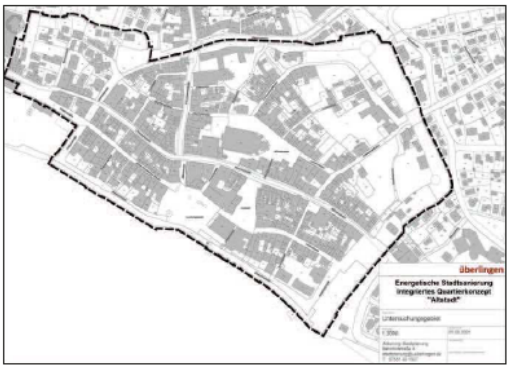
Bei der Erstellung dieses Konzepts sind das Stadtwerk am See und die Stadtplanung Überlingen insbesondere auf die Unterstützung der BewohnerInnen und EigentümerInnen der Altstadt-Gebäude angewiesen. Da die Lösungen im Rahmen der Studie passgenau auf die Bedürfnisse vor Ort abgestimmt werden sollen, werden betroffene BürgerInnen von Beginn an miteinbezogen: Mittels Fragebogen werden die Gegebenheiten und Bedürfnisse abgefragt, um den Belangen vor Ort gerecht zu werden. Wir bitten die BewohnerInnen und EigentümerInnen der Altstadtwohnungen um ihre Zeit an der Befragung teilzunehmen.

Ein weiterer Baustein, um den Interessen vor Ort gerecht zu werden, ist die Einrichtung eines Arbeitskreises. Neben der Stadt und dem Stadtwerk am See, nehmen Vertreter verschiedener politischer Gruppen, Vereine und im Altstadtgebiet ansässige Wirtschaftstreibende teil.

Das Konzept soll im Dezember 2021 in Form eines Berichts fertiggestellt und abschließend im Gemeinderat vorgestellt werden. Gefördert wird das Projekt durch die KfW, im Rahmen des Programms „Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager".

Für Fragen und Anregungen kontaktieren Sie uns über die Projektmail:
altstadt-energie@ueberlingen.de
Zur Homepage:
https://www.ueberlingen.de/startseite/bauen+_+wohnen/energetische+stadtsanierung.html

Abteilung Stadtplanung



Gemeinsames Forschungsprojekt für klimaneutrales und bezahlbares Wohnen: Stuttgart und Überlingen erhalten 13,5 Mio. Euro Förderung

Die Landeshauptstadt Stuttgart und die Bodenseestadt Überlingen erhalten vom Bund einen Zuschuss in Höhe von 13,5 Millionen Euro für ein gemeinsames Forschungsprojekt zur zukunftsweisenden, klimaneutralen und innovativen Quartiersentwicklung. Das hat die Landeshauptstadt Stuttgart am Freitag, 9. April, bekanntgegeben.

Über die Bewilligung eines ressortübergreifenden Forschungsprojekts aus der Förderinitiative „Solares Bauen / Energieeffiziente Stadt" der Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) sowie Wirtschaft und Energie (BMWi) dürfen sich jetzt alle Projektpartner und assoziierte Partner des Verbundvorhabens „Stadtquartier 2050" freuen. Das Projekt, das sich mit der zukunftsgerechten Neugestaltung zweier Stadtviertel befasst, ist eines von insgesamt sechs sogenannten „Leuchtturmprojekten", das aus mehr als 60 bundesweit eingereichten Beiträgen ausgewählt wurde.

Die Leuchtturmprojekte, wozu auch das Verbundvorhaben „Stadtquartier 2050" aus Stuttgart und Überlingen gehört, sollen unter besonderer Berücksichtigung einer sozialverträglichen Gestaltung aufzeigen, wie in Stadtquartieren der Energieverbrauch gesenkt, die Vernetzung von Strom, Wärme und Mobilität intelligent gelingen und erneuerbare Energien sinnvoll integriert werden können, ohne dabei gleichzeitig das Ziel der Erhaltung und Schaffung von bezahlbarem Wohnraum zu gefährden. Die ausgewählten Vorzeigequartiere dienen als beispielhafte Lösungsansätze, in denen unter Einbeziehung aller relevanten Akteure innovative Konzepte sowohl erforscht als auch gleichzeitig umgesetzt werden.

Beim Stuttgarter Teilprojekt des „Stadtquartier 2050" wird ein ehemaliges Krankenhausareal zu einem neuen Stadtquartier umgebaut. Das Überlinger Demonstrationsquartier umfasst sowohl die Erweiterung eines städtischen Randgebiets durch Neubau als auch die energetische Sanierung bereits vorhandener Wohnbebauung. Um das Ziel „Klimaneutralität" zu erreichen, müssen bei beiden Teilprojekten höchste energetische Standards und die Versorgung mit Energie auf Basis erneuerbarer Energie erreicht werden. Zusätzlich wird mit dem Projekt die Schaffung von bezahlbarem Wohnraum für soziale Ausgeglichenheit und wirtschaftlicher Tragfähigkeit für die Investoren verfolgt.

DONNERSTAG, 29. APRIL 2021 / NR. 17

Mit ersten Forschungsergebnissen des bis 2023 geförderten Projekts kann bereits in 2021 gerechnet werden. In Kürze wird die Projekthomepage www.stadtquartier2050.de über den Projektfortschritt informieren. Zu den Projektpartnern von „Stadtquartier 2050" gehören: Baugenossenschaft Überlingen eG (BGÜ), Energieagentur Ravensburg gGmbH, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart GmbH, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München (FIW), Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT), Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien IREES GmbH, Landeshauptstadt Stuttgart, puren gmbh, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See GmbH & Co. KG, Universität Stuttgart. Assoziierte Partner sind Saint-Gobain und die Stuttgarter Wohnungs- und Städtebaugesellschaft mbH (SWSG).

Weitere Informationen zum Projekt „Stadtquartier 2050" sind erhältlich bei: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Dr. Jürgen Görres, Gaisburgstr. 4, 70182 Stuttgart, Telefon 0711-21688668, per Mail unter juergen.goerres@stuttgart.de oder unter www.stadtquartier2050.de.

Bild 134:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt im Hallo Ü, 29.04.2021.

- Artikel im Südkurier, 15.09.2021



ÜBERLINGEN

SÜDKURIER NR. 213 | UE
MITTWOCH, 15. SEPTEMBER 2021

www.suedkurier.de/ueberlingen

17

NACHRICHTEN

GUGGENBÜHL

Mann täuscht Seniorin und fordert Geld

Überlingen – Ein Unbekannter ist am Montag gegen 14.30 Uhr in ein Einfamilienhaus im Guggenbühl spaziert und hat eine 88-jährige Bewohnerin aufgefordert, angeblich offene Rechnungen zu begleichen. Jetzt ermittelt die Polizei Überlingen. Der Mann habe sich als ein Bekannter ausgegeben. Die 88-Jährige glaubte, es handle sich um den ehemaligen Gärtner der Familie, und gab ihm einen dreistelligen Euro-Betrag. Der Unbekannte forderte mehr Geld, bis die Frau den zeitnahen Besuch ihrer Tochter ankündigte, woraufhin der Tatverdächtige das Haus verließ. Der Betrüger soll 20 bis 35 Jahre alt sein, war gut gekleidet und trug eine Schildmütze. Er habe schwäbischen Dialekt gesprochen. Wer Informationen zu dem Mann hat, wird gebeten, sich bei der Polizei unter Telefon 0 75 51/80 40 zum melden.

KURSAAL

Benefizkonzert für afghanische Ortskräfte

Überlingen (lup) Ein Benefizkonzert zugunsten afghanischer Ortskräfte findet am Freitag, 17. September um 19 Uhr im Kursaal am See statt. Gemeinsam mit der Diakonie unterstützt die Flüchtlingshilfe Überlingen damit das Patenschaftsnetzwerk Afghanische Ortskräfte. Es unterstützt Afghanen, die deutschen Sicherheitskräften bei ihrem Einsatz den Kontakt zur Bevölkerung durch Übersetzungsarbeit und Informationen ermöglicht hätten, sagt Organisator Michael Keimeyer von der Flüchtlingshilfe. Der Diskussion und den Fragen stellt sich Lucas Wehner vom Patenschaftsnetzwerk. Neben der Rockband Tricoustic aus Pullendorf tritt der afghanische Musiker Shekib Mosadeq auf, der für seine politisch motivierten Liedtexte bekannt ist. Informationen unter www.diakonie-ueberlingen.de.

LANDESGARTENSCHAU

Beispiele für Biologie und Ökologie am Bau

Überlingen – Um Geschichten vom grünen Bauen und Wohnen geht es am Freitag, 17. September von 17 bis 19 Uhr im Grünen Salon in den Villengärten der Landesgartenschau. Alexander Ilg erklärt im Rahmen von „Perspektive Zukunft" an Beispielen aus seinem Berufsalltag, dass Baubiologie und Bauökologie mehr sind als Akupunktur am Gebäude.

Ein Leuchtturm der Klimaneutralität?

- Stadtquartier 2050 als Pilotprojekt mit Stuttgart
- Nötige Solarthermieanlage gefällt aber nicht allen

VON HANSPETER WALTER
ueberlingen.redaktion@suedkurier.de

Überlingen – Klimaschutz und Energiewende sind in aller Munde – so schwärmen Stadtverwaltung und Baugenossenschaft gerne vom „Leuchtturmprojekt" des „Stadtquartiers 2050" nördlich des Hildegardrings, das inzwischen in seinen Konturen erkennbar ist und sich der finalen Phase der Fertigstellung nähert. Tatsächlich ist das vom Bund an verschiedenen Stellen geförderte Vorhaben, das in Kooperation mit der Landeshauptstadt Stuttgart entsteht und wissenschaftlich begleitet wird, etwas Außergewöhnliches und gehört zu einem halben Dutzend experimenteller Demonstrationsvorhaben in der Republik, die Vorbildcharakter bekommen sollen.

Zu den wichtigen Mosaiksteinen des Gesamtkonzepts gehört eine Heizwärmeversorgung auf der Grundlage einer Solarthermieanlage mit großen Warmwasserspeichern, die das Stadtwerk am See als Projektpartner östlich seiner Hackschnitzelanlage plant. Den erforderlichen Bebauungsplan beschloss der Gemeinderat noch unmittelbar vor der Sommerpause als Satzung.

Speicher reduziert auf zwölf Meter

Hier, bei der Hackschnitzelanlage, sind zwei Sondergebiete ausgewiesen, das größere für die Aufstellung der Kollektoren im östlichen Bereich mit einer maximalen Höhe von 2,5 Metern. Das kleinere angrenzend an das aktuelle Hackschnitzelheizwerk, wo die Technik und die Warmwasserspeicher untergebracht werden. Insbesondere deren Höhe hatte die Kritiker auf den Plan gerufen. Sie konnten erreichen, dass die geplanten Speicher statt ursprünglich 20 Meter nur noch gut zwölf Meter hoch werden sollen.

Ungeachtet dessen beklagte Stadtrat Dirk Diestel (BÜB+): „Wir lehnen das weiterhin ab, da so eine Anlage auf die Dächer gehört. Aus unserer Sicht ist der Flächenverbrauch für eine einzige Nutzung zu hoch." Gegen das Vorhaben und den Bebauungsplan sprach sich auch Stadträtin Sonja Straub (CDU) aus. Der Blick von Aufkirch her auf die Stadt sei „so einmalig", erklärte die Bonndorferin, dass man ihn nicht noch weiter verbauen dürfe.

Dagegen wurde ihr Fraktionssprecher Günter Hornstein „nicht müde, auf die Bedeutung dieses Leuchtturmprojektes hinzuweisen", so der CDU-Stadtrat. Nach Abwägung verschiedener Güter dürfe man durchaus „erkennen, dass Überlingen bei der Energiewende angekommen ist". Nicht weniger begeistert zeigte sich Walter Sorms (LBU/Die Grünen) von dem Vorhaben. „Ich wüsste nicht, wie man das noch besser machen könnte", freute er sich.

Kritiker hatten auch immer wieder beklagt, weshalb die Solarthermiemodule und die Speicher nicht auf den Dächern montiert werden, um den Flächenverbrauch zu vermeiden. Doch dafür gibt es gleich mehrere Gründe. „Da hätten wir überhaupt keinen Platz", erklärt Architekt Gerhard Metzger: „Die Dächer sind vollgepackt mit Fotovoltaik und den erforderlichen Stromspeichern." Denn auch bei der genutzten Elektrizität ist eine nachhaltige Erzeugung Pflicht, um die angestrebte Klimaneutralität sicherzustellen.

Hinzu kommt auch, dass die neue Solarthermie in das bestehende Nahwärmenetz des Stadtwerks integriert wird, das mit dem Hackschnitzelheizwerk schon am Rande des Wohngebiets seinen Ausgangspunkt hat. Und die bestehenden älteren Wohnanlagen der Baugenossenschaft am Hildegardring sollen später ebenfalls daran angeschlossen werden.

Im Quartier 170 neue Wohnungen

Unterdessen sind im neuen Quartier die 80 Wohnungen des ersten Bauabschnitts längst bezogen. Bei der nächsten Etappe läuft der Innenausbau. Diese Gebäude sollen 2022 bezogen werden. Mit den Rohbauten des letzten Abschnitts sind inzwischen bereits die Dimensionen des gesamten Quartiers abgesteckt und erkennbar. Am Ende werden hier in 14 Gebäuden insgesamt 170 neue Wohnungen zur Verfügung stehen, die sich um einen zentralen Begegnungsbereich gruppieren.

Auf der Grünfläche beim derzeitigen Heizwerk des Stadtwerks am See wird ein Solarthermiepark mit Wärmespeichern für das klimaneutrale Stadtquartier der Baugenossenschaft entstehen. BILDER: HANSPETER WALTER

„Ich wüsste nicht, wie man das noch besser machen könnte."

Walter Sorms, Stadtrat (LBU)

„Wir lehnen das weiterhin ab, da so eine Anlage auf die Dächer gehört."

Dirk Diestel, Stadtrat (BÜB+)

Im neuen Stadtquartier erfolgt derzeit der Innenausbau des zweiten Bauabschnitts, der nächstes Jahr bezogen werden kann. Die ersten 80 Wohnungen sind bereits vermietet.

Welche Partner beteiligt sind

- **Gemeinsam mit Stuttgart:** Die Stadt Überlingen ist Partner des geförderten Verbundprojekts „Stadtquartier 2050". Zusammen mit der Stadt Stuttgart wird dabei unter anderem nach Lösungen für die klimaneutrale Energieversorgung von Wohnquartieren gesucht. Dabei wird das jeweils vorhandene ambitionierte städtische Energiekonzept konkret in bewusst unterschiedlichen Wohnquartieren unter dem besonderen Aspekt der sozialverträglichen Mietpreisentwicklung umgesetzt. Das Stadtwerk am See betreibt bereits ein Nahwärmenetz mit Heizzentrale und Blockheizkraftwerk für das Gebiet am Hildegardring. Das Stadtwerk am See engagiert sich daher in diesem Projekt. Da in beiden Städten ähnliche Aufgaben im Bereich der unterschiedlichen Wohnquartiere zu lösen seien, ermögliche dies einen systematischen Ansatz für beide Städte.
- **Partner beim Verbundprojekt:** Das transdisziplinäre Projektkonsortium umfasst die beiden Teams für die Demonstrationsvorhaben (Städte, Wohnungsbaugesellschaften, Energieversorger und weitere Planungsbeteiligte wie Forschungsinstitute und Fachplaner) sowie Experten in den Bereichen Sozialwissenschaft, und Denkmalschutz/Wärmedämmung. Mit den Firmen Saint-Gobain Isover (Ludwigshafen) und Puren (Überlingen) sind zwei Industriepartner in das Vorhaben eingebunden. Das angestrebte Verbundvorhaben wird durch die Landeshauptstadt Stuttgart koordiniert, unterstützt vom Fraunhofer Institut für Bauphysik.

Bild 135:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt im Südkurier, 15.09.2021.

- Artikel im Südkurier, 03.10.2021



SÜDKURIER

Region Regionalsport BaWü SK On Air Digitale Zeitung Trauer Jobs Immo Heima

Kreis Konstanz Bodenseekreis Schwarzwald Hochrhein Linzgau Nachbarschaft Geschichte

ÜBERLINGEN 03. Oktober 2021, 13:30 Uhr

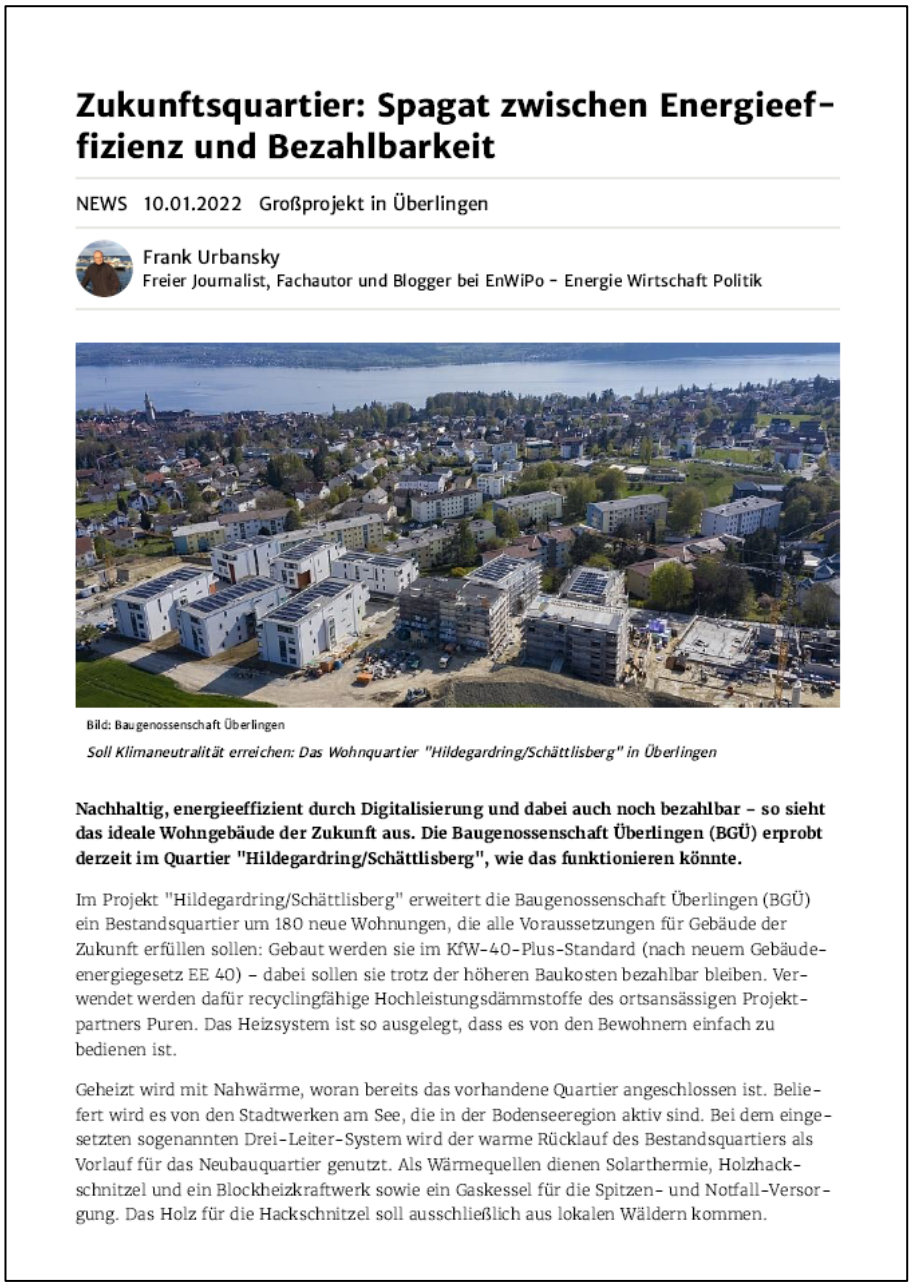
Klimaneutralität im neuen Stadtquartier 2050 funktioniert nur, wenn auch die Bewohner mitziehen

Bei der Umsetzung des klimaneutralen Stadtquartiers 2050 in Überlingen sind neben Bauphysikern auch Sozialwissenschaftler eingebunden. Sie wollen die neuen Bewohner informieren, wie sie zum Ziel der Klimaneutralität beitragen können. Bei einem Tag der offenen Tür der Baugenossenschaft konnten sich Interessierte über das Quartier informieren. Bis 2023/24 entstehen hier 170 Wohnungen in 14 Gebäuden.

Auf dem zentralen Gebäude des neuen Quartiers in Überlingen gibt es eine Terrasse mit Weitblick, die jedem Bewohner zur Verfügung steht. Ein wichtiges soziales Moment sehen darin (von rechts) Geschäftsführer Andreas Huther von der Baugenossenschaft, Architekt Gerhard Metzger und Projektleiter Volker Eisenhuth (BGÜ). Auf den Dächern der fertiggestellten Gebäude sind Fotovoltaik-Anlagen zur Stromgewinnung zu erkennen. | Bild: Hanspeter Walter

Bild 136:
Ausschnitt des Artikels zum Projekt im Südkurier, 03.10.2021.

- Artikel in Haufe.de, 10.01.2022



Zukunftsquartier: Spagat zwischen Energieeffizienz und Bezahlbarkeit

NEWS 10.01.2022 Großprojekt in Überlingen

Frank Urbansky
Freier Journalist, Fachautor und Blogger bei EnWiPo – Energie Wirtschaft Politik

Bild: Baugenossenschaft Überlingen

Soll Klimaneutralität erreichen: Das Wohnquartier "Hildegardring/Schättlisberg" in Überlingen

Nachhaltig, energieeffizient durch Digitalisierung und dabei auch noch bezahlbar – so sieht das ideale Wohngebäude der Zukunft aus. Die Baugenossenschaft Überlingen (BGÜ) erprobt derzeit im Quartier "Hildegardring/Schättlisberg", wie das funktionieren könnte.

Im Projekt "Hildegardring/Schättlisberg" erweitert die Baugenossenschaft Überlingen (BGÜ) ein Bestandsquartier um 180 neue Wohnungen, die alle Voraussetzungen für Gebäude der Zukunft erfüllen sollen: Gebaut werden sie im KfW-40-Plus-Standard (nach neuem Gebäudeenergiegesetz EE 40) – dabei sollen sie trotz der höheren Baukosten bezahlbar bleiben. Verwendet werden dafür recyclingfähige Hochleistungsdämmstoffe des ortsansässigen Projektpartners Puren. Das Heizsystem ist so ausgelegt, dass es von den Bewohnern einfach zu bedienen ist.

Geheizt wird mit Nahwärme, woran bereits das vorhandene Quartier angeschlossen ist. Beliefert wird es von den Stadtwerken am See, die in der Bodenseeregion aktiv sind. Bei dem eingesetzten sogenannten Drei-Leiter-System wird der warme Rücklauf des Bestandsquartiers als Vorlauf für das Neubauquartier genutzt. Als Wärmequellen dienen Solarthermie, Holzhackschnitzel und ein Blockheizkraftwerk sowie ein Gaskessel für die Spitzen- und Notfall-Versorgung. Das Holz für die Hackschnitzel soll ausschließlich aus lokalen Wäldern kommen.

Bild 137:
Seite 1 von 4 des Artikels zum Projekt in Haufe.de, 10.01.2022.

- Artikel im Tagesspiegel Background, 25.04.2024



Kontakt | Preise

TAGESSPIEGEL BACKGROUND

Suchen | Login

Agrar & Ernährung | Cybersecurity | Digitalisierung & KI | **Energie & Klima** | Gesundheit & E-Health | Smart City | Sustainable Finance | Verkehr & Smart Mobility

Energie & Klima

STANDPUNKTE

Falsche Kommunikation gefährdet das Gelingen der Wärmewende

Hans Ulrich Buhl und Jakob Rockstuhl, FIM Forschungsinstitut für Informationsmanagement und Institutsteil Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT FOTO: TIMO GRÜNEKE/FIM, FRAUNHOFER FIT

Hans Ulrich Buhl und Jakob Rockstuhl vom Forschungsinstitut FIM und Fraunhofer FIT kritisieren die aktuelle politische Kommunikation im Wärmesektor gegenüber Eigentümer:innen und Mieter:innen. Diese sei grundfalsch. Für das Gelingen der Wärmewende benötige man einen Perspektivenwechsel: Entscheidend sei, energetische Sanierungen als zukunftsorientierte, sinnvolle Maßnahme und Versicherung gegen künftige Energiepreisrisiken statt als lukrative Investition zu bewerben.

von Ulrich Buhl und Jakob Rockstuhl

veröffentlicht am 25.04.2024
aktualisiert am 06.05.2024

Bild 138:
Ausschnitt aus dem Tagesspiegel Background, 25.04.2024.

- Poster:
    - Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021



STADTQUARTIER 2050

überlingen

Das Projektziel

Die Landeshauptstadt Stuttgart und die große Kreisstadt Überlingen am Bodensee arbeiten zusammen mit zwölf anderen Partnern aus den Bereichen Wohnungsbau, Industrie, Energieversorger und Forschung am Leuchtturmprojekt „STADTQUARTIER 2050" das zwei städtische Wohnviertel sozialverträglich klimaneutral umgestalten will. Dabei sollen die Konzepte auf andere Stadtviertel übertragbar sein.

Unterschiede zwischen der Landeshauptstadt Stuttgart und der großen Kreisstadt Überlingen gibt es zahlreiche. Überlingen ist mit rund 24.000 Einwohnern deutlich kleiner und ländlicher. Als Großstadt weist die Landeshauptstadt ganz andere Voraussetzungen auf.

Doch wo gibt es Überschneidungen? Wo ist der Zusammenhang?

Trotz der Unterschiede sind die Ziele die gleichen – egal ob in Überlingen, Stuttgart oder anderen Kommunen: Klimaneutralität und bezahlbarer Wohnraum!
KLIMANEUTRALITÄT zu Projektbeginn noch bis 2050 (daher auch der Projekttitel) – inzwischen soll dieses Ziel laut Bundesregierung bereits 2045 erreicht werden.
Die Energiewende geht alle Kommunen gleichermaßen etwas an - egal ob klein oder groß - ob urban oder ländlich. Wir wollen das Ziel der Klimaneutralität schon heute gemeinsam angehen!

Auch **BEZAHLBARER WOHNRAUM** ist in beiden Städten rar. Der Druck dieses Problem anzugehen ist groß.
Im Überlinger Demonstrationsquartier im Hildegardring und der Anna-Zentgraf-Straße werden Lösungsansätze für beide Ziele gleichzeitig entwickelt und angewandt.
Parallel werden andere Ansätze im Stuttgarter Projektquartier getestet.
Durch den direkten Vergleich können beide Städte sowie andere Kommunen von den gesammelten Erfahrungen profitieren.

Fragen? Anregungen? Melden Sie sich gerne bei uns:
Tel.: 07551 99-1326
Mail: [illegible]

Was tut sich sonst noch in Überlingen?

Neubaugebiet Südlich Härlen

Warten ist in Sachen Klima keine Option — deshalb ist das Thema auch in der aktuellen Planung schon zu berücksichtigen. Eine Übertragbarkeit der Erfahrungen aus dem SQ2050 ist beispielsweise im Neubaugebiet **Südlich Härlen** zu erwarten.
Das Gebiet könnte z.B. von der gleichen Energiezentrale wie das SQ2050 versorgt werden: Mittels der geplanten Solarthermieanlage und Nahwärmenetz könnte hier dann ebenfalls klimaneutrale Energieversorgung ermöglicht werden. Überschneidungen gibt es auch mit den beteiligten Projektpartnern, ebenso wie in Sachen Beteiligung und Transparenz.

Energetische Konzeptstudie für die Altstadt

Auch die **Altstadt**, als Herzstück Überlingens, soll in Sachen Energiewende voranschreiten. Die Gebäude haben zum Teil schon ein hohes Alter und damit viel Energieeinsparungspotenzial.

Dieses wird aktuell im Rahmen einer energetischen Konzeptstudie untersucht. Die Stadt Überlingen hat hierzu das Stadtwerk am See beauftragt die aktuelle Situation zu prüfen und mögliche Lösungsansätze zu entwickeln. Der Ausbau eines Nahwärmenetz ist auch hier in Diskussion, ebenso wie nachhaltige Mobilitätsansätze. Um passgenau planen zu können, sind, wie im SQ2050, neben den technischen Lösungen die betroffenen Mieter:Innen und Eigentümer:Innen besonders wichtig. Denn letztendlich müssen wir alle zusammen an einem Strang ziehen, um unsere Klimaziele vom Papier in die Realität zu übertragen.

Mehr Infos zum SQ2050 unter der Projekthomepage: www.stadtquartier2050.de

Bild 139:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050, Arbeitsbereiche Stadt Überlingen, am Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021.

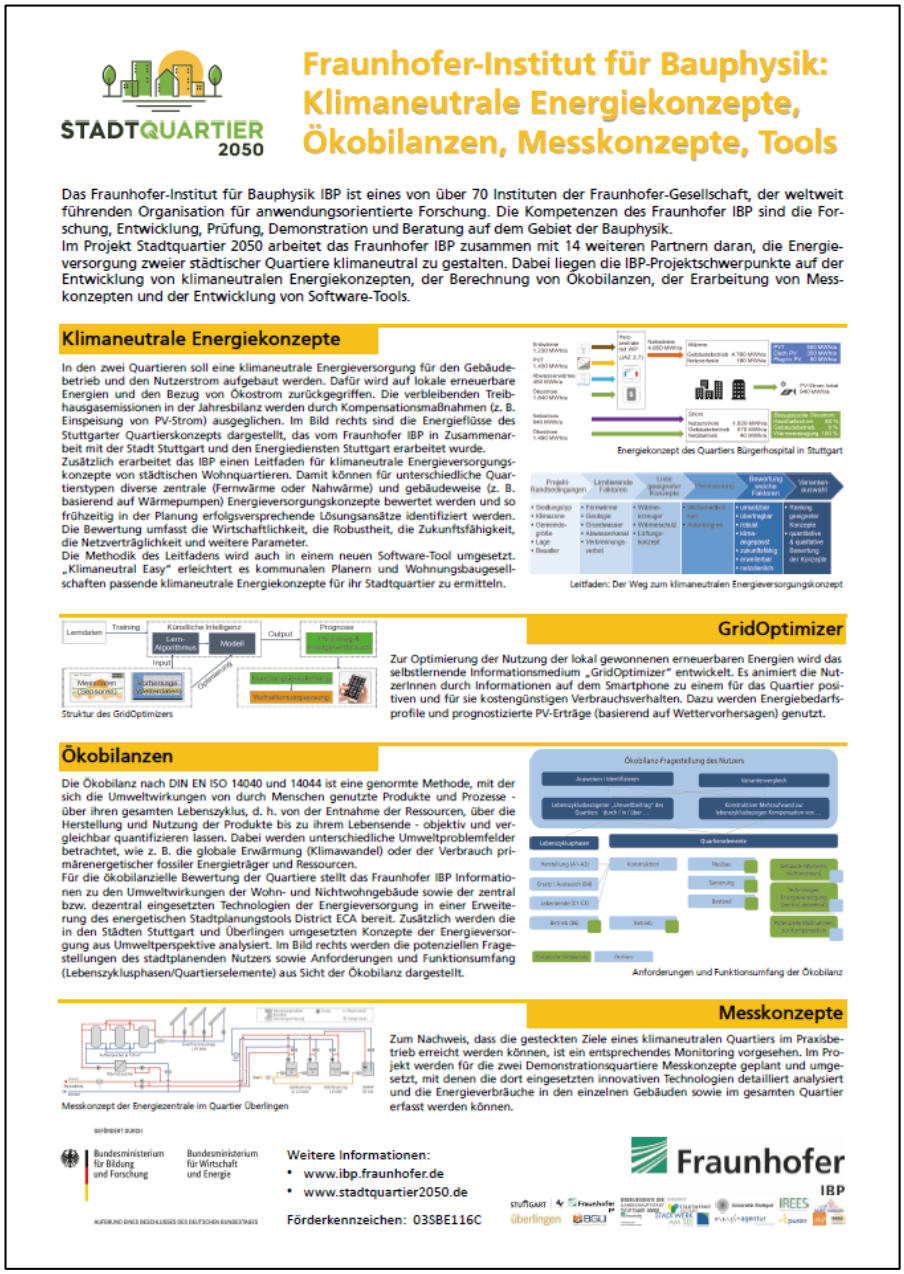


Bild 140:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050, Arbeitsbereiche Fraunhofer IBP, am Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021.



Bild 141:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050, Arbeitsbereiche IREES, am Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021.

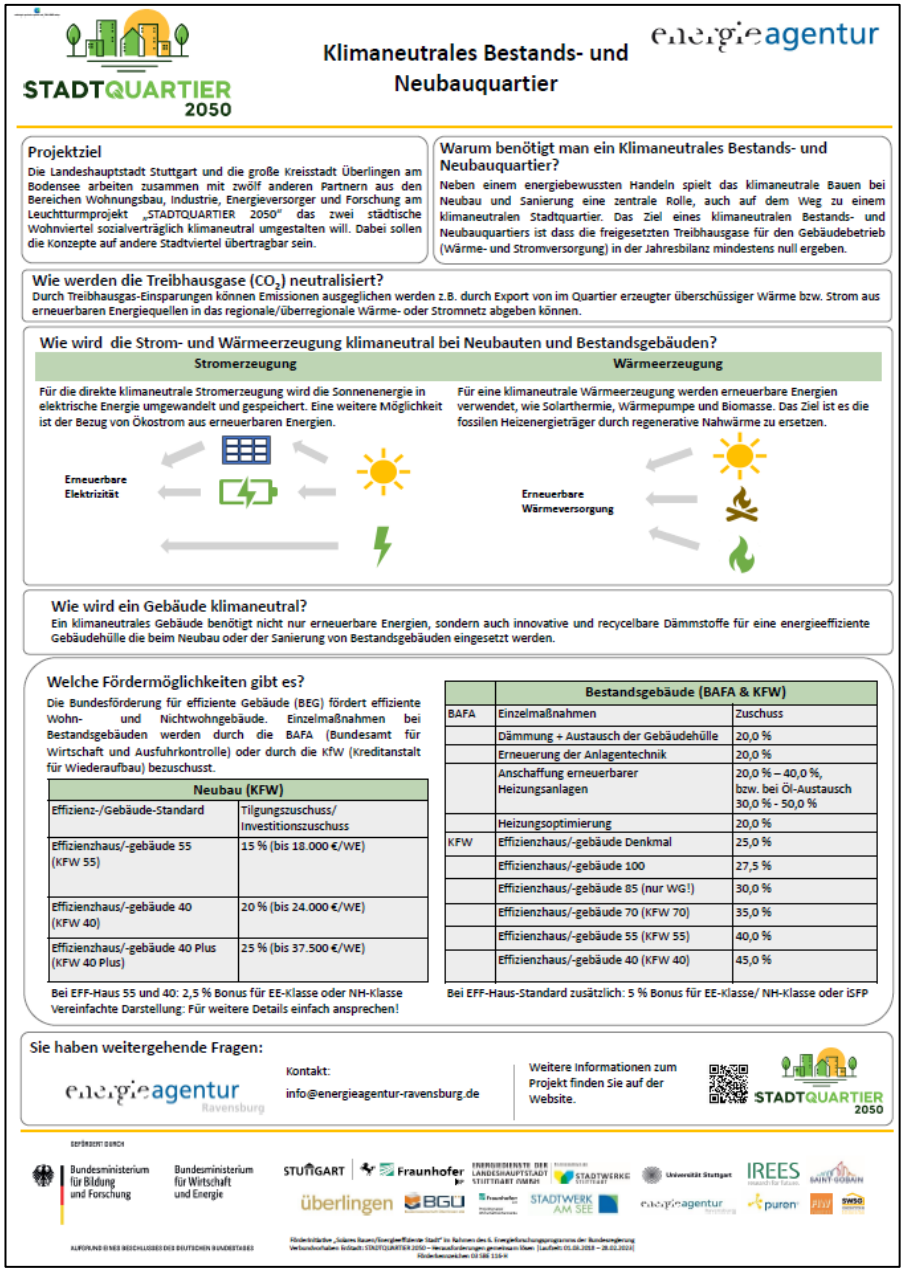


Bild 142:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050, Arbeitsbereiche Energieagentur Ravensburg, am Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021.



Bild 143:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050, Arbeitsbereiche Stadtwerk am See, am Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021.

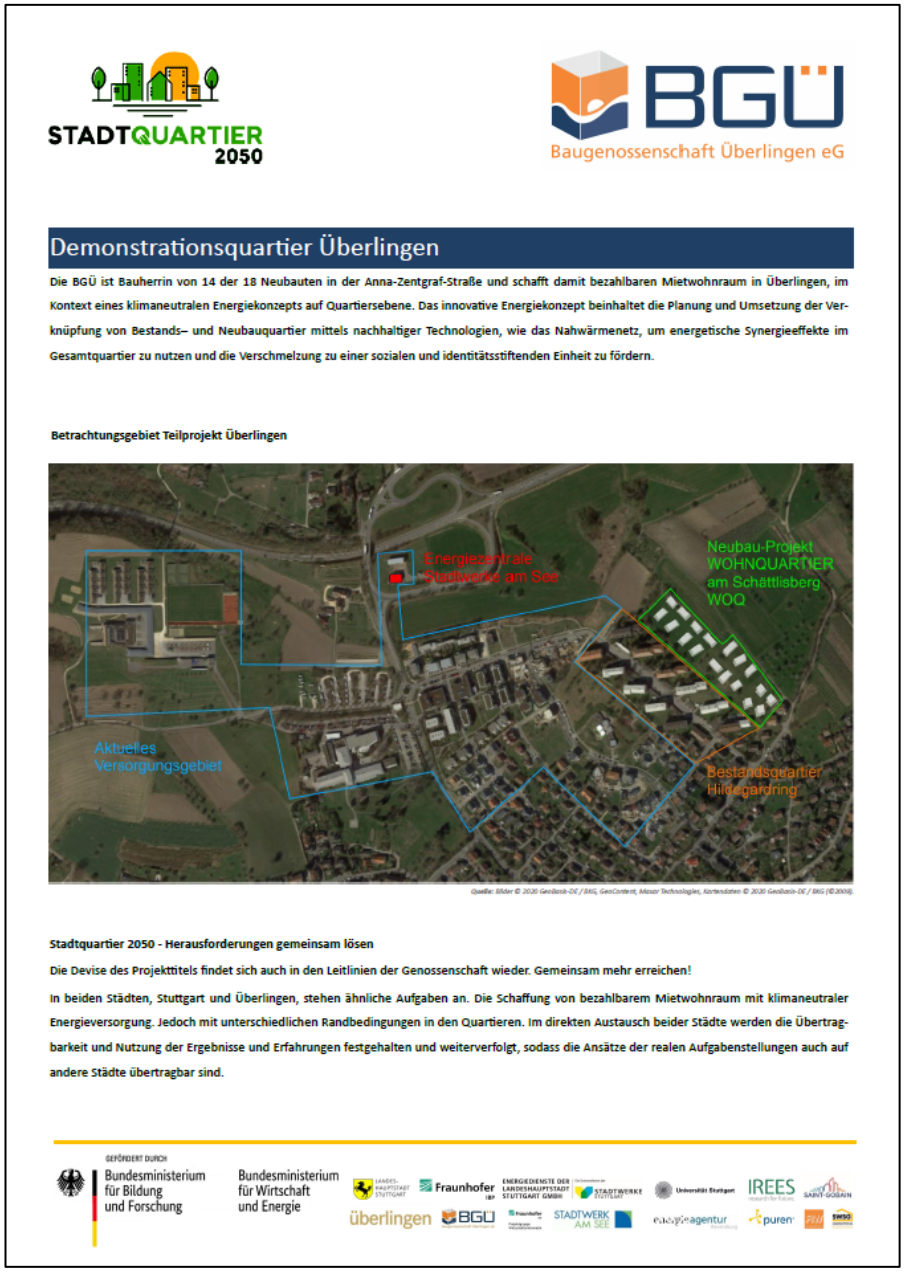


Bild 144:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050, Arbeitsbereiche Baugenossenschaft Überlingen, am Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021.



Bild 145:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050, Arbeitsbereiche Baugenossenschaft Überlingen, am Tag der offenen Tür im Überlinger Projektgebiet, 29.09.2021.

- World Sustainable Energy Days, Wels, 2023: Leitfaden für die Entwicklung klimaneutraler Versorgungskonzepte für Wohnquartiere

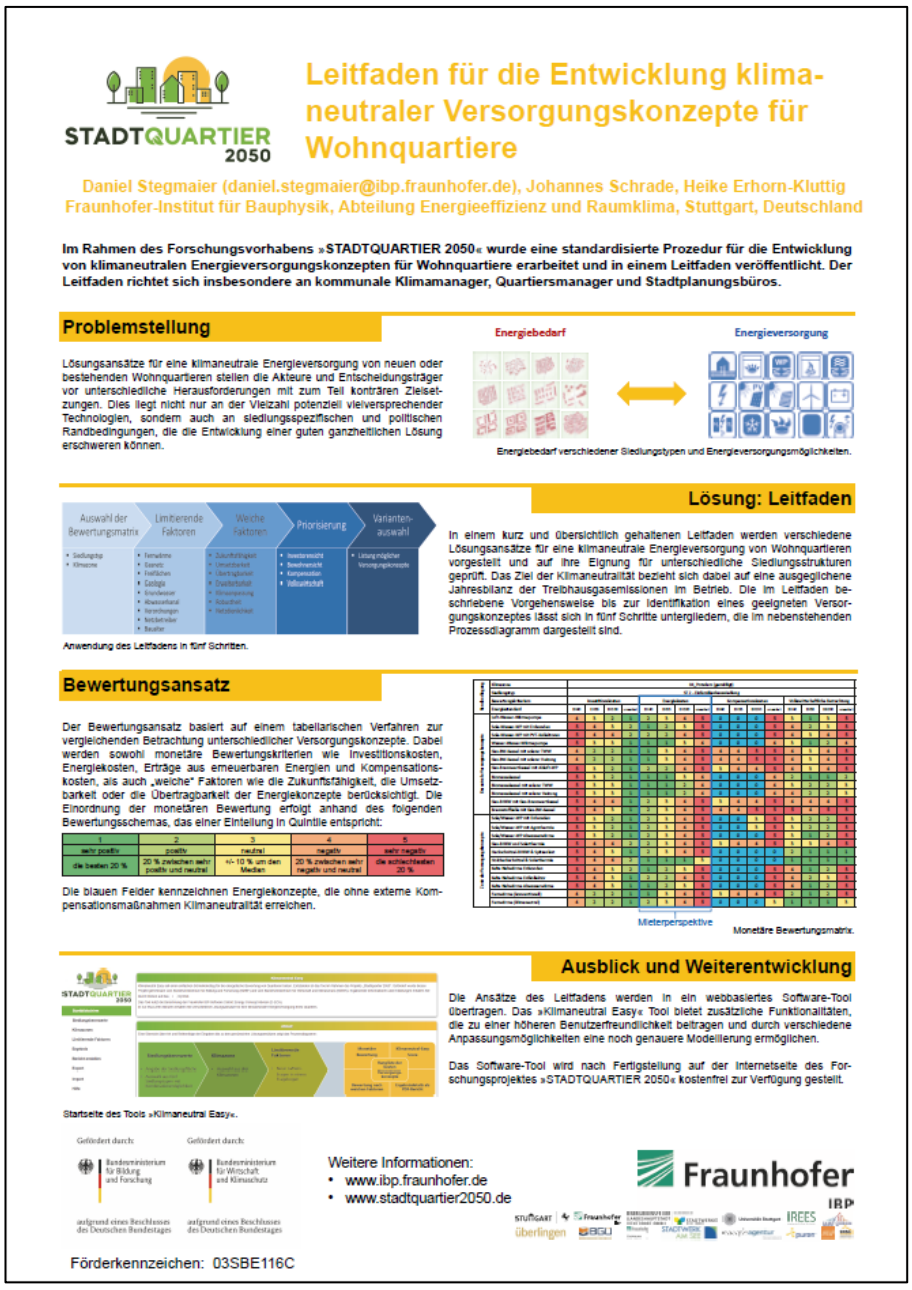


Bild 146:
Poster zum Projekt STADTQUARTIER 2050 auf der World Sustainable Energy Conference in Wels, 2023.

- Projekt-Steckbrief:
    - Forschung für Nachhaltige Entwicklungen, 2018



Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

STADTQUARTIER 2050
Klimaneutrale Stadtviertel sozialverträglich gestalten

Städtische Wohnviertel sozialverträglich klimaneutral umbauen und die Konzepte auf andere Städte übertragen: Das Leuchtturmprojekt „STADTQUARTIER 2050" entwickelt und realisiert in Stuttgart und Überlingen die zukunftsgerechte Neugestaltung zweier Stadtviertel.

Wie lässt sich unter Berücksichtigung einer sozialverträglichen Mietpreisentwicklung bis zum Jahr 2050 eine nahezu klimaneutrale Energieversorgung in städtischen Quartieren realisieren? Dieser Frage gehen die Städte Stuttgart und Überlingen gemeinsam nach. Durch Sanierung, Teilabriss und Neubebauung entstehen über 960 neue Wohneinheiten, die sich wie das gesamte Viertel energetisch klimaneutral verhalten. Dabei werden bei der Umsetzung neben den technischen Möglichkeiten zur Energieoptimierung auch gesellschaftspolitische Bedürfnisse berücksichtigt.

Mit der ressortübergreifenden Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt" im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung werden Leuchtturmprojekte auf Quartiersebene gefördert. Dabei dienen einzelne Stadtquartiere als Reallabore, in denen unter Einbeziehung aller relevanten Akteure innovative Konzepte zur Energie- und Wärmewende gleichzeitig erforscht und umgesetzt werden.

Bezahlbarer Wohnraum in klimaneutralen Gebäuden
In den baden-württembergischen Städten Stuttgart und Überlingen werden im Rahmen des Leuchtturmprojekts „STADTQUARTIER 2050" gleich zwei Entwicklungsgebiete in zwei verschiedenen Städten zu einem großen praktischen Experimentierfeld für Forscherinnen und Forscher. In der Großstadt Stuttgart wird ein ehemaliges Krankenhausareal zu einem neuen Stadtquartier umgebaut, in der Kleinstadt Überlingen soll ein bestehendes städtisches Randgebiet saniert und um ein neues Baufeld erweitert werden. Obwohl sich die ausgewählten Stadtviertel unterscheiden, verfolgen beide Demonstrationsquartiere die gleichen Ziele: Der Wärme- und Stromverbrauch der Gebäude in den Quartieren – inklusive Nutzerstrom – soll klimaneutral werden. Dazu sollen die bereits bestehenden Gebäude energetisch hochwertig saniert und die neuen Gebäude im Plusenergiestandard ausgeführt werden. Außerdem werden sie eine zentrale Energieversorgung mit erneuerbaren Bestandteilen erhalten. Zusätzlich spielen soziale Aspekte beim Umbau und der künftigen Nutzung der Areale eine wichtige Rolle: So soll möglichst schnell Wohnraum für sozial schwache Bevölkerungsgruppen geschaffen bzw. der Engpass im Bereich bezahlbarer Mietwohnungen verringert werden; gleichzeitig gilt es, die bestehende Eigentümerstruktur angemessen zu berücksichtigen.

Neue Quartiere mit Leuchtturmcharakter
Mit der Umwandlung in neuen bezahlbaren Wohnraum, der in klimaneutralen Gebäuden entsteht, werden Wohnquartiere der Zukunft geschaffen. Sie haben einen integrierten generationen-übergreifenden Charakter, sind sozial durchmischt und setzen gleichzeitig sowohl in ökologischer als auch energetischer Hinsicht Standards für künftige Quartiere.

Die geplanten technischen Lösungen sind vielfältig, neben Nahwärme werden künftig auch verschiedene lokale erneuerbare Energien in den Quartieren genutzt. Eine wichtige Rolle in den Quartierskonzepten spielt die Sektorenkopplung, für deren Umsetzung thermische und elektrische Speichersysteme, die Verfolgung von sogenannten Power-to-Heat-Ansätzen sowie die Einbindung von E-Mobilität vorgesehen sind.

Schnell und unkompliziert Ansätze vergleichen
Beim konkreten Umbau der Quartiere setzen die beiden Städte unterschiedliche Schwerpunkte: In Überlingen liegt das Hauptaugenmerk auf einem höherwertigen Wärmeschutz, der mittels Dämmstoffen erreicht werden soll. Stuttgart hingegen stellt eine hocheffiziente Energieversorgung in den Mittelpunkt. Hier zeigt sich nun der Vorteil der städteübergreifenden Zusammenarbeit: Im Rahmen des Leuchtturmprojekts können unterschiedliche Ansätze in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit, den Energiebedarf und auch auf die Ökobilanz miteinander verglichen werden. Der systematische Projektansatz ermöglicht es darüber hinaus, die Ergebnisse und Erfahrungen über eine Städteplattform auch auf andere Kommunen zu übertragen.

Es ist geplant, die Technologien auch in Bezug auf ihre Störanfälligkeit sowie hinsichtlich ihrer Nutzerfreundlichkeit zu bewerten. In Verbindung mit einer Quartiers-App sollen mögliche Rebound-Effekte u.a. durch detaillierte Nutzerinformationen zum Energieverbrauch, Handlungsempfehlungen und ein Bonussystem, das einen niedrigen Energieverbrauch belohnt, vermieden werden.

Auch die sozialwissenschaftlichen Arbeiten verfolgen verschiedene Schwerpunkte. Dazu gehören u.a. Abstimmungsprozesse mit der Denkmalschutzbehörde, die Einbeziehung von Wohnungsbesitzern in die Quartierssanierung sowie das Thema „Sozialverträgliche und warmmietneutrale Sanierung". Alle im Rahmen des Projekts gesammelten Erfahrungen fließen schließlich in die Entwicklung von insgesamt vier Analyse-Tools, die vor Ort in den Quartieren getestet werden.

Fördermaßnahme
Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt" im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung

Projekttitel
Verbundvorhaben EnStadt: STADTQUARTIER 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen

Laufzeit
01.03.2018–28.02.2023

Förderkennzeichen
03SBE116

Fördervolumen des Verbundes
ca. 13,5 Mio. Euro

Kontakt
Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz
Dr. Jürgen Görres
Gaisburgstr. 4
70182 Stuttgart
Tel.: +49 711 216-88668
Fax: +49 711 216-9588668
E-Mail: juergen.goerres@stuttgart.de

Projektpartner
Baugenossenschaft Überlingen eG, Energieagentur Ravensburg gGmbH, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart GmbH, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. (FIW) München, Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT), Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), IBS Ingenieurgesellschaft mbH, IREES GmbH – Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Landeshauptstadt Stuttgart, puren GmbH, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See GmbH & Co. KG, Universität Stuttgart

Assoziierte Partner
Saint-Gobain, Stuttgarter Wohnungs- und Städtebaugesellschaft mbH (SWSG)

Herausgeber
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53175 Bonn

Redaktion und Gestaltung
Projektträger Jülich

Bildnachweis
Baugenossenschaft Überlingen eG

www.bmbf.de

ENERGIE WENDE BAUEN

FONA Forschung für Nachhaltige Entwicklungen BMBF

Bild 147:
Zweiseitiger Steckbrief zum Projekt STADTQUARTIER 2050 für die FONA (Forschung für Nachhaltige Entwicklungen).

- Flyer:
    - Flyer zum Tag der offenen Tür in Überlingen, 2021



überlingen

Die Stadt Überlingen möchte durch den vielfältigen Austausch im Projekt schon heute klimaneutralen, bezahlbaren Wohnraum vor Ort realisieren. Dabei gewonnene Erkenntnisse sollen auch auf andere Quartiere übertragen werden, um so Klimaneutralität flächendeckend zu erreichen.

Die Landeshauptstadt Stuttgart koordiniert das Gesamtprojekt und das Quartier in Stuttgart. Sie steht vor der Herausforderung, die Energiewende im urbanen Raum umzusetzen und klimaneutral zu werden. Die gesammelten Erfahrungen sollen auf vergleichbare Quartiere übertragen werden.

STUTTGART

BGÜ Baugenossenschaft Überlingen eG

Als Bauherrin des Überlinger Teilprojekts freuen wir uns, tagtäglich den Baufortschritt der 14 Neubauten zu beobachten. Wir sind stolz, gemeinsam mit allen Projektpartnern ein bundesweites Leuchtturmprojekt für bezahlbares, klimaneutrales solzial ausgewogenes Wohnen geschaffen zu haben.

Die Energieagentur Ravensburg ist beim Projekt in Überlingen für das Energiekonzept verantwortlich. Ziel ist es, den Wärme- und Strombedarf erneuerbar, nachhaltig und klimaneutral zu decken. Und zwar nicht nur theoretisch – sondern auch in der Praxis mit Messungen als Nachweis.

energieagentur Ravensburg

Fraunhofer IBP

Das IBP erarbeitet klimaneutrale Energiekonzepte für das Stuttgarter Quartier und generell für Wohnquartiere (als Leitfaden / Softwaretool), bewertet Quartiere ökobilanziell, entwickelt Monitoringkonzepte zur Überprüfung der Klimaneutralität und unterstützt bei der Projektkoordination.

Der Fokus der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT liegt auf der Erstellung eines Wirtschaftlichkeitsberichtes des Quartiers, eines Anreizsystems für Bewohner*innen und der Entwicklung einer Quartiers-App.

Fraunhofer FIT

Projektgruppe Wirtschaftsinformatik

Das Geschäftsfeld Sozialwissenschaftliche Evaluation des IREES - Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien untersucht die Akzeptanz des Quartierskonzeptes aus Sicht der Bewohnenden. Hierzu erfolgen Befragungen, Workshops zu Themen wie Wohnkomfort und Energieverbrauch.

IREES research for future.

puren®

Unsere effizienten, recycelbaren Hochleistungsdämmstoffe und ein einzigartiger Werkstoffkreislauf leisten einen bedeutenden Beitrag zum Gelingen der Wärmewende. Beim Projekt lieferten wir den Wärmeschutz für Tiefgaragen, Fassaden und Dächer; Produktinnovationen - made in Überlingen.

Hallo, wir sind's: das Stadtwerk am See. Wir liefern saubere Energie und verlassen ausgetretene Pfade für ein besseres Morgen. Beim Projekt kümmern wir uns um Planung, technische Umsetzung, Bauüberwachung und den Betrieb der Anlage sowie des gesamten Verteilnetzes. Wir freuen uns drauf!

STADTWERK AM SEE

Das IWB beschäftigt sich mit energetischer Ertüchtigung von Bestandsgebäuden/Denkmälern. Für das Stuttgarter Quartier werden Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz bzw. des thermischen Raumkomforts der erhaltenswerten keramikbekleideten Fassade der Nachkriegsjahre erarbeitet.

Universität Stuttgart Institut für Werkstoffe im Bauwesen

Weiterer Ausstellungspartner:

m67 ARCHITEKTEN

Architektur bedeutet Lebensraum schaffen. Gebaute Umwelt stellt nur dann einen lebenswerten Raum dar, wenn Architektur nicht als Einzelprojekt, sondern vielmehr als Teil der Stadt, des menschlichen Miteinanders und der Landschaft verstanden wird. Schonender Umgang mit den vorhandenen Ressourcen wird dabei zur wichtigen Herausforderung.

STADTQUARTIER 2050

Klimaneutrale Stadtviertel sozialverträglich gestalten

Einladung zum

TAG DER OFFENEN TÜR

Mittwoch, 29. September 2021
ab 11:00 Uhr

in der Anna-Zentgraf-Straße, 88662 Überlingen

Gastgeber:

überlingen

BGÜ Baugenossenschaft Überlingen eG



Liebe Besucher:Innen des Stadtquartiers 2050,

der Klimawandel ist eines der zentralen Themen unserer Generation, und er betrifft uns alle. Gleichzeitig ist in unserer schönen Stadt am Bodensee aber auch die Nachfrage auf dem Wohnungsmarkt hoch und gerade bezahlbare Mietwohnungen sind ein rares Gut.

Der Umbau zu klimaangepasstem oder –neutralem Wohnraum wird oft mit finanziellem Aufwand verbunden – ein Widerspruch? Das möchten wir so nicht stehen lassen und arbeiten im Projekt „Stadtquartier2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen" aktiv daran, diese beiden Ziele im Einklang zu erreichen.

Das Projekt wird dabei von den beiden Bundesministerien für Wirtschaft und Energie sowie Bildung und Forschung im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt" gefördert.

Die Problemstellungen kennen viele Kommunen allzu gut. Um eine Übertragbarkeit zu generieren, wird im Projekt parallel je ein Quartier in Stuttgart und in Überlingen betrachtet.

Corona-bedingt waren Beteiligungsformate leider bisher eingeschränkt – doch nun wollen wir es anpacken und freuen uns, Sie zu unserem Tag der offenen Tür in der Anna-Zentgraf-Straße begrüßen zu dürfen.

Nutzen Sie die Chance und stellen Sie dem Projektteam alle Fragen, die Ihnen unter den Nägeln brennen – zum Projekt und auch darüber hinaus – denn das Leuchtturmprojekt ist der Anfang, aber lange noch nicht das Ende unserer Reise in Richtung Klimaneutralität.

Jan Zeitler
Oberbürgermeister
Stadt Überlingen

Dieter Ressel
Geschäftsführender Vorstand
Baugenossenschaft Überlingen

Hinweis:
Die zum Veranstaltungszeitpunkt geltenden Regelungen und Verordnungen zur Eindämmung der Pandemie (wie die AHA-Regel) sind einzuhalten. Ein 3G-Nachweis ist ebenso erforderlich wie die Kontaktdatennachverfolgung.

Programm

11:00 - 11:15 Uhr	Begrüßung
11:15 - 11:45 Uhr	Vortragsslot I: Energiewende in Kommunen - klimaneutrale Quartiere
12:00 - 12:30 Uhr	Vortragsslot II: Architektur für klimaneutrales, nachhaltiges und bezahlbares Wohnen – Innovationen im Überlinger Quartier
12:30 - 13:30 Uhr	Spaziergang zur Energiezentrale
14:00 - 14:30 Uhr	Vortragsslot III: Energiewende schon heute – Energiekonzeption und Fördermöglichkeiten
15:00 - 15:30 Uhr	Vortragsslot IV: Wohnen im Stadtquartier 2050 – Mieter:Innen im Fokus
16:00 - 17:00 Uhr	Spaziergang zur Energiezentrale
17:00 - 18:00 Uhr	Podiumsdiskussion: „Klimaneutrales, sozial ausgewogenes und bezahlbares Wohnen – ein Widerspruch?"
18:00 - 19:00 Uhr	Ausklang

Projektbeschreibung

Teilprojekt Überlingen: Q5 Stadtquartier
In Überlingen liegt der Fokus auf der klimaneutralen Wärmeversorgung der Bestandsgebäude im Hildegardring sowie der besonders energieeffizienten Neubauten der Anna-Zentgraf-Straße. Das Quartier leistet damit einen bedeutenden Beitrag zur Umsetzung des regionalen Energie- und Klimaschutzkonzepts. In das ausgeklügelte Konzept fließen energetische, soziale und wirtschaftliche Belange ein: So wird gleichzeitig bezahlbarer Mietwohnraum geschaffen.

Teilprojekt Stuttgart: Areal Bürgerhospital
Das etwa 5 ha umfassende Areal in Stuttgart liegt in Zentrumsnähe. Es ist geprägt durch den ehemaligen Patientengarten sowie zwei Gebäude aus der Gründerzeit des Hospitals von 1894. Neben den Bestandsbauten sorgen effiziente Neubauten, soziale Durchmischung und eine klimaneutrale Energieversorgung mit lokalen erneuerbaren Energien wie Geothermie, Abwasserwärme und PV für ein klimaneutrales Stadtquartier mit Modellcharakter.

Zahlen – Daten – Fakten zum Stadtquartier 2050

- 960 neue Wohnungen
- 190 Mio. € Investition
- soziale Ausgeglichenheit
- zahlreiche innovative Smart Home / Smart Building Tools (für Bewohner, Energieberater, Quartiersplaner, Architekten)
- klimaneutrale Wärmeversorgung
- bezahlbarer Wohnraum
- Nachhaltigkeit

www.stadtquartier2050.de

Kontakt zu den Teilprojekten:
Stuttgart: juergen.goerres@stuttgart.de; T.: 0711 21688668
Überlingen: m.siegl@ueberlingen.de; T.: 07551 991326

GEFÖRDERT DURCH

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

AUFGRUND EINES BESCHLUSSES DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES

Förderinitiative „Solares Bauen / Energieeffiziente Stadt"
FKZ: 03SBE116, Laufzeit: 01.03.2018–28.02.2023

Bild 148:
Einladungsflyer zum Tag der offenen Tür im Demonstrationsgebiet Überlingen.

- Projekt-Webseite: www.stadtquartier2050.de



Bild 149:
Screenshot der Startseite von www.stadtquartier2050.de zum Zeitpunkt des Projektendes.



Bild 150:
Screenshot der Unterseite Überlingen/Projektstand zum Zeitpunkt des Projektendes.

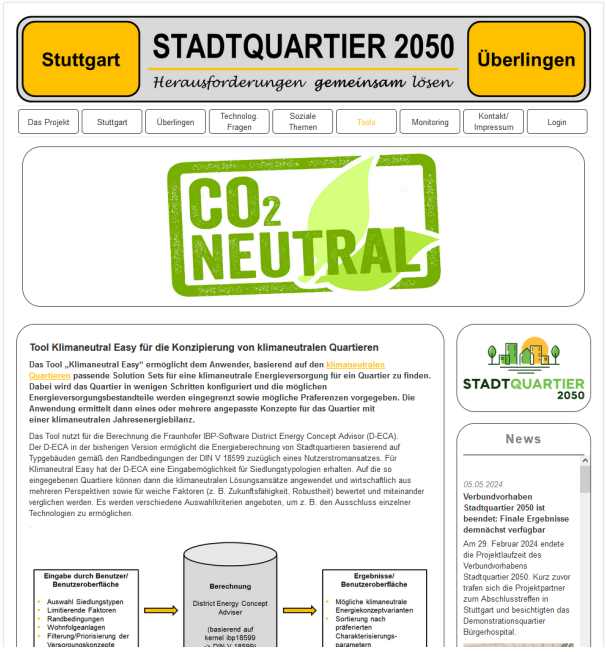


Bild 151:
Screenshot der Unterseite Tools/Klimaneutral Easy zum Zeitpunkt des Projektendes.

- Zusätzlich wurden Informationen zum Projekt auf den Webseiten der Projektpartner zur Verfügung gestellt, z. B.

  - Landeshauptstadt Stuttgart: https://www.stuttgart.de/leben/umwelt/energie/energie-projekte/modellprojekt-stadtquartier-2050.php

  - Stadt Überlingen: https://www.ueberlingen.de/stadtquartier-2050 und https://www.ueberlingen.de/stadtquartier-2050-q-und-a

  - Fraunhofer-Institut für Bauphysik: https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/energieeffizienz-und-raumklima/gebaeude-quartier-stadt/innovative-siedlungskonzepte.html und https://www.ibp.fraunhofer.de/de/projekte-referenzen/leitfaden-entwicklung-klimaneutraler-energieversorgungskonzepte-wohnquartiere.html

  - Baugenossenschaft Überlingen: https://www.baugenossenschaft-ueberlingen.de/projekte/stadtquartier-2050/

  - puren: https://www.puren.com/de/darum-puren/referenzen/neubau-wohnsiedlung-schaettlisberg/

- IREES: https://irees.de/2020/06/12/stadtquartier-2050-klimaneutrale-wohnsiedlungen-in-stuttgart-und-ueberlingen/

- Stadtwerk am See: https://www.stadtwerk-am-see.de/de/Ueber-uns/Medien/Meldungen-2022/Stadtwerk-baut-Freiflaechen-Solaranlage.html

- Fraunhofer FIT: https://www.fit.fraunhofer.de/en/business-areas/information-systems-engineering/projects/stadt-quartier-2050.html

- Weitere Informationen zum Projekt auf externen Webseiten, z. B.:

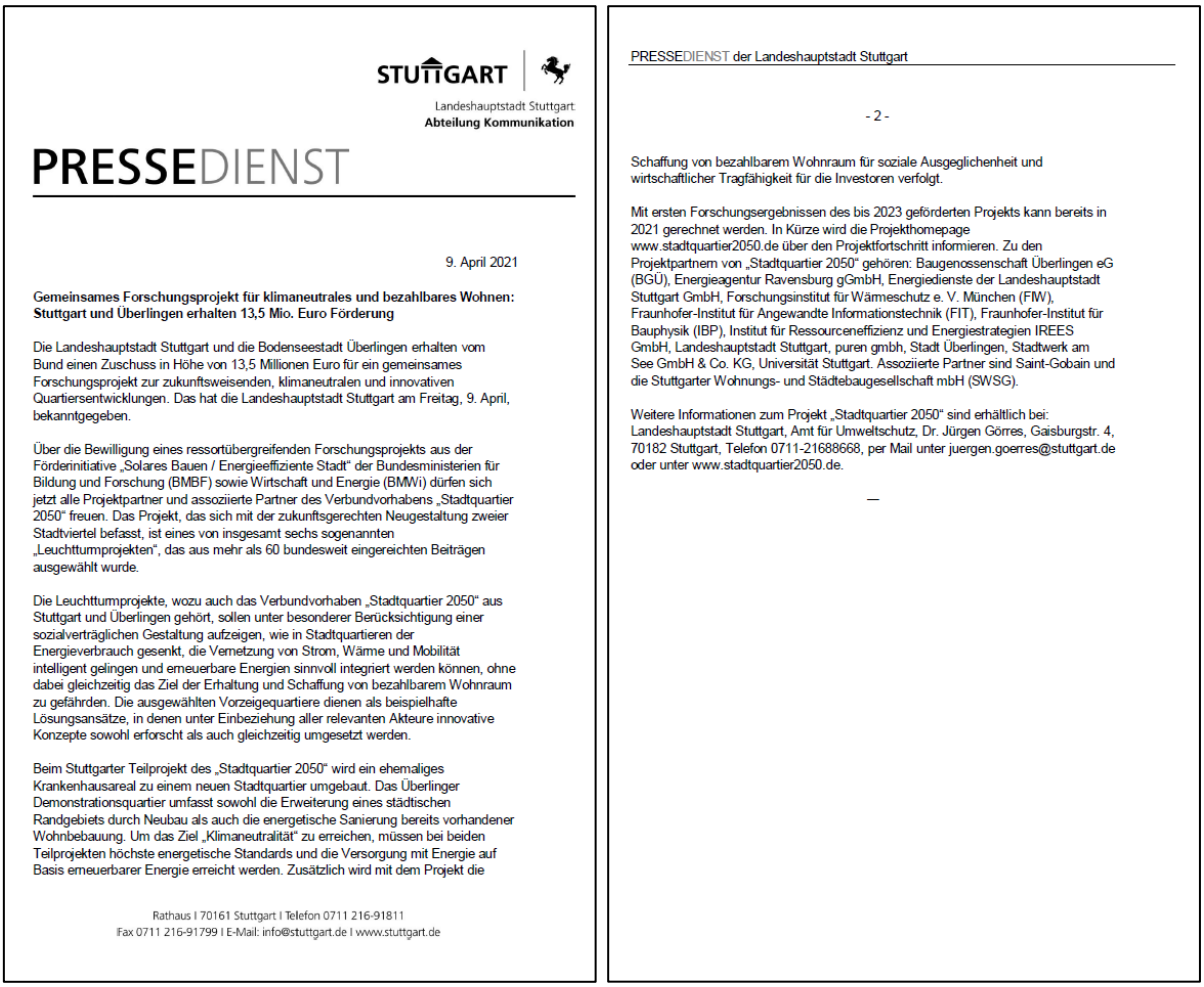
  - Paradigma: https://blog.paradigma.de/solarthermie-anlage-von-ritter-xl-solar-in-ueberlingen-laeuft/

  - Energie-Experten: https://www.energie-experten.org/projekte/solarkraftwerk-fuer-stadtquartier-2050-in-ueberlingen

  - SmartGridsBW: https://smartgrids-bw.net/smarte-quartiere/stadtquartier-2050-stuttgart-und-ueberlingen/

  - Verband der Wohnungswirtschaft: https://www.vbw-online.de/presse-und-information/aktuelles/artikel/bundesbauministerin-lobt-quartier-q5-in-ueberlingen

- Pressemitteilungen:
    - Pressedienst der Landeshauptstadt Stuttgart, 09.04.2021



STUTTGART

Landeshauptstadt Stuttgart
Abteilung Kommunikation

PRESSEDIENST

9. April 2021

Gemeinsames Forschungsprojekt für klimaneutrales und bezahlbares Wohnen: Stuttgart und Überlingen erhalten 13,5 Mio. Euro Förderung

Die Landeshauptstadt Stuttgart und die Bodenseestadt Überlingen erhalten vom Bund einen Zuschuss in Höhe von 13,5 Millionen Euro für ein gemeinsames Forschungsprojekt zur zukunftsweisenden, klimaneutralen und innovativen Quartiersentwicklungen. Das hat die Landeshauptstadt Stuttgart am Freitag, 9. April, bekanntgegeben.

Über die Bewilligung eines ressortübergreifenden Forschungsprojekts aus der Förderinitiative „Solares Bauen / Energieeffiziente Stadt" der Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) sowie Wirtschaft und Energie (BMWi) dürfen sich jetzt alle Projektpartner und assoziierte Partner des Verbundvorhabens „Stadtquartier 2050" freuen. Das Projekt, das sich mit der zukunftsgerechten Neugestaltung zweier Stadtviertel befasst, ist eines von insgesamt sechs sogenannten „Leuchtturmprojekten", das aus mehr als 60 bundesweit eingereichten Beiträgen ausgewählt wurde.

Die Leuchtturmprojekte, wozu auch das Verbundvorhaben „Stadtquartier 2050" aus Stuttgart und Überlingen gehört, sollen unter besonderer Berücksichtigung einer sozialverträglichen Gestaltung aufzeigen, wie in Stadtquartieren der Energieverbrauch gesenkt, die Vernetzung von Strom, Wärme und Mobilität intelligent gelingen und erneuerbare Energien sinnvoll integriert werden können, ohne dabei gleichzeitig das Ziel der Erhaltung und Schaffung von bezahlbarem Wohnraum zu gefährden. Die ausgewählten Vorzeigequartiere dienen als beispielhafte Lösungsansätze, in denen unter Einbeziehung aller relevanten Akteure innovative Konzepte sowohl erforscht als auch gleichzeitig umgesetzt werden.

Beim Stuttgarter Teilprojekt des „Stadtquartier 2050" wird ein ehemaliges Krankenhausareal zu einem neuen Stadtquartier umgebaut. Das Überlinger Demonstrationsquartier umfasst sowohl die Erweiterung eines städtischen Randgebiets durch Neubau als auch die energetische Sanierung bereits vorhandener Wohnbebauung. Um das Ziel „Klimaneutralität" zu erreichen, müssen bei beiden Teilprojekten höchste energetische Standards und die Versorgung mit Energie auf Basis erneuerbarer Energie erreicht werden. Zusätzlich wird mit dem Projekt die

Rathaus I 70161 Stuttgart I Telefon 0711 216-91811
Fax 0711 216-91799 I E-Mail: info@stuttgart.de I www.stuttgart.de

PRESSEDIENST der Landeshauptstadt Stuttgart

- 2 -

Schaffung von bezahlbarem Wohnraum für soziale Ausgeglichenheit und wirtschaftlicher Tragfähigkeit für die Investoren verfolgt.

Mit ersten Forschungsergebnissen des bis 2023 geförderten Projekts kann bereits in 2021 gerechnet werden. In Kürze wird die Projekthomepage www.stadtquartier2050.de über den Projektfortschritt informieren. Zu den Projektpartnern von „Stadtquartier 2050" gehören: Baugenossenschaft Überlingen eG (BGÜ), Energieagentur Ravensburg gGmbH, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart GmbH, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München (FIW), Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT), Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien IREES GmbH, Landeshauptstadt Stuttgart, puren gmbh, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See GmbH & Co. KG, Universität Stuttgart. Assoziierte Partner sind Saint-Gobain und die Stuttgarter Wohnungs- und Städtebaugesellschaft mbH (SWSG).

Weitere Informationen zum Projekt „Stadtquartier 2050" sind erhältlich bei: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Dr. Jürgen Görres, Gaisburgstr. 4, 70182 Stuttgart, Telefon 0711-21688668, per Mail unter juergen.goerres@stuttgart.de oder unter www.stadtquartier2050.de.

—

Bild 152:
Pressemitteilung der Landeshauptstadt Stuttgart zum Projekt am 09.04.2021.

- Podiumsdiskussionen:
    - Berliner Energietage 2018



Bild 153:
Podiumsdiskussion mit u.a. Dr. Jürgen Görres (Landeshauptstadt Stuttgart) auf den Berliner Energietagen 2018.

- Interviews:
    - Berliner Energietage 2018



Bild 154:
Interview mit Dr. Jürgen Görres (Landeshauptstadt Stuttgart) auf den Berliner Energietagen 2018.

- Fraunhofer Quartierskompendium Open District Hub, 2021

9. Stadtquartier 2050

Standort: Stuttgart und Überlingen



Bild © Baugenossenschaft Überlingen eG



Konzeptionierung	Planung	Bauphase	Betrieb	Optimierung

Aktueller Stand	Laufzeit 03/2018 - 02/2023					
Quartiersart	Konversionsquartier, Stadtquartier					
Ziele qualitativ	Städtische Wohnviertel sozialverträglich klimaneutral umbauen					
Ziele quantitativ	Klimaneutrale Versorgung von Quartieren (Wärme und (Nutzer-)Strom)					
Beteiligte Sektoren	Strom	☒	Wärme	☒	Mobilität	☐
Technologiemix	Nahwärme, erneuerbare Energien (Photovoltaik, Erdwärme, Biomasse, Solarthermie), elektr. Speicher, innovative hocheffiziente Gebäudehülle					
Das Projekt in Zahlen	Ca. 960 Wohneinheiten, Fläche 6,5 ha					
Beteiligte Partner	Baugenossenschaft Überlingen, Energieagentur Ravensburg, Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart, FIW München, Fraunhofer-Institute FIT und IBP, IREES, Stadt Stuttgart, puren, Stadt Überlingen, Stadtwerk am See, Universität Stuttgart (IWB) Assoziierte Partner: Saint-Gobain, SWSG					
Gefördertes Projekt	Ja	☒	Nein	☐	k.A.	☐
Gefördert von	Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt" von BMBF und BMWi					
Fördersumme	13,5 Millionen €					
Weblink	https://www.stadtquartier2050.de/					

Ausführliche Beschreibung:

Das Projekt soll zeigen, wie innovative Gebäudelösungen zur Klimaneutralität und zur Sozialverträglichkeit in angespannten Wohnungsmärkten beitragen können. Ziel ist es, den Wärme- und Strombedarf der Quartiersgebäude inkl. Nutzerstrom möglichst lokal klimaneutral zu erzeugen. Dabei sollen die Konzepte auf andere Stadtviertel übertragbar sein.

Die Umsetzung vor Ort wird flankiert durch sozialwissenschaftliche Arbeiten, die sich auf Motivation der WEGs zur Teilnahme an der Quartierssanierung und der Entwicklung eines Bonussystems für einen bewussten Energieverbrauch konzentrieren. Die wissenschaftlich-technischen Arbeiten beschäftigen sich mit der Maximierung der Eigennutzung des PV-Stroms, Lösungsansätzen für die Treibhausgas-Neutralität von Quartieren, sowie deren wirtschaftliche und ökobilanzielle Bewertungen. Aus den Arbeiten entstehen insgesamt vier Tools zu konkreten Aufgabenstellungen, die in den Quartieren eine Testanwendung erfahren.

Open District Hub
Für die Zukunft der Energiewende

14

Bild 155:
Projektbeschreibung im Fraunhofer Open District Hub Quartierskompendium 2021.

- Social Media:
    - YouTube, 15.11.2021, [Covestro 2021]

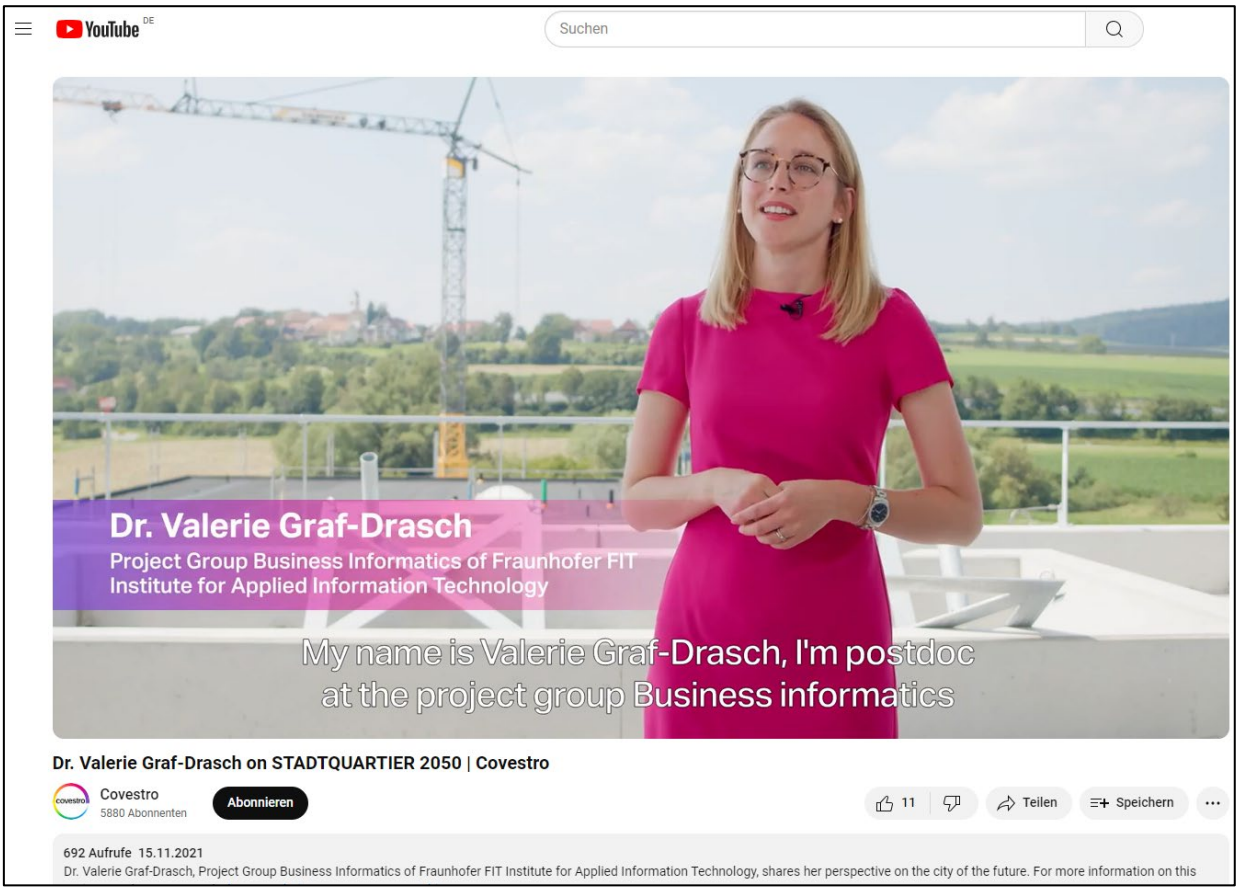


Bild 156:
Screenshot aus dem YouTube-Beitrag „Dr. Valerie Graf-Drasch on STADTQUARTIER 2050“ von Covestro, 15.11.2021.

- Linkedin, 05.03.2023



Bild 157:
Screenshot zum Beitrag zu Klimaneutral Easy in Linkedin, 05.03.2023.

- Linkedin, 10.03.2024

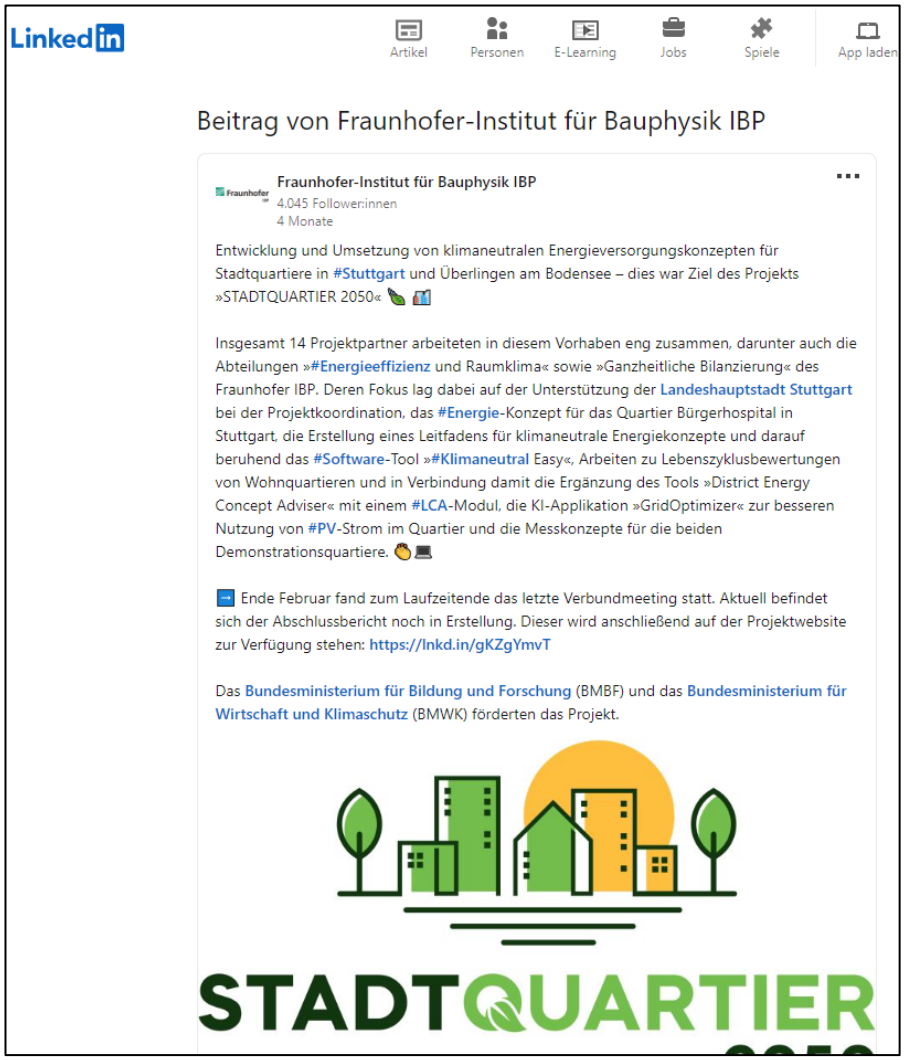


Bild 158:
Screenshot zum Beitrag zu Stadtquartier 2050 in Linkedin, 10.03.2024.



Bild 159:
Screenshot zum Beitrag zu Klimaneutral Easy in Linkedin, 05.03.2024.

4 Zusammenfassung, Lessons Learned und Ausblick

4.1 Zusammenfassung

Im Vorhaben „STADTQUARTIER 2050“ wurden klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für zwei Stadtquartiere erarbeitet. Dabei handelt es sich um ein Konversationsgebiet - ein ehemaliges Krankenhausareal - in Stuttgart und ein Neubaugebiet, dessen Nahwärmeanschluss auch auf ein Nachbar-Bestandsquartier ausgeweitet werden sollte, in Überlingen.

Das Energiekonzept für die insgesamt 44 Gebäude im **Stuttgarter Quartier Bürgerhospital** hatte die Nutzung von lokal vorhandener erneuerbarer Energiequellen im Fokus und sah als Energiequellen oberflächennahe Geothermie (Erdlanzen) und Abwasserwärme (Abwasserwärmetauscher) vor, die über eine Wärmepumpe die Gebäude mit Nahwärme versorgen sollte. PVT-Kollektoren und PV-Kollektoren auf den Dächern und an den Balkonen sorgten in Kombination mit Ökostrom für eine erneuerbare Stromerzeugung. Über die PVT-Module mit Luft-Solewärmetauscher erfolgte die Rückerwärmung des Erdreichs. Bilanziert über ein Jahr sollte so eine klimaneutrale Energieversorgung erreicht werden. Für die energetische Gebäudequalität gab es erhöhte Anforderungen mit mindestens Effizienzhaus 40-Niveau für Neubauten und Effizienzhaus 70-Niveau für sanierte Bestandsgebäude. Die Umsetzung dieses Konzepts verzögerte sich u.a. aufgrund der Nutzung der Bestandsgebäude als Unterkunft für Menschen auf der Flucht. Dadurch verschob sich der Abriss von Gebäuden und auch die Planung und der Bau der neuen Gebäude. Der Bebauungsplan wird nun erst nach der Projektlaufzeit beschlossen. Probebohrungen gegen Ende der Projektlaufzeit ergaben eine geringere Eignung des geologischen Untergrunds für Geothermie als in der Konzeptphase zugrunde gelegt wurde. So wurde für einen Teil des Quartiers ein alternatives Energiekonzept als Umsetzungskonzept entwickelt, das ein Nahwärmenetz basierend auf Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Tischrückkühlern auf den Dächern vorsieht und eine geringere PV-Fläche auf den Dächern. Damit wird die angestrebte Klimaneutralität der Energieversorgung nicht mehr vollständig erreicht.

Das **Überlinger Projektgebiet Schättlisberg** besteht aus 30 Mehrfamilienhäusern, davon 18 Neubauten und 12 Bestandsgebäude. Der Fokus des Energiekonzepts lag auf den 14 Neubauten der Baugenossenschaft Überlingen und der angestrebten klimaneutralen Energieversorgung, die für das Gesamtgebiet vorgesehen ist. Für die Neubauten wurde das Effizienzhaus 40 Plus-Niveau gemäß KfW umgesetzt. Dabei kamen innovative Neuentwicklungen im Dämmbereich zum Einsatz, die unter anderem zu einer Vergrößerung der vermietbaren Wohnfläche führten. PV-Flächen auf dem Dach in Verbindung mit Batterien ermöglichen die Erzeugung und erhöhte Nutzung von erneuerbarem Strom. Die Erzeugung der Nahwärme basiert auf einem Biomassekessel in Kombination mit einem Erdgaskessel und einem Erdgas-BHKW, die von einem 4.300 m² großen thermischen Solarfeld unterstützt werden. Ein 3-Leiter-Netz ermöglicht den Rücklauf des

Bestandsgebiets als Vorlauf im Neubaugebiet zu nutzen. Trotz dieser Maßnahmen wurde das Ziel Klimaneutralität noch nicht ganz erreicht. Es verbleiben bei der Betrachtung der reinen Betriebsphase inklusive Nutzerstrom geringe jährliche Treibhausgasemissionen, im Vergleich zu den gesetzlichen energetischen Vorgaben für Neubauten werden allerdings 87 % der Treibhausgasemissionen eingespart. Erfolgreich war auch die Motivation der Eigentümer der Bestandsgebäude, sich an das Nahwärmenetz anzuschließen. Die Bestandsgebäude der Baugenossenschaft Überlingen und zwei weitere Gebäude wurden bereits angeschlossen, zu vier weiteren Objekten wurde ein Hausanschlussstutzen verlegt und somit ein späterer Anschluss vorbereitet.

Die begleitenden Themen wurden im Projekt trotz Hindernissen, wie z. B. die Covid-19-Pandemie und die verzögerte Umsetzung im Stuttgarter Quartier, erfolgreich vorangetrieben. Mitarbeiter der beiden Kommunen tauschten sich innerhalb der **Städteplattform** zu den Quartierskonzepten, zum Bauprozess und Kommunikationsmaßnahmen und zur Übertragbarkeit auf weitere Quartiere aus.

Innerhalb der technologischen Fragestellungen wurden **feingranulare Strombedarfsdaten** aus einem irischen Datensatz an die zu untersuchenden Quartiere angepasst, für sechs unterschiedliche Haushaltstypen geclustert und Handlungsempfehlungen für Investierende und Planende abgeleitet. Ein **Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere** wurde entwickelt, der für fünf Siedlungstypen in drei deutschen Klimazonen insgesamt 23 unterschiedliche klimaneutrale Energieversorgungskonzepte (12 dezentrale und 11 zentrale Konzepte) vergleichend bewertet. Dabei ermöglicht er eine monetäre Bewertung aus unterschiedlichen Perspektiven (getrennte Betrachtung von Investitionskosten, Energiekosten, Kompensationskosten und eine volkswirtschaftliche Betrachtung). Zusätzlich bietet er eine Bewertung mit weiteren Faktoren wie z. B. Zukunftsfähigkeit, Erweiterbarkeit, Robustheit und Netzdienlichkeit an. Für die Energiekonzepte der beiden Demonstrationsquartiere wurde eine **Wirtschaftlichkeitsbewertung** auf Basis der Kapitalwertmethode für die Perspektiven Quartier, Investierende und Mietende durchgeführt, sowie eine warmmietneutrale Mehrmiete berechnet. Sensitivitätsanalysen ergänzten diese Arbeiten, unter anderem wurde die Robustheit der Wirtschaftlichkeitsergebnisse bewertet. Im Bereich der **Ökobilanzbewertung der Energiekonzepte** wurden die geplanten Energiekonzepte der beiden Quartiere in den Lebenszyklusphasen Herstellung (A1-3), Nutzung/Austausch (B4) und Lebensende (C3, C4) bewertet und dabei sowohl die Baukonstruktion, die technischen Anlagen in den Gebäuden und die zentrale Energieversorgung betrachtet. Zusätzlich wurden auch Daten für die weiteren Versorgungskonzepte aus dem Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Wohnquartiere erarbeitet.

Bei den sozialwissenschaftlichen Fragestellungen wurde der Arbeitsbereich **modellhafter Abstimmungsprozess bezüglich erhaltenswerter**

Bausubstanz mit den Deliverables Leitfaden und Katalog zur Veranschaulichung von Maßnahmen zur energetischen Bauteilertüchtigung in einem eigenen Abschlussbericht dokumentiert. Die Aufgabe der **Motivation und Koordination der Baugesellschaften** im Demonstrationsquartier Überlingen erfolgte durch die Definition von Zielgruppen, Durchführung von Interviews auf Basis von entwickelten Interviewleitfäden und Partizipationsveranstaltungen wie z. B. der Tag der offenen Tür im Neubaugebiet. Die Zielgruppe war dabei heterogen (Baugenossenschaften, Wohnungseigentümergemeinschaften, VermieterInnen und Bewohnende der Eigentumswohnungen, Mieterschaften und Hausverwaltungen). Zunächst waren die Eigentümer (mit Ausnahme des Projektpartners Baugenossenschaft Überlingen) schwierig vom Anschluss an das Nahwärmenetz zu überzeugen, die Information und Motivation durch die Projektbeteiligten und auch die energiewirtschaftlichen Veränderungen durch den Russland-Ukraine-Krieg führten bis zum Projektende aber zum Anschluss bzw. zukünftigen Anschluss (verlegte Hausanschlussstutzen) der allermeisten Bestandsgebäude. Im Projekt wurde zur Incentivierung von energiebewusstem Wohnverhalten ein **Bonus-System** entwickelt. Das Bonus-System basiert auf unterschiedlichen Personengruppen mit entsprechendem Verhalten, Motivation und Wissen. Die identifizierten Anreize umfassen drei Kategorien: altruistische & ökologische Anreize (Wille, etwas Gutes für andere Personen, die Gesellschaft oder die Umwelt zu tun), egoistische Anreize (persönlicher Nutzen) und hedonistische Anreize (Wettbewerbssituationen, Gamification). Insgesamt 15 mögliche Maßnahmen wurden zusammengetragen. Diese reichen von Testangeboten für Produkte zum Energiesparen bis Nudging durch Kinder. Mittels Card-Sortings wurden jeweils die am besten geeigneten Maßnahmen für die Quartiere in Stuttgart und Überlingen ausgewählt. Ein weiterer Projektarbeitsbereich beschäftigte sich mit der **Energiegerechtigkeit im Quartier** Überlingen. Das Ziel war es, dass auch ohne Inanspruchnahme von staatlichen sozialen Wohnungsbaumitteln ein sozial ausgeglichenes und durchmischtes Quartier einschließlich Belegungsrechte für die Stadt Überlingen realisiert werden kann. Nach einer Analyse der Bewohnertypen im Quartier und einer Bedürfnis- und Werteanalyse wurden Mietpreismodelle entwickelt, aus denen Umsetzungsmöglichkeiten für energiegerechte und sozial integrierte Ansätze abgeleitet wurden. Als vielversprechendster Ansatz zeigte sich das klassische Mietpreismodell mit freiwilligem Verbrauchskontingent in Verbindung mit Zusatzangeboten im Quartier.

Im Vorhaben wurden insgesamt vier verschiedene, mit den Quartieren bzw. der energieeffizienten und nachhaltigen Quartiersplanung verbundene Tools erarbeitet. Die **„Quartiers-App“ zur Verbraucherschulung** wurde anhand des Quartiers in Überlingen entwickelt und dort auch getestet. Sie enthält Funktionalitäten wie die Visualisierung von und Feedback zum eigenen Energieverbrauch, Tipps und Frequently Asked Questions zu den Themen Energieverbräuche, Mobilität, Wasser und Abfall, einen Gamification-Ansatz und Verlinkungen zu Mobilitätsdienstleistern. Zusätzlich ist in der Quartiers-App das Tool „GridOptimizer“ integriert. Der **„GridOptimizer“** ist ein selbstlernendes Tool zur Maximierung des Eigenverbrauchs von im Quartier

erzeugten erneuerbaren Strom. Er nutzt die Lastverschiebungspotenziale von steuerbaren Prozessen in Wohngebäuden wie z. B. die Nutzung der Waschmaschinen und Spülmaschinen und gibt in Abhängigkeit der Wettervorhersage Informationen zur optimalen zeitlichen Nutzung dieser Geräte in Übereinstimmung mit der PV-Stromerzeugung. Dabei werden zwei KI-Modelle zur Prognose des Stromverbrauchs und des PV-Ertrags eingesetzt und eingelernt, die sich dann auf Basis von Messdaten im Quartier weiter optimieren. Die Nutzenden-Benachrichtigungen erfolgen über die Benutzeroberfläche der Quartiers-App, die auch eine Bestätigung der Umsetzung ermöglicht. Zusätzlich wurden Möglichkeiten für flexible Energiepreistarife analysiert, um die Nutzenden zu incentivieren den Empfehlungen des GridOptimizers zu folgen. Diese Tarife konnten leider nicht im Quartier umgesetzt werden. Das webbasierte Softwaretool **„Klimaneutral Easy“** ist eine Weiterentwicklung der im Leitfaden für klimaneutrale Energieversorgungskonzepte für Stadtquartiere entwickelten Ansätze für die standardisierte Auswahl von klimaneutralen Versorgungskonzepten für Wohnquartiere. Die Weiterentwicklungen umfassen neben der Umsetzung in einer Software mit einfachen und intuitiven Nutzereingaben die Möglichkeit der Kombination von unterschiedlichen Siedlungstypen, die Wahl aus allen deutschen Klimaregionen und Regionalfaktoren für die Investitionskosten, Filterkriterien zum Ausschluss von unpassenden Versorgungskonzepten, Anpassungen der Energiepreise, Berücksichtigung von Wohnfolgeanlagen und eigene Gewichtung des zusammenfassenden Klimaneutral Easy Scores. Es kann zwischen zwei unterschiedlichen Rahmenbedingungen gewählt werden, a) Klimaneutral Easy Standard und b) Technikkatalog Kommunale Wärmeplanung Baden-Württemberg (BW/KWP) und zusätzlich können eigene Daten wie z. B. Kosten eingegeben werden. Neben tabellarischen Ergebnissen im Tool beinhaltet ein Ergebnisbericht Details zu den bewerteten klimaneutralen Energiekonzepten. Das zugehörige Handbuch beschreibt die Modellierung und die Methoden zur energetischen und monetären Bewertung. Zusätzlich wurden Berechnungsmodelle für weitere Versorgungskonzepte entwickelt und Arbeiten zu Jahresdauerlinien, der Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit und der Kombinierbarkeit von Versorgungskonzepten durchgeführt. Klimaneutral Easy wurde von den beteiligten Kommunen getestet und deren Feedback und weitere Verbesserungsvorschläge in die finale Version eingearbeitet. Für das Tool Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (District ECA) wurde im Vorhaben ein **Ökobilanz-Modul** entwickelt, d. h. zusätzlich zu bisherigen energetischen und monetären Bewertung der Betriebsphase von Quartieren auf Basis von anpassbaren Typgebäuden eine vereinfachte Bewertung der Lebenszyklusphasen Herstellung, Ersatz/Austausch und Lebensende erarbeitet. Diese basiert auf den unter technologische Fragestellungen beschriebenen Arbeiten. Die Ergebnisse bestehen aus Kennwerten der nichterneuerbaren Primärenergie (PENRT) und des Global Warming Potentials (GWP) und können in die Lebenszyklusmodule und in die Quartierselemente KG 300 Baukonstruktion, KG 400 Technische Anlagen dezentral und KG 500 Technische Anlagen zentral aufgeteilt werden. Für unterschiedliche Gebäude- und Energieversorgungskonzepte können so vergleichende Lebenszyklusbewertungen für das Quartier durchgeführt werden. Dabei kann

sowohl Neubau, Bestand und Sanierung bewertet werden. Zusätzlich zu den bisherigen Eingaben und beinhalteten Kennwerten im District ECA mussten Grundlagen für unterschiedliche Baukonstruktionstypen, Innenbauteile und generell für alle Bauteile und Anlagenkomponenten Ökobilanzkennwerte zusammengetragen werden. Der Softwaretest erfolgte über die Eingabe der beiden Energiekonzepte für die Demonstrationsquartiere aus dem Stadtquartier 2050.

Parallel zu den beiden Quartiersenergiekonzepten wurden die **Messkonzepte** zur Evaluierung geplant. Im Überlinger Quartier wurden diese detailliert ausgearbeitet, ausgeschrieben und nach Umsetzung in Betrieb genommen und auf die Funktionalität und Plausibilität geprüft. Dabei orientierten sich die Bearbeiter am Messleitfaden der BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt. Die Messkonzepte definieren Messpositionen, Sensoren und Erfassungsintervalle und wurden grafisch und als Messlisten zusammengefasst. Neben den Gebäuden wurde auch trotz der offenen Ringstruktur eine messtechnische Bilanzierung des Wärmenetzes inklusive des 3-Leiter-Wärmenetzes und der unterschiedlichen Wärmeerzeuger in Überlingen erarbeitet.

Im Bereich Ökobilanzbewertung fand ergänzend noch eine **Teilnahme am EBC Annex 72** der Internationalen Energie Agentur statt. Dabei wurden verschiedene Arbeitsabläufe zur Integration von Building Information Modelling (BIM) und Ökobilanz getestet und auf internationaler Ebene bewertet.

In den fünf Projektjahren entstanden diverse **Veröffentlichungen**, inkl. Buchveröffentlichungen, wissenschaftliche Konferenzbeiträge, Research Papers, Zeitungsartikel, Poster, ein Projekt-Steckbrief, ein Flyer, eine spezifische Projektwebseite, Informationen auf den Webseiten der Projektpartner und externer Webseiten, Pressemitteilungen, Teilnahmen auf Podiumsdiskussionen, Interviews, ein Beitrag zu einem Quartierskompendium und Social Media-Beiträge wie z. B. YouTube-Videos und Beiträge auf LinkedIn.

4.2 Lessons Learned und Ausblick

Der generelle Ansatz, in einem Quartiersforschungsvorhaben die drei unterschiedlichen Themenfelder Energieinfrastrukturen, Datengrundlagen und Planungshilfsmittel sowie sozialwissenschaftliche Fragestellungen vernetzt zu bearbeiten, erwies sich als wichtig und richtig und führte zu einer breiteren Anschauungsweise in allen bearbeiteten Bereichen. So konnten die Gebäudenutzer und -nutzerinnen im Projekt miteinbezogen werden, die Tools besser auf die geplanten User (Bewohner und Bewohnerinnen bzw. Kommunen) zugeschnitten und von ihnen getestet werden und insgesamt alle Arbeitsbereiche besser miteinander verbunden werden.

Das Ziel einer klimaneutralen Energieversorgung der beiden Quartiere in der Betriebsphase inklusive des zugehörigen Nutzerstroms wurde leider in beiden Quartieren nicht ganz erreicht. Im Quartier in Überlingen erfolgte die Umsetzung wie geplant, aber der Ausgleich der geringen verbleibenden Treibhausgasemissionen trotz hocheffizientem Gebäudeniveau und hoher erneuerbaren Anteile bei der Energieerzeugung, war gemäß rechnerischer Bewertung nicht komplett möglich. Das ambitionierte Energiekonzept im Quartier in Stuttgart traf auf schwierige Randbedingungen wie z. B. ein reduziertes Geothermiepotenzial und der Konkurrenz zwischen Solar- und Gründächern und wird deshalb trotz der möglichen Förderung aufgrund wirtschaftlicherer und ebenfalls erneuerbarer Alternativen nicht umgesetzt werden. Zusätzlich erschwerte die verzögerte Planung und Umsetzung auf dem Gelände, die vor allem aus der Nutzung der Bestandsgebäude zur Unterbringung von flüchtenden Menschen resultiert, die Realisierung innerhalb der Projektlaufzeit. Eine Laufzeit von ursprünglich vier Jahren ist gemäß der im Projekt gemachten Erfahrungen für ein Quartiersumsetzungsprojekt zu kurz. Beide entwickelten Konzepte zeigen jedoch, wie nah man auch in dichtbesiedelten Quartieren an das Ziel Klimaneutralität in der Betriebsphase herankommen kann.

Bürgermeister Thomas Kölschbach aus Überlingen:
„Für die Stadt Überlingen ist das Stadtquartier 2050 der Beweis, dass mit ambitionierter Planung und guten Partnern klimaneutrale Quartiere entstehen können. Insbesondere der Ansatz zusätzlich Bestandsgebäude zu intergieren, steigert die Bedeutsamkeit des Forschungsvorhaben. Die gewonnenen Erkenntnisse werden auf zukünftige Siedlungsprojekte übertragen. Der Leuchtturmeffekt wurde durch die soziale Komponente und die frühzeitige Mitnahme der Bewohner/Innen verstärkt.“

Dr. Jürgen Görres, Abteilungsleiter im Amt für Umweltschutz in Stuttgart:
„Das Projekt hat erneut gezeigt, dass die Wärmewende technisch lösbar ist. Die notwendigen Techniken und Möglichkeiten sind da. Hemmend wirken sich regulatorische Herausforderungen wie z. B. die Vorgaben anderer Belange, komplizierter Mieterstrom, Änderungen bei der Bundes-Förderung oder der Datenschutz aus.
Mithilfe engagierter Partner und dem Willen, eine klimaneutrale Versorgung umzusetzen, konnte schlussendlich auch im Stuttgarter Quartier eine gute Lösung auf den Weg gebracht werden. Das ursprünglich angedachte Energiekonzept konnte aus verschiedenen Gründen, unter anderem durch den mehrfach geänderten Projektzeitplan und schwierige geologische Randbedingungen, nicht umgesetzt werden.
Die Erkenntnisse aus dem gemeinsamen Projekt werden in zukünftige Vorhaben einfließen und damit zu weiteren klimaneutralen Quartieren in Stuttgart beitragen.“

Der Austausch der beiden Kommunen in der Städteplattform, eine Besonderheit des Projekts, das zwei Demonstrationsvorhaben beinhaltete, war ein interessanter Ansatz. Seine Umsetzung wurde erschwert, wie auch die anderen kommunikationsbezogenen Arbeitsbereiche, durch die Covid-19-Pandemie, die langsamere Umsetzung im Stuttgarter Quartier und die deutlich unterschiedlichen Quartiere und Konzepte.

Die beteiligte Baugenossenschaft in Überlingen (BGÜ) konnte mit dem Projekt Erfahrungen bei der Planung und Umsetzung des KfW 40 plus-Standards machen. Durch die besonders schlanke Fassadenkonstruktion konnte dabei ein Wohnraumgewinn von ca. 200 m² erreicht werden. Aus Sicht der BGÜ eignet sich das Gesamtenergiekonzept als Blaupause für Quartiserweiterungen mit denen ein Neubaugebiet an ein Bestandsquartier angeschlossen werden kann.

In der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung lag der Fokus auf begleitenden Partizipationsprozessen zu Akzeptanzfragen im Kontext einer klimaneutralen Energieversorgung im Quartiersbestand und im Quartiersneubau. Es wurden Fokusgruppen mit EigentümerInnen, BeirätInnen und VerwalterInnen durchgeführt, um förderliche und hemmende Faktoren für Sanierungsmaßnahmen und die Bereitschaft zum Anschluss an das Nahwärmenetz zu eruieren. Als zentrale hemmende Aspekte zeigten sich in den Diskussionen mangelnder Konsens für Investitionsentscheidungen, Finanzierungsprobleme und sehr unterschiedliche Interessen der Eigentümerschaft; hierzu zählte vereinzelt auch der Wunsch nach Unabhängigkeit von einem Energieversorger. Fachberatung als Wissens- und Entscheidungsbasis wurde eine wichtige Rolle zugemessen. Eine gezielte Ansprache der relevanten Akteure, der passende Zeitpunkt der Einbindung und die Informationsvermittlung der jeweils aktuellen energiepolitischen Situation (u.a. Fördermöglichkeiten, rechtliche Grundlagen) wurden als förderlich angesehen. Allgemein bestand unter den Befragten Interesse an konkreten Maßnahmen und damit verknüpften Umsetzungskonsequenzen wie rechtlichen Fragen oder langfristiger Amortisation von Ausgaben sowie Klimaneutralität der Technologien. Im Vordergrund standen dabei auch Optionen wie Einzelmaßnahmen an Gebäuden zur klimaneutralen Sanierung.

Rückmeldungen der Mieterschaft (vorrangig aus den Neubauten in Überlingen) belegten Interesse und positive Resonanz zum Projekt Stadtquartier 2050. Im Wohnalltag erwiesen sich das Raumklima und insbesondere der Umgang mit der Lüftungsanlage als kontrovers diskutierte Themen: dazu zählten die nicht-kippbaren Fenster oder unterschiedlich präferierte Informationszugänge (z. B. App versus persönliche Einweisung) zur Bedienung der Lüftungsanlage. Zum Themenkomplex Mobilität ergab die schriftliche Befragung, dass das Car-Sharing-Angebot zwar mehrheitlich bekannt war, jedoch nur von Wenigen genutzt wurde. E-Mobilität wurde tendenziell als noch zu teuer bewertet, sowohl in Bezug auf Neuanschaffung eines E-PKWs als auch in Bezug auf das Stellplatzangebot im Quartier. Darüber hinaus wurde die Ladeinfrastruktur bemängelt. Tendenziell war die Bereitschaft für ein

autofreies Quartier erkennbar, allerdings eher unter bestimmten Voraussetzungen.

Die Quartiers-App wurde von den Kommunen und der Baugenossenschaft als logischer Schritt gesehen, das Thema Klimaneutralität und den sparsamen Umgang mit Energie den Bewohnern zu vermitteln. Leider war die Einsatzzeit innerhalb der Projektlaufzeit kurz. So konnte die App nur begrenzt getestet und evaluiert werden. Der Datenschutz stand einer maßgeschneiderten Umsetzung für die Haushalte im Wege, sodass in Teilen nur allgemeine Aussagen getroffen werden konnten. Eine Weiterentwicklung und längere Anwendung wäre innerhalb der Messphase im Überlinger Quartier möglich. Zuvor muss jedoch die Verantwortlichkeit für den Weiterbetrieb geklärt werden.

Der Tool „Klimaneutral Easy“ für die vergleichende Bewertung von unterschiedlichen klimaneutralen Energieversorgungskonzepten in der Betriebsphase von Wohnquartieren konnte auf Basis von Siedlungstypen, gemeinschaftlich erarbeiteten realitätsnahen Filterkriterien, einem vorhandenen Quartierstool am Fraunhofer IBP und neu erarbeitete Berechnungsfunktionen für zahlreiche zentrale Versorgungskonzepte entwickelt und durch die Kommunen erfolgreich getestet werden. Gemäß Rückmeldung ist es praktikabel, in der Handhabung verständlich und unkompliziert. Die Verbesserungsvorschläge der Kommunen wurden soweit möglich umgesetzt. Unter anderem wurde eine zweite Bewertungsmethode eingebaut, die Faktoren und Daten aus der kommunalen Wärmeleitplanung nutzt (Technikkatalog BW/KWP). Durch die Verknüpfung mit der Berechnungsmethode des District ECA können in Zukunft auf der Basis von kommunalen Wärmeleitplanungen Machbarkeitsanalysen von Wärmekonzepte für Quartiere durchgeführt werden.

Die Idee, in den Quartieren (in Verbindung mit dem Tool GridOptimizer) ein Stromtarifmodell zur Incentivierung der Eigennutzung des erzeugten PV-Stroms einzuführen, konnte trotz eines innovativen Stromanbieters in Überlingen nicht umgesetzt werden. Hindernisse dafür waren die zu geringe Zahl der Anschlüsse im Quartier und die bereits gemachten Erfahrung des Anbieters, dass die Kunden und Kundinnen einfache Tarifmodelle bevorzugen.

Die Erweiterung der Betrachtung von der Betriebsphase auf alle Lebenszyklusphasen sowohl bei den beiden Demonstrationsquartieren als auch in einem Ökobilanzmodul für das Software-Tool District ECA wurde von allen Beteiligten als interessant und wichtiger nächster Schritt bewertet. Dazu wurden Grundlagen für eine vereinfachte Lebenszyklusberechnung für Quartiere auf Basis von Typgebäuden erarbeitet. Es zeigte sich allerdings, dass hier noch weiterer Forschungsbedarf vor allem im Bereich der Nichtwohngebäude besteht. Nachdem die Energieversorgungskonzepte in beiden Quartieren nicht ganz die Klimaneutralität in der Betriebsphase erreicht haben, ist es bis zur Klimaneutralität von Quartieren über alle Lebenszyklusphasen hinweg noch ein weiter Weg. Trotzdem sollte diese Aufgabe in weiteren

Forschungsprojekten und Demonstrationsquartieren angegangen werden, ggf. zunächst in Quartieren mit kleineren Gebäuden wie z. B. kleinen Mehrfamilienhäusern oder Einfamilienhäusern. Hier könnte das Verhältnis der Kompensationspotenziale (z. B. PV-Modulflächen) zum Energiebedarf der Betriebsphase, aber auch für die Herstellungs- und Entsorgungsphasen etwas günstiger sein.

Für die beiden Demonstrationsvorhaben wurden Messkonzepte geplant. Aufgrund der Verzögerung in der Planung und Umsetzung im Quartier in Stuttgart waren diese detaillierter für das Quartier in Überlingen und die erforderlichen Messfühler wurden dort auch installiert und in Betrieb genommen. Derzeit wird an einem Antrag für die Messphase im Schättlisberg gearbeitet. Damit kann nicht nur das Energiekonzept evaluiert werden, es wird auch an eine begleitende Weiterentwicklung und Anwendung der Quartiers-App gedacht.

Das Verbundvorhaben mit insgesamt 11 Projektpartnern und zwei weiteren assoziierten Partnern wurde im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ aus dem 6. Energieforschungsprogramm vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. Ohne diese Fördermaßnahme hätte das komplexe Projekt mit den vielen unterschiedlichen aber miteinander verzahnten Themenfeldern nicht angestoßen und umgesetzt werden können. Wir danken den Fördergebern und dem Förderträger PtJ für die Unterstützung während der fünfjährigen Projektlaufzeit.

5 Literaturverzeichnis

[Arpagaus 2018] Arpagaus, C.; Bless, F.; Uhlmann, M.; Schiffmann, J.; Bertsch, S. S.: High Temperature Heat Pumps: Market Overview, State of the Art, Research Status, Refrigerants, and Application Potentials. Energy Volume 152 (2018). Elsevier. Verfügbar unter https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218305759. Letzter Abruf: 23.07.2024.

[Arpagaus 2019] Arpagaus, C.: Hochtemperatur-Wärmepumpen für industrielle Anwendungen. 4. Internationaler Großwärmepumpen-Kongress. 8. Mai 2019. Zürich. Verfügbar unter https://grosswaermepumpen-kongress.com/wp-content/uploads/2019/05/Cordin_Arpagaus.pdf. Letzter Abruf: Mai 2022

[Baehr 2016] Baehr, H.-D.; Kabelac, S.: Thermodynamik - Grundlagen und technische Anwendungen. 16. Auflage, Springer Vieweg. Leibniz Universität Hannover, 2016. ISBN 978-3-662-49567-4.

[Barton 2013] Barton, B. et al.: Energy Cultures: Implications for Policymakers. Research Report, Centre for Sustainability, University of Otago, Dunedin, New Zealand. 2013. ISBN: 978-0-473-23717-2.

[BBSR 2011] Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR): Aktualisierte und erweitere Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse (GEG Infoportal). Verfügbar unter https://www.bbsr-geg.bund.de/GEGPortal/DE/Praxishilfen/Testreferenzjahre/TRY2011/TRY2011Projekt/01_start.html?nn=4054034&cms_pos=2,https://www.bbsr-geg.bund.de/GEGPortal/DE/Praxishilfen/Testreferenzjahre/TRY2011/TRY2011Projekt/Testreferenzjahre_node.html Letzter Abruf: Juli 2024.

[BBSR 2017] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen. BBSR-Online-Publikation 16/2017. Bonn, September 2017. Verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2017/bbsr-online-16-2017-dl.pdf;jsessionid=5117CEE25295EFF07D052B47820C380C.live11314?__blob=publicationFile&v=1. Letzter Abruf: 23.07.2024

[Beckert 2024] Beckert, H.-M.; Sinnesbichler, H.; Steiger, S.: Dokumentiertes Messkonzept für das Stadtquartier Stuttgart. Deliverable D6.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Holzkirchen/Stuttgart, 2024. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/monitoring-22/stuttgart-desktop. Letzter Abruf: 29.10.2024.

[Beckert 2024] Beckert, H.-M.; Sinnesbichler, H.; Steiger, S.: Dokumentiertes Messkonzept für das Stadtquartier Überlingen. Deliverable D6.2 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Holzkirchen/Stuttgart, 2024. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/monitoring/ueberlingen. Letzter Abruf: 29.10.2024.

[Beuth 2012] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN 15978. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Deutsche Fassung EN 15978:2012-10. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-15978/164252701. Letzter Abruf: 29.04.2024.

[Beuth 2018-1] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN V 18599:2018-09. Energetische Bewertung von Gebäuden. Verfügbar in den einzelnen Teilen z. B. unter https://www.dinmedia.de/de/vornorm/din-v-18599-1/293515783. Letzter Abruf: 23.07.2024

[Beuth 2018-2] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN 276. Kosten im Bauwesen. Deutsche Fassung DIN 276:2018-12. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-276/293154016. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Beuth 2018-3] DIN 1998:2018-07: Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Verkehrsflächen - Richtlinie für die Planung. Beuth Verlag. Berlin, 2018. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-1998/288466046. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[Beuth 2020] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN 15804. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Deutsche Fassung EN 15804+:2012+A2:2019. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-15978/164252701. Letzter Abruf: 29.04.2024.

[Beuth 2021-1] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN ISO 14040:2021-02. Umweltmanagement - Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd. 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-iso-14044/325953813. Letzter Abruf: 29.04.2024

[Beuth 2021-2] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN ISO 14044:2021-02. Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-iso-14044/325953813. Letzter Abruf: 29.04.2024.

[Beuth 2021-3] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN 277. Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau. Deutsche Fassung DIN 277:2021-08. Verfügbar

unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-277/342217323. Letzter Abruf: 29.04.2024.

[Birgisdóttir 2023] Birgisdóttir, H. et al.: International Energy Agency. Assessing life cycle related environmental impacts caused by buildings: Case study collection. Report, 2023. Treeze Ltd. (Herausgeber). ISBN: 978-3-9525709-3-7. DOI: 10.5281/zenodo.7468792. Verfügbar unter https://annex72.iea-ebc.org/publications. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[BIMForum 2023] BIMForum: Level of Development (LOD) Specification. Version: 2023. Part I. Verfügbar unter https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[BKI 2022] Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH (BKI): BKI Kostenplaner. Regionalfaktoren 2022. Version 2021.62.9.

[Blesl 2001] Blesl et al.: Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V, Frankfurt, 2001. Verfügbar unter https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/1587. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[Blesl 2002] Blesl, M.: Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssystem zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Universität Stuttgart, 2002. Verfügbar unter https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/1586/1/FB92.pdf. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[BMJ 2024] Bundesministerium für Justiz (BMJ): Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) – Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien, Stand 2024, Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/EEG_2023.pdf. Letzter Zugriff: Juli 2024.

[BMWi 2015] Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand vom 7. April 2015. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. 2015.

[BMWi/BMBF 2016] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Bildung und Forschung: Bekanntmachung zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration auf dem Gebiet energieeffizienter Gebäude und Quartiere. Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms. April 2016. Verfügbar unter

https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1168.html. Letzter Abruf: 25.04.2024.

[BMWK 2022] Energiedaten: Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWK. Stand 2022. Verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html. Letzter Zugriff: Januar 2022.

[BMWSB 2021-1] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, (Hrsg.): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Stand 24.02.2017. Berlin, Deutschland, 2021. Verfügbar unter: https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/. Letzter Abruf: 25.03.2022.

[BMWSB 2021-2] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR): ÖKOBAUDAT 2021-II (25.06.2021). Verfügbar unter https://www.oekobaudat.de/datenbank/archiv/oekobaudat-2021-ii.html. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[BMWSB 2022] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, (Hrsg.): Bilanzierungsregeln des QNG für Nichtwohngebäude. Stand 25.06.2021. Anhang 3.1.1 zur ANLAGE 3. Berlin, Deutschland, 1. Juli 2021. Verfügbar unter: https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/. Letzter Abruf: 25.03.2022.

[Bonenberger 2020] Bonenberger, L.; Graf-Drasch, V.; Meindl, O.: Anforderungskatalog für die Quartiers-App basierend auf dem Volere Requirements Specification Template (Edition 16 – 2012). Deliverable D5.1.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2020. Unveröffentlicht.

[Bonenberger 2021] Bonenberger, L.; Graf-Drasch, V.; Meindl, O.: Handlungsempfehlungen für die Gestaltung mobiler Apps in smarten und nachhaltigen Quartieren. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 58. Jg., 2021. Verfügbar unter https://link.springer.com/article/10.1365/s40702-021-00769-1. Letzter Abruf: 02.05.2024.

[Braune 2020] Braune, A. et al.: Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte. Bericht. März, 2020. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (Hrsg.). Verfügbar unter https://www.dgnb.de/?eID=dumpFile&t=f&download=1&f=3322&token=baeb26e1733304bddcda21936ae13535f42da425. Letzter Abruf: 26.08.24

[Bünger 2022] Bünger, B.; Matthey, A.: Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten. Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau, 2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-11-12_methodenkonvention-3-0_methodische-grundlagen.pdf. Letzter Abruf: 24.07.2024

[Bundestag 2020] Bundestag: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37. Bundesanzeiger Verlag GmbH. Bonn. 13. August 2020. Verfügbar unter https://www.geg-info.de/geg/2020.08.13._bundesgesetzblatt_geg_2020_verkundung.pdf. Letzter Zugriff: 28.07.2024.

[BWB 2024] Berliner Wasserbetriebe (BWB): klassewasser.de - Spannendes zum Element Wasser. Die Anomalie des Wassers. Verfügbar unter: https://klassewasser.de/content/language1/html/3653.php. Letzter Abruf: 07.07.2024

[BWG Solarkonzept 2021] BWG Solarkonzept Rhein-Ahr-Eifel GmbH: Solaranlage mit Speicher Verfügbar unter https://bwg-solarkonzept.de/solaranlage-mit-speicher/. Letzter Abruf: 24.05.2024.

[CARMEN 2022] C.A.R.M.E.N. e.V.: Marktpreis Energieholz. Verfügbar unter https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/. Letzter Zugriff: Mai 2022.

[CARMEN 2023] Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk (C.A.R.M.E.N): Freiflächen-Photovoltaikanlagen. Leitfaden, 2023. Verfügbar unter https://www.carmen-ev.de/wp-content/uploads/2022/04/Leitfaden_Freiflaechenanlagen.pdf. Letzter Abruf: 28.05.2024.

[Cischinsky 2018] Cischinsky, H.; Diefenbach, N.: Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 – Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Bericht des Instituts für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 2018.

[CORDIS 2022] European Commission - CORDIS EU research results: Mobilization of innovative design tools for refurbishing of buildings at district level. Grant agreement ID 680447. Verfügbar unter https://cordis.europa.eu/project/id/680447. Letzter Abruf: 30.04.2024.

[Covestro 2021] Covestro: Dr. Valerie Graf-Drasch on STADTQUARTIER 2050 | Covestro. Verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=NM1JQi0pTG4. Letzter Abruf am 22.06.2023.

[destatis 2019] Fortschreibung Wohngebäude- und Wohnungsbestand: Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche. Stand 25. Juli 2019. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden, 2019.

[destatis 2020] Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff. Lange Reihen ab 2000. Erschienen 14. Juli 2020. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2020.

[DGNB 2023] DGNB GmbH: DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Version 2023. Stuttgart, Deutschland. Verfügbar unter https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/verein/system/DGNB_Kriterienkatalog_V23_Gebaeude_Neubau_Kommentierungsversion.pdf. Letzter Abruf: 26.08.24.

[DHWcalc 2017] DHWcalc - Tool for the Generation of Domestic Hot Water (DHW) Profiles on a Statistical Basis. Version 2.02b (March 2017). Universität Kassel, Fachbereich Maschinenbau, Institut für Thermische Energietechnik, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik. Verfügbar unter https://www.uni-kassel.de/maschinenbau/institute/thermische-energietechnik/fachgebiete/solar-und-anlagentechnik/downloads. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Di Bari 2023] Di Bari, R. et al.: International Energy Agency. Designer's toolbox for Building LCA. A Contribution to IEA EBC Annex 72. Internal report, 2023.

[DIN Media 2013] DIN Media: VDI 3803:2013 Blatt 5. Raumlufttechnik, Geräteanforderungen - Wärmerückgewinnungssysteme (VDI-Lüftungsregeln). Blatt 1 bis 5. Berlin 2013. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/vdi-3803-blatt-5/154061342. Letzter Abruf: 25.07.24.

[Dötsch 1998] Dötsch, C.; Taschenberger, J.; Schönberg I.: Leitfaden Nahwärme. Fraunhofer UMSICHT. Oberhausen. 1998. Verfügbar unter https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/6ce2f5f0-9aa1-4d5d-b7ad-fc6262201475/content. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[DWD 2021-1] Deutscher Wetterdienst: Wetterprognose des Deutschen Wetterdienstes ICON-D2. Verfügbar unter https://opendata.dwd.de/weather/nwp/icon-d2/. Letzter Abruf: 12.02.2023.

[DWD 2021-2] Messdaten der Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes. Verfügbar unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/. Letzter Abruf: 25.07.24.

[EET 2024] EET - Efficient Energy Technology GmbH: Lightmate Balkon. Verfügbar unter https://www.eet.energy/de/produkt/lightmate-

balkon/?attribute_pa_breite-balkongelaender=5-cm&attribute_pa_leistung=430-wp&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI6-Ll8fKjhgMVuEJBAh0qEAzrEAQYBCABEgKEzPD_BwE. Letzter Abruf: 03.06.2024

[EnergieAgentur.NRW 2015] EnergieAgentur.NRW: Wo im Haushalt bleibt der Strom. 2015. Direkt nach dem Ende der Tätigkeit der EnergieAgentur.NRW nicht mehr auffindbar. Inhalte sind jedoch enthalten auf https://www.baulinks.de/webplugin/2016/0764.php4. Letzter Abruf: 25.07.2024.

[Erhorn 2010] Erhorn, H.; Erhorn-Kluttig, H.; Schrade J.; Schmidt, D.; Sager, C.; Beier C.; Schrempf, L.; Jank, R.; Dütz, A.; Rumpel, F.: Energetische Quartiersplanung in Deutschland. Wissenschaftliche Begleitung der Förderaktivität „Energieeffiziente Stadt“. Schlussbericht Phase 1. 2010. Verfügbar unter: https://www.tib.eu/de/suchen?tx_tibsearch_search%5Baction%5D=download&tx_tibsearch_search%5Bcontroller%5D=Download&tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A643917160&cHash=83c6aa969c7e3f05aeb142499b44690c#download-mark. Letzter Abruf: 30.04.2024.

[Erhorn-Kluttig 2013] Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.; Weber, J.; Wössner, S.; Budde, E.: Der Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere. Ein Potenzialbewertungstool aus der Förderinitiative EnEff:Stadt. Fraunhofer IRB Verlag. Verfügbar unter https://www.baufachinformation.de/der-energiekonzept-berater-fuer-stadtquartiere/240672. Letzter Abruf: 30.04.2024. Das Tool ist verfügbar unter https://www.district-eca.com/index.php?lang=de. Letzter Abruf: 30.04.24.

[Erhorn-Kluttig 2020] Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.; Reiß, J.; Sinnesbichler, H.; Kirnats, L.; Frisch, J.; Miehlich, A.; Krämer, B.; Lennartz, M.; Aßmus, U.: Messleitfaden für Demonstrationsvorhaben im Bereich „Energie in Gebäuden und Quartieren“. Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN. 2020. Verfügbar unter: https://www.energiewende-bauen.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/C4DFA9FD15403D08E0537E695E869019/live/document/Messleitfaden_Update_2020_V2.pdf. Letzter Abruf: 30.04.2024.

[Everding 2007] Everding, D.; Wachten, K. Wieser, W.: Solarer Städtebau – Vom Pilotprojekt zum Planerischen Leitbild. Stuttgart, 2007.

[Figgener 2017] Figgener, J.; Haberschusz, D.; Kairies, K. P.; Wessels, O.; Tepe, B.; Ebbert, M; Herzog, R.; Sauer, D. U.: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht 2017. Institut für Stromrichtertechnik und elektrische Antriebe der RWTH Aachen. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/318673229_Wissenschaftliches_Mess-

_und_Evaluierungsprogramm_Solarstromspeicher_20_Jahresbericht_2017?channel=doi&linkId=597708dbaca2728d0275a4f0&showFulltext=true. Letzter Abruf: 23.07.2024.

[Figgener 2023] Figgener, J.; Haberschusz, D.; Hecht, C.; Zurmühlen, S.; Sauer, D-W.: Speichermonitoring BW 2.0 (Abschlussbericht). RWTH Aachen University Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe. Verfügbar unter: https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10501-Speichermonitoring_BW_2.0.pdf. Letzter Abruf: 14.07.2024

[Fischedick 2007] Fischedick, M.; Schüwer, D.; Venjakob, J.; Merten, F.; Mitze, D.; Nast, M.; Schillings, C.; Krewitt, W.; Bohnenschäfer, W.; Lindner, K.: Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Stuttgart, 2007.

[Fraunhofer FIT 2021-1] Fraunhofer FIT: Handlungsempfehlungen auf Basis der geschätzten Strom- und Wärmebedarfsdaten. Deliverable D3.1.5 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2021. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D3_1_5_Handlungsempfehlungen.pdf. Letzter Abruf: 12.04.2024.

[Fraunhofer FIT 2021-2] Fraunhofer FIT: Wirtschaftlichkeitsbericht zu dem Energiekonzept Stuttgart und Überlingen. Deliverable D3.3.1/D3.3.2 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2021. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/images/Deliverable_3.3.1_3.3.2_Wirtschaftlichkeitsbewertung_v1.1.pdf. Letzer Abruf: 12.04.2024

[Fraunhofer FIT 2021-3] Fraunhofer FIT: Konzept zur Gestaltung des Datenschutzes bei Entwicklung und Betrieb der Quartiers-App im Projekt STADTQUARTIER 2050. Deliverable D5.1.2 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2021. Unveröffentlicht.

[Fraunhofer FIT 2023-1] Fraunhofer FIT: Quartiers-App für das Demonstrationsquartier Stuttgart im STADTQUARTIER 2050. Deliverable D5.1.3 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2023. Unveröffentlicht. Kontakt: Fraunhofer-FIT, Prof. Dr. H. Gimpel.

[Fraunhofer FIT 2023-2] Fraunhofer FIT: Quartiers-App für das Demonstrationsquartier Überlingen im STADTQUARTIER 2050. Deliverable D5.1.4 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2023. Unveröffentlicht. Kontakt: Fraunhofer-FIT, Prof. Dr. H. Gimpel.

[Fraunhofer IBP 2016] Fraunhofer IBP: EnEff:Stadt Messdatenplattform. Messdaten aus vier EnEff:Stadt Demonstrationsvorhaben. 2016. Derzeit nicht

verfügbar. Demnächst Ersatz durch eine neue Messdatenbank mit Daten aus Energiewendebauen-Vorhaben.

[Fraunhofer IBP 2018] Fraunhofer IBP: District Energy Concept Adviser. Verfügbar unter https://district-eca.de

[Fraunhofer IBP 2024-1] Fraunhofer IBP: Website des Softwaretools Klimaneutral Easy. Verfügbar unter https://klimaneutraleasy.azurewebsites.net/

[Fraunhofer IBP 2024-2] Fraunhofer IBP: Handbuch zu „Klimaneutral Easy“ (Version 1.0). Verfügbar unter https://klimaneutraleasy.azurewebsites.net/images/Handbuch.pdf

[Fraunhofer IBP 2024-3] Fraunhofer IBP: Software GridOptimizer. Tool zur Maximierung des Eigenverbrauchs des im Quartier erzeugten erneuerbaren Stroms. Bestandteil der Stadtquartier 2050 Quartiers-App. 2024. Kontakt: sekretariat-eer@ibp.fraunhofer.de.

[Fraunhofer IBP 2024-4] Fraunhofer IBP: Generis®. Software zur Gebäudeökobilanz. Stuttgart, 2024. Verfügbar unter https://www.generis.live/#/signin. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Fraunhofer IBP 2024-5] Fraunhofer IBP: District Energy Concept Adviser mit LCA-Modul. Deliverable D5.4.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2023Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/tools-22/oekobilanzmodul-fuer-district-eca-desktop. Letzter Abruf: 31.10.2024.

[Fridgen 2018] Fridgen, G.; Kahlen, M.; Ketter, W.; Rieger, A.; Thimmel, M.: One rate does not fit all: An empirical analysis of electricity tariffs for residential microgrids. 2018. In Applied Energy Volume 210, pp. 800–814. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.08.138. Verfügbar unter https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917311546. Letzter Abruf: 25.07.2024.

[Gantner 2011-1] Gantner, J. et al.: EeBGuide: Operational guidance for Life Cycle Assessment studies of the Energy Efficient Building Initiative: Part B: Buildings 2011.

[Gantner 2011-2] Gantner, J. et al.: EeBGuide: Operational guidance for Life Cycle Assessment studies of the Energy Efficient Building Initiative: Part A: Products 2011.

[Garrecht 2023] Garrecht, H.; Arkhipkina, O.; Ullmann, D.: Abschlussbericht für das Verbundprojekt „STADTQUARTIER 2050“. Arbeitsbericht des Zuwendungsempfängers IWB. Institut Werkstoffe im Bauwesen,

Universität Stuttgart. Stuttgart, 2023. Verfügbar unter https://e-docs.tib.eu/files/e01fb24/1892333031.pdf. Letzter Abruf: 16.07.2024.

[Gibbins 2011] Gibbins, O.: Sanierung einer Keramikfassade, Baumeister: das Architektur-Magazin, Heft 3/1997, S. 48–51, Georg GmbH & Co. KG, München.

[Görres 2017] Görres, J.; Schäfer, N.: Neues Stadtquartier „Neckarpark Stuttgart“: Nahwärme und -kälte aus Abwasser. Energiewendebauen Kongress. 2017.

[Görres 2018] Görres, J.: STADTQUARTIER 2050 – Herausforderungen lösen. Vorhabenbeschreibung zum Projektantrag. 2018. Unveröffentlicht.

[Görres 2024-1] Görres, J.; Kühl, S.; Siegl, M.; Erhorn-Kluttig, H.; Lenz, K.; Gimpel, H.; Graf-Drasch, V.; Roser, A.: Schakib-Ekbatan, K.; Ressel, A.: Presenting the lighthouse of energy transition. In „Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts”. De Gruyter, Berlin, Boston 2024. ISBN 9783110777543 (gebunden) bzw. 9783110777567 (eBook). Verfügbar unter https://doi.org/10.1515/9783110777567. Letzter Abruf: 16.07.2024.

[Görres 2024-2] Görres, J.; Hahn, R.; Kühl, S.; Kölschbach, T.; Siegl, M.: Dokumentation des Erfahrungsaustausches zu energetischen Quartierskonzepten. Deliverable D1.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050, Stuttgart, 2024. Unveröffentlicht.

[Görres 2024-3] Görres, J.; Hahn, R.; Kühl, S.; Kölschbach, T.; Siegl, M.: Dokumentation des Erfahrungsaustausches zum Bauprozess und zu Kommunikationsmaßnahmen. Deliverable D1.2 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050, Stuttgart, 2024. Unveröffentlicht.

[Görres 2024-4] Görres, J.; Hahn, R.; Kühl, S.; Kölschbach, T.; Siegl, M.: Dokumentation des Erfahrungsaustausches zur Übertragbarkeit. Deliverable D1.3 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050, Stuttgart, 2024. Unveröffentlicht.

[Görres 2024-5] Görres, J.; Hahn, R.; Kühl, S.: Dokumentation des Planungs- und Umsetzungsprozesses. Deliverable D2.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050, Stuttgart, 2024. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/index.php/stuttgart-22/projektstand. Letzter Abruf: 31.10.24.

[Graf-Drasch 2020-1] Graf-Drasch, V.: Anforderungsspezifikation zur Datenanalyse. Deliverable D3.1.3 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2020. Verfügbar unter

https://stadtquartier2050.de/images/D3_1_3_Anforderungsspezifikation_zur_Datenanalyse.pdf. Letzter Abruf: 12.04.2024.

[Graf-Drasch 2020-2] Graf-Drasch, V.: Energiebedarfsprofile. Deliverable D3.1.4 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2020. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D3_1_4_Energiebedarfsprofile.pdf. Letzter Abruf: 12.04.2024.

[Graf-Drasch 2021] Graf-Drasch, V.; Arnold, L.; Roser, A.: Schakib-Ekbatan, K.: Entwicklung eines zielgruppenspezifischen Bonussystems. Deliverable D4.3.3 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2021. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/Deliverable_4.3.3_Generischer_Baukasten_Bonussystem.pdf. Letzter Abruf: 15.04.2024.

[Graf-Drasch 2023-1] Graf-Drasch, V.; Arnold, L.; Roser, A.: Schakib-Ekbatan, K.: Bonussystem Stuttgart. Deliverable D4.3.4 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2023. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D4_3_4_Bonussystem_Stuttgart.pdf. Letzter Abruf: 15.04.2024.

[Graf-Drasch 2023-2] Graf-Drasch, V.; Arnold, L.; Roser, A.: Schakib-Ekbatan, K.: Bonussystem Überlingen. Deliverable D4.3.5 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2023. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D4_3_5_Bonussystem_Ueberlingen.pdf. Letzter Abruf: 15.04.2024.

[Graf-Drasch 2023-3] Graf-Drasch, V.; Keller, R.; Meindl, O., Röhrich, F.: The Design of Citizen-Centric Green IS in Sustainable Smart Districts. Business & Information Systems Engineering. 2023. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/372310105_The_Design_of_Citizen-Centric_Green_IS_in_Sustainable_Smart_Districts. Letzter Abruf: 18.07.2024

[Graulich 2018] Graulich, K.; Bauknecht, D.; Heinemann, C.; Hilbert, I.; Vogel, M.; Seifried, D.; Albert-Seifried, S.: Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparen. Ergebnisse aus dem BMBF-geförderten Verbundprojekt „Perspektiven der Bürgerbeteiligung an der Energiewende unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen“. 2018. Verfügbar unter: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/PV-Batteriespeicher-Endbericht.pdf. Letzter Abruf: 28.05.2024.

[Hacke 2006] Hacke, U.; Lohmann, G.: Akzeptanz energetischer Maßnahmen im Rahmen der nachhaltigen Modernisierung des Wohnungsbestandes. Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 2006. Verfügbar unter:

https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/handlungslogiken/2006_IWU_HackeEtLohmann_Akzeptanz-energetischer-Massnahmen.pdf. Letzter Abruf: 07.06.2024.

[Hegger 2014] Hegger, M.; Dettmar, J: Energetische Stadtraumtypen – Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen. Schriftenreihe EnEff:Stadt. 2014. ISBN 978-3-8167-9292-5.

[Heidemann 2005] Heidemann, W.; Dötsch, C.; Müller-Steinhagen, H.: Solare Nahwärme und saisonale Speicherung. FVS LZE Themen 2005. Köln. 2005.

[Helfferich 2014] Helfferich, C.: Leitfaden- und Experteninterviews. Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Springer VS, Wiesbaden, 2014. ISBN 978-3-531-17809-7.

[Hintemann 2010] Hintemann, R.; Fichter, K.: Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland. Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. Forschungsbericht, Dessau-Roßlau, 2010. Verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Forschungsdatenbank/fkz_3708_93_302_materialbestand_rechenzentren_bf.pdf. Letzter Abruf: 28.05.2024.

[Hinterstocker 2018] Hinterstocker, M.; von Roon, S.; Beck, F.: Die Auswirkung variabler Stromtarife auf das Verhalten von Haushaltskunden. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 68. Jg. (2018) Heft 7/8. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2018. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/344610354_Die_Auswirkungen_variabler_Stromtarife_auf_das_Verhalten_von_Haushaltskunden. Letzter Abruf: 25.07.2024.

[Hinz 2015] Hinz, E.: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten. Endbericht. Darmstadt. 2015. ISBN-Nr.: 978-3-941140-50-9. Verfügbar unter: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/handlungslogiken/2015_IWU_Hinz_Kosten-energierelevanter-Bau-und-Anlagenteile-bei-der-energetischen-Modernisierung-von-Altbauten.pdf. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[Horn 2020] Horn, R. et al.: The BIM2LCA Approach: An Industry Foundation Classes (IFC)-Based Interface to Integrate Life Cycle Assessment in Integral Planning. Sustainability 2020, 12(16), 6558. 2020. https://doi.org/10.3390/su12166558.

[IEA EBC 2013] International Energy Agency: Annex 51 – Energy Efficient Communities. Website des IEA EBC. Overview, operating agent, participants

and publications. Verfügbar unter https://www.iea-ebc.org/projects/project?AnnexID=51. Letzter Abruf: 30.04.2024.

[IEA EBC 2023] International Energy Agency: Annex 72 – Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings. Website des IEA EBC. Verfügbar unter https://annex72.iea-ebc.org/. Letzter Abruf: 30.04.2024.

[IINAS 2022] IINAS GmbH: GEMIS: Globales Emissions-Modell integrierter Systeme. Aktuelle Version: 5.1 (2022). Verfügbar unter https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/. Letzter Abruf: 26.08.24

[ISO 2024] Internationale Organisation für Normung (ISO): Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema. ISO 16739-1:2024. Verfügbar unter https://www.iso.org/standard/84123.html. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Isoplus 2012] Isoplus Planungshandbuch, Kapitel 2. Isoplus Fernwärmetechnik GmbH. Rosenheim. 2012. Verfügbar unter https://www.isoplus.de/fileadmin/user_upload/downloads/documents/germany/Catalogue_German/Kapitel_2_Starre_Verbundsysteme.pdf. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[Karg 2014] Karg, L.; Kleine-Hegermann, K.; Wedler, M.; Jahr, C.: E-Energy Abschlussbericht. Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Evaluation der sechs Leuchtturmprojekte. Bericht der B.A.U.M. Consult GmbH. 2014. Verfügbar unter https://www.baumgroup.de/fileadmin/interface/files/OHESJQCMRZ-10162014151546-QKTTRNSXJI.pdf. Letzter Abruf: 25.07.2024.

[KEA-BW 2024] KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA-BW): Technikkatalog Kommunale Wärmeplanung. Verfügbar unter: https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Wissensportal/Technikkatalog_Tabellen_v1.1.zip. Letzter Abruf: 10.07.2024.

[KfW 2020] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Energieeffizient Sanieren – Kredit und Investitionszuschuss. Anlage zu den Merkblättern – Technische Mindestanforderungen. Stand 01/2020. Verfügbar unter https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000003612_M_151_152_430_Anlage_TMA_2018_04.PDF. Letzter Abruf: 07.05.2022.

[KfW 2022] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (2022). Merkblatt Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Nichtwohngebäude. Verfügbar unter www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-

(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000004860_M_463.pdf, Letzter Abruf: 10.07.2024.

[Kleines Kraftwerk 2024] Kleines Kraftwerk DE GmbH: Kleines Kraftwerk Single Gitterbalkon. Verfügbar unter https://kleineskraftwerk.de/products/kleines-kraftwerk-gitterbalkon-single. Letzter Abruf: 03.06.2024.

[Könen 2024] Könen S.; Hilger, L; Rehm, T.; Petersen, L.; Schneiders, T.; S: Stromverbrauchsmessungen in Mietswohnungen: Ist Transparenz der Schlüssel für Energiebewusstsein und Einsparungen? 18. Symposium Energieinnovation, Graz/Austria, 2024. Verfügbar unter https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/tugrazExternal/f560810f-089d-42d8-ae6d-8e82a8454ca9/files/lf/Session_F5/653_LF_Ko__nen.pdf .Letzter Abruf: 24.05.2024.

[Komfovent 2024-1] Komfovent GmbH. RHP Geräte mit integrierter Wärmepumpe. Verfügbar unter https://www.komfovent.de/de/c-page/produkte/luftungsgerate/rhp-gerate-mit-integrierter-warmepumpe. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Komfovent 2024-2] Komfovent GmbH: Persönliche Kommunikation mit einer Backoffice Managerin, 08.07.2024.

[Lechner 2023] Lechner, S.; Paul, A.; Völzel, C.; Hintemann, R.; Hinterholzer, S.: Innovative Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Hessen am Beispiel von Offenbach. Abschlussbericht. 2023. Verfügbar unter https://publikationsserver.thm.de/xmlui/bitstream/handle/123456789/295/Lechner_Stefan.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Letzter Abruf: 24.05.2024.

[Lenz 2024-1] Lenz, K., Henzler, K.: Ökobilanzbewertung von Energiekonzepten. Deliverable D3.4.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Stuttgart, 2024. Verfügbar https://www.stadtquartier2050.de/index.php/technologische-fragen-22/oekobilanzbewertung-desktop. Letzter Abruf: 29.10.2024.

[Lenz 2024-2] Lenz, K., Henzler, K.: Ökobilanzmodul für den Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (District ECA). User Manual zum LCA-Modul des District Energy Concept Advisers mit Dokumentation zu Hintergrunddaten und Anwendungshinweisen. Deliverable D5.4.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Stuttgart, 2024. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/tools-22/oekobilanzmodul-fuer-district-eca-desktop. Letzter Abruf: 31.10.2024.

[Leonhardt 2024] Leonhardt, S.; Nusser, T.; Görres, J.; Rosinger, S.; Stryi-Hipp, G.; Eckhard, M. (Hrsg.): Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts. De Gruyter, Berlin, Boston, 2024. ISBN 9783110777543 (gebunden) bzw. 9783110777567 (eBook).

Verfügbar unter https://doi.org/10.1515/9783110777567. Letzter Abruf: 15.07.2024.

[LimeSurvey 2024] LimeSurvey GmbH: Produkte – Umfragen. 2006-2024. Verfügbar unter https://www.limesurvey.org/de/produkte/umfragen. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Loga 2015] Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R.: Deutsche Wohngebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage. Bericht des Instituts für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 2015. Verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/episcope/2015_IWU_LogaEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[Mahler 2019] Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T.; Gantner, J.: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamts. Verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Forschungsdatenbank/fkz_3715_41_111_energieaufwand_gebaeudekonzepte_bf.pdf. Letzter Abruf: 26.08.24

[Maucher 2023] Maucher, M.; Söder, A.: Energiekonzept für das Demonstrationsquartier Schättlisberg in Überlingen. Meilenstein M2.2.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Ravensburg, 2023. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/ueberlingen/energiekonzept. Letzter Abruf: 31.10.2024.

[McCauley 2013] McCauley, D.; Heffron, R.; Stephan, H.; Jenkins, K.: Advancing energy justice – the triumvirate of tenets. International Energy Law Review, volume 32. 2013. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/259459020_Advancing_Energy_Justice_The_triumvirate_of_tenets. Letzter Abruf: 29.04.2024.

[Miara 2011] Miara, M.; Günther, D.; Kramer, T.; Oltersdorf, T.; Wapler, J.: Wärmepumpen Effizienz. Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Freiburg. 2011. Verfügbar unter https://edocs.tib.eu/files/e01fb11/665477864l.pdf. Letzter Abruf: 28.07.2024.

[Nussbaumer 2017] Nussbaumer, T.; Thalmann, S.; Jenni, A.; Ködel, J.: Planungshandbuch Fernwärme. Bundesamt für Energie BFE. Bern (Schweiz), 2017. Verfügbar unter https://www.verenum.ch/Dokumente/PLHFW_V1.2.pdf. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Ott 2022] Ott, B.; Weber, M.; Radgen, P.; Wie Abwärme aus Rechenzentren die Wärmewende in Deutschland voranbringen kann. 17.

Symposium Energieinnovation, Graz/Austria, 2022. Verfügbar unter: https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/tugrazExternal/738639ca-39a0-4129-b0f0-38b384c12b57/files/lf/Session_E5/555_LF_Ott.pdf. Letzter Abruf: 27.05.2024.

[Passer 2023] Passer, A. et al.: International Energy Agency. Guidelines for design decision-makers (Annex 72). Report, 2023. treeze Ltd. (Herausgeber). ISBN 978-3-9525709-1-3. DOI 10.5281/zenodo.7468687. Verfügbar unter https://annex72.iea-ebc.org/publications. Letzter Abruf: 12.07.2024.

[Polarstern 2020] Polarstern: Mehr Wert für Immobilien. Mit wirklich besserer Energie. Wirklich Mieterstrom. 2020. Verfügbar unter https://www.polarstern-energie.de/fileadmin/files/mieterstrom/Mieterstrom_Whitepaper.pdf. Letzter Abruf: 25.07.2024.

[Priwatt 2024] Priwatt GmbH: Balkonkraftwerk priBalcony. Verfügbar unter https://priwatt.de/stecker-solaranlagen/balkon/pribalcony/SW10666.2. Letzter Abruf: 03.06.2024.

[PV Magazin 2022] Diermann, R.: App von Transnet BW informiert über den aktuellen Status des Stromnetzes in Baden-Württemberg. Artikel im PV Magazin, 15. November 2022. Verfügbar unter https://www.pv-magazine.de/2022/11/15/app-von-transnet-bw-informiert-ueber-den-aktuellen-status-des-stromnetzes-in-baden-wuerttemberg/. Letzter Abruf: 25.07.2024.

[Ramming 2007] Ramming, K.: Bewertung und Optimierung oberflächennaher Erdwärmekollektoren für verschiedene Lastfälle. Dissertation TU Dresden. 2007.

[Ressel 2024] Ressel, D.; Werner, A.; Eisenhuth, V.; Huther, A.; Fakner, M.; Maucher, M.; Söder, A.; Kamml, M.: Dokumentation des Planungs- und Umsetzungsprozesses. Deliverable D2.2.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Überlingen, 2024. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/ueberlingen-22/projektstand-desktop. Letzter Abruf: 29.10.2024.

[Roser 2019] Akteursanalyse für das Sanierungsgebiet Hildegardring in Überlingen. Deliverable D4.4.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Karlsruhe, 2024. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/Deliverable%204.4.1%20Akteursanalyse.pdf. Letzter Abruf: 29.05.2024.

[Roth 1980] Roth, U.; Häubi, F; Albrecht, J.; Bischoff, M.; Deucher, A.; Harder, L.; Langgraf, B.; Pape, G.: Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. Schriftenreihe „Raumordnung“

des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 06.044. Bonn, 1980.

[Schakib-Ekbatan 2024-1] Schakib-Ekbatan, K.; Roser, A.; Werner, A.: Übersicht über relevante Zielgruppen und Entwicklung von Interviewleitfäden – Teilprojekt Überlingen. Deliverable D4.2.1 des Verbundvorhabens STADT-QUARTIER 2050. Karlsruhe, 2024. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/soziale-themen-22/motivation-koordination-wegs-desktop. Letzter Abruf: 29.10.2024.

[Schakib-Ekbatan 2024-2] Schakib-Ekbatan, K.; Roser, A.; Werner, A.: Ergebnisse der Experteninterviews einschließlich Handlungsempfehlungen für Partizipationsveranstaltungen. Deliverable D4.2.2 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Karlsruhe, 2024. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/soziale-themen-22/motivation-koordination-wegs-desktop. Letzter Abruf: 29.10.2024.

[Schakib-Ekbatan 2024-3] Schakib-Ekbatan, K.; Roser, A.; Werner, A.: Durchführung von Partizipationsveranstaltungen. Deliverable D4.2.3 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Karlsruhe, 2024. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/soziale-themen-22/motivation-koordination-wegs-desktop. Letzter Abruf: 29.10.2024.

[Schmidt 2018-1] Schmidt, M.; Stirnweiß, D.: Datenschutz- und Datensicherheitskonzept des öffentlich geförderten Projekts. Deliverable D3.1.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2018. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D3_1_1_Datenschutz_und_Datensicherheitskonzept.pdf. Letzter Abruf: 12.04.2024.

[Schmidt 2018-2] Schmidt, M.; Stirnweiß, D.: Use Cases für Strom- und Wärmeverbrauchsdaten. Deliverable D3.1.2 des Verbundvorhabens STADT-QUARTIER 2050. Augsburg, 2018. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D3_1_2_Ausformulierte_Use_Cases.pdf. Letzter Abruf: 12.04.2024.

[Schmidt 2019] Schmidt, M.; Stirnweiß, D.; Roser, A.; Schakib-Ekbatan, K.: Übersicht geeigneter Anreize zur Unterstützung energiebewussten Verhaltens. Deliverable 4.3.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2019. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D4.3.1.pdf. Letzter Abruf: 15.04.2024.

[Schmidt 2020] Schmidt, M.; Graf-Drasch, V.; Roser, A.; Schakib-Ekbatan, K.: Identifizierung und Analyse relevanter Personengruppen. Deliverable 4.3.2 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Augsburg, 2020. Verfügbar unter https://stadtquartier2050.de/images/D4.3.2.pdf. Letzter Abruf: 15.04.2024.

[Schrade 2014] Schrade, J.; Erhorn, H.: Standardisiertes Leistungsbild zur Erstellung von Energiekonzepten für die landeseigenen Liegenschaften in Baden-Württemberg. Stuttgart, 2014.

[Schrade 2020-1] Schrade, J.; Erhorn, H.; Erhorn-Kluttig, H.: Entwicklung eines klimaneutralen Versorgungskonzepts für das Bürgerhospital Stuttgart. Wissenschaftliches Hintergrunddokument. Meilenstein 2.1.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Stuttgart, 2020. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/images/M2.1.1_Wissenschaftliches_Hintergrunddokument_Energiekonzept_B%C3%BCrgerhospital_14_08_20.pdf. Letzter Abruf: 27.07.2024.

[Schrade 2020-2] Schrade, J.; Erhorn, H.; Görres, J.; Hahn, R.; Kühl, S.: Bausteine des Energiekonzepts für das klimaneutrale Quartier Bürgerhospital in Stuttgart. Exposé zum wissenschaftliches Hintergrunddokument, Stuttgart, 2020.

[Schrade 2022-1] Schrade, J.; Illner, M.; Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.: Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere. Deliverable 3.2.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Stuttgart, 2022. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/images/D3_2_1_LeitfadenKlimaneutraleQuartiere_final.pdf. Letzter Abruf: 29.04.2024.

[Schrade 2022-2] Schrade, J.; Illner, M.; Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.: Standardisierte Prozedur für die Entwicklung von klimaneutralen Versorgungskonzepten veranschaulicht an zwei Demoquartieren. Conference Paper auf der World Sustainable Energy Days (WSED) 2023. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/technologische-fragen-22/klimaneutrale-quartiere-desktop. Letzter Abruf: 31.10.24.

[Schrade 2024] Schrade, J.; Illner, M.; Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.: Solutions for Climate-Neutral District Concepts. In „Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts". De Gruyter, Berlin, Boston 2024. ISBN 9783110777543 (gebunden) bzw. 9783110777567 (eBook). Verfügbar unter https://doi.org/10.1515/9783110777567. Letzter Abruf: 16.07.2024.

[Schröter 2021] Schröter, F.: Aspekte ökologischer Bauleitplanung im Internet: Homepage Dr. Schröter. Verfügbar unter http://www.dr-frank-schroeter.de. Stand: 24.02.2016. Letzter Abruf: 10.07.2024.

[Solago 2024] Solago GmbH: Balkon-Solaranlage - Mini-Solaranlage goBalcony. Verfügbar unter https://solago.de/collections/balkon. Letzter Abruf: 03.06.2024.

[Solites 2017] ScenoCalc Fernwärme V2.0 (Juni 2017) – Berechnungsprogramm zur Abschätzung des solaren Nutzwärmeertrags von in Wärmenetze eingebundenen Solarthermieanlagen. Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme. Stuttgart. 2007. Heruntergeladen unter https://www.scfw.de/.

[Soust-Verdaguer 2020] Soust-Verdaguer, B. et al.: Implications of using systematic decomposition structures to organize building LCA information: A comparative analysis of national standards and guidelines- IEA EBC ANNEX 72. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588 (2020) 022008. doi:10.1088/1755-1315/588/2/022008. Beitrag zur Konferenz „BEYOND 2020 – World Sustainable Built Environment conference“, 2020. Verfügbar unter https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/588/2/022008. Letzter Abruf: 26.07.2024.

[Sphera 2023] Sphera LCA For Experts (ehemals GaBi Software System) mit den zugehörigen Datenbanken Managed LCA Content MLC (ehemals GaBi Datenbanken), Sphera Solutions GmbH. CUP Version: 2023.2. University of Stuttgart, Leinfelden Echterdingen, MLC Datendokumentation unter https://sphera.com/productsustainabilitygabidatasearch/. Letzter Abruf: März 2024.

[Stegmaier 2024] Stegmeier, D.; Schrade, J, Erhorn-Kluttig, H.: Klimaneutral Easy – Planungstool für die klimaneutrale Energieversorgung von Wohnquartieren. Proceedings Bauphysiktage in Weimar 2024: Bauphysik in Forschung und Praxis. Verfügbar unter https://www.db-thueringen.de/receive/dbt_mods_00059911. Letzter Abruf: 16.07.2024.

[Stryi-Hipp 2022] Stryi-Hipp, G.; Uhland, T.: Photovoltaik-Parkplätze, Solarüberdachung von Parkplatz- & Stellplätzen (Faktenpapier). Verfügbar unter https://solarcluster-bw.de/fileadmin/Dokumente/Aktuelles/Nachrichten/2022/2022_01_Solar_Cluster_BW_PV-Netzwerk_Faktenpapier_Photovoltaik-Parkplaetze.pdf. Letzter Abruf: 28.05.2024.

[Stuible 2016] Stuible, A. et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014. Ausarbeitung im Auftrag des BMWK. Stuttgart, 2016. Verfügbar unter https://elib.dlr.de/107618/1/FICHT-%2317477735-v1-Revidierter_finaler_Bericht_mit_Appendices.pdf. Letzter Abruf: 23.07.2024.

[TRNSYS 2010] Transsolar Energietechnik: TRNSYS 17 – a transient system simulation program. Volume 5 Multizone building modeling with Type 56 and TRNBuild. Transsolar Energietechnik GmbH. Stuttgart. 2010.

[UBA 2022] Umweltbundesamt: UBA-Empfehlung zu den Klimakosten. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/bild/tab-uba-empfehlung-zu-den-klimakosten. Letzter Zugriff: Mai 2022.

[VDI 2012] Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung: VDI 2067 Blatt 1. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen: Grundlagen und Kostenberechnung. Düsseldorf. 2012.

[VdL 2012] Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Arbeitskreis Bautechnik: „Maßgeschneidert“ - Energetische Ertüchtigung von Baudenkmalen. VdL, 2012. Verfügbar unter https://www.vdl-denkmalpflege.de/fileadmin/dateien/Broschüren/2012_Massgeschneidert.pdf. Letzter Abruf: 24.06.2024.

[Weiß 2020] Weiß, J.; Pfeifer, L.: Energetische Sanierungen in Wohnungseigentümer-Gemeinschaften. Studienauswertung und Ergebnisse einer empirischen Online-Befragung unter Eigentümer*innen und Hausverwaltungen. Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). Berlin, 2020. Verfügbar unter https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2020/Energetische_Sanierung_Wohnungseigentuemer-Gemeinschaften.pdf. Letzter Abruf: 08.06.2024.

[Werner 2024] Werner, A.; Schakib-Ekbatan, K.: Dokumentation energiegerechter Mietpreismodelle. Deliverable 4.4.2 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Überlingen, 2022. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/index.php/soziale-themen-22/energiegerechtigkeit-desktop. Letzter Abruf: 29.10.2024

[Winkens 1994] Winkens, H. P.: Fernwärmespeicherung, -transport und -verteilung. IKARUS Teilprojekt 4 ‚Instrumente für Klimareduktionsstrategien 4-15‘; Forschungszentrum Jülich GmbH. Jülich, 1994.

[Winter 2001] Winter, W.; Haslauer, T.; Obernberger, I.: Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen - Teil 1. Euroheat and Power, 09&10/2001. ISSN 0949-166X. Verfügbar unter https://www.verenum.ch/Dokumente/2001_Winter-Gleichzeitig.pdf. Letzter Abruf: 10.07.2024.

[Wirth 2024] Wirth, H.: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg, 2024: Verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html Letzter Abruf: 05.07.2024.