

Rheinstraße 65
64295 Darmstadt
Germany

Tel +49 (0)6151 2904-0
Fax +49 (0)6151 2904-97

info@iwu.de
www.iwu.de

Schlussbericht

EG2050:E⁴Q – Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere

Teilvorhaben: Entwicklung einer geodatenbasierten Typisierung städtischer Quartiere

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderkennzeichen: 03EGB0014B

Projektlaufzeit: 12/2018 – 08/2022

Berichtszeitraum: 12/2018 – 01/2023

Autoren: André Müller
Stefan Swiderek
Thilo Koch

Darmstadt, 28.02.2023

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht

EG2050:E4Q - Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere

Teilvorhaben: Entwicklung einer geodatenbasierten Typisierung städtischer Quartiere

Autoren: André Müller
Stefan Swiderek
Dr.-Ing. Thilo Koch

Die Verantwortung für die Inhalte dieser Veröffentlichung liegen bei den Autoren.

Anmerkungen:

Der Schlussbericht ist als formaler Projektschlussbericht gemäß den Vorgaben des Fördermittelgebers und der durch den Projektträger Jülich zur Verfügung gestellten Vorlage verfasst. Darüber hinaus befindet sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Schlussberichts die weitere Ergebnisdokumentation in Form eines wissenschaftlichen Endberichts sowie anderer Publikationsarten in Bearbeitung.

Teile des Schlussberichts basieren auf der gemeinsamen Projektbeantragung und -bearbeitung mit dem Verbundpartner Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt, weshalb gleichlautende Textpassagen in beiden Schlussberichten vorhanden sein können.

Darmstadt, 28.02.2023

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)
Rheinstraße 65
64295 Darmstadt
Germany

Telefon +49 (0)6151 2904-0
Fax +49 (0)6151 2904-97
Internet www.iwu.de

Inhalt

1 Kurzdarstellung zum Hintergrund des Vorhabens	5
1.1 Aufgabenstellung.....	5
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	6
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand	9
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	11
2 Eingehende Darstellung der Vorhabenbearbeitung und -ergebnisse	15
2.1 Verwendung der Zuwendung und Zielerreichung.....	15
2.1.1 Typquartiere	15
2.1.2 Bewertungsmodell und Simulation	16
2.1.3 Demonstrationsvorhaben	16
2.1.4 Szenarioanalyse	17
2.1.5 Handlungsempfehlungen	18
2.2 Zahlenmäßiger Nachweis	19
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	19
2.4 Verwertungsplan	20
2.5 Anderweitig bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Forschungsvorhabens.	21
2.6 Veröffentlichungen.....	21
2.6.1 Vergangene Veröffentlichungen	21
2.6.2 Geplante Veröffentlichungen	22

Diese Seite wurde absichtlich leer gelassen.

1 Kurzdarstellung zum Hintergrund des Vorhabens

1.1 Aufgabenstellung

Die effiziente Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Versorgung von Gebäuden mit Wärme und Strom ist ein wichtiger Baustein des nationalen Energiekonzepts für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Hierbei liegt ein Forschungsfokus bereits seit längerem auf dem Untersuchungsraum des Quartiers als einem Verbund von Einzelgebäuden, um durch ein vernetztes Versorgungskonzept sowohl energetische als auch ökonomische und ökologische Synergieeffekte zu realisieren.

Im Kontext der Energieversorgung von Quartieren ist häufig unklar, welche Versorgungsstrategie je nach Quartierstyp hinsichtlich definierter Zielgrößen (z. B. erneuerbarer Deckungsanteil, Treibhauspotential, Kapitalwert) zu verfolgen ist. Bis zum Zeitpunkt der Projektbeantragung wurden in Deutschland vor allem Erneuerbare-Energien-Technologien zur Stromerzeugung durch Subventionen gefördert. Insbesondere im Gebäudebereich bedarf es neben dieser Stromwende aber auch einer Wärmewende, da die für Heizung/Kühlung und Trinkwassererwärmung benötigte Energie in Wohngebäuden etwa zwei Drittel des Gesamtenergiebedarfs ausmacht. Zurzeit wird diese Wärmewende durch die Anforderungen im Gebäudeenergiegesetz vorrangig auf Gebäudeebene verfolgt. Bei weiteren Verschärfungen des Anforderungsniveaus an das Einzelgebäude werden die zusätzlichen Einsparungen hinsichtlich der o. g. Indikatoren jedoch zunehmend geringer und die Wirtschaftlichkeit nimmt ab bzw. ist u. U. nicht mehr gegeben. Auch aus diesem Grund ermöglicht das Gebäudeenergiegesetz die Bilanzierung von CO₂-Emissionen bzw. –Einsparungen auf Quartiersebene.

Damit die Energiewende gelingt, müssen geeignete Erzeugungstechnologien (z. B. Solarthermie, Wärmepumpe in Kombination mit Photovoltaik, Kraft-Wärme-Kopplung), abgestimmt auf das Wärmeschutzniveau und den saisonalen Energiebedarf, identifiziert werden. Zur langfristigen Integration erneuerbarer Energien in die Strom- und Wärmeversorgung sind neben den energetischen und ökologischen Indikatoren auch geeignete ökonomische Indikatoren notwendig, um verschiedene Geschäftsmodelle zu bewerten. Diese Bewertung erlaubt es z. B. zielgerichtete politische Förderinstrumente zu entwickeln und die Adaption der als optimal bewerteten Technologien und Investitions- bzw. Betreibermodelle zu beschleunigen. Gleichzeitig reduziert die ökonomische Bewertung verschiedener Energieversorgungskonzepte Investitionsrisiken der wirtschaftlichen Akteure und trägt zum Abbau von Hemmnissen bei.

Ziel des Forschungsprojekts war die Weiterentwicklung eines Verfahrens zur möglichst realitätsnahen Analyse vernetzter, nicht vernetzter und sektorgekoppelter Versorgungskonzepte für städtische Bestands- und Neubauquartiere hinsichtlich energetischer, ökonomischer und ökologischer Indikatoren. Im Teilvorhaben „Entwicklung einer geodatenbasierten Typisierung städtischer Quartiere“ sollten hierfür die existierende Grundlagen zu Siedlungstypologien und (energetischen) Stadtraumtypen aufbereitet und durch eine Ergänzung mit statistischen Informationen sowie GIS-Daten für eine datenbasierte Festlegung von Typquartieren erweitert werden. Das Bewertungsverfahren sollte sowohl auf die definierten Typquartiere als auch auf verschiedene Demonstrationsquartiere angewendet werden, um seine Anwendbarkeit zu verdeutlichen, die Ergebnisse unter Einbezug verschiedener Akteure zu validieren und eine allgemeine Übertragbarkeit zu erreichen. Durchgeführt werden sollte unter Einsatz der definierten Typquartiere zudem eine Szenarioanalyse, welche unter Berücksichtigung geeigneter Versorgungsvarianten einen Lösungskorridor zukünftiger Energie- und Treibhausgaseinsparungen bei Wahrung der Wirtschaftlichkeit aufzeigt. Das Ergebnis soll zum einen die Bewertung von Versorgungsstrategien und Geschäftsmodellen sowie konkrete Handlungsempfehlungen für Bewohner, Unternehmen und Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft auf kommunaler und höherer Ebene zum Einsatz geeigneter Versorgungstechnologien unter Einbezug erneuerbarer Energieträger im Rahmen einer innovativen Versorgungsstrategie auf Quartiersebene sein. Des Weiteren sollte der Öffentlichkeit

als Ergebnis des Projekts ein digitaler Katalog von Versorgungskonzepten verschiedener Quartierstypen mit zugrundeliegenden Lastgängen sowie der Bewertung jeweils durch energetische, ökologische und ökonomische Indikatoren zur Verfügung gestellt werden. Dieser Datenkatalog soll einerseits eine unkomplizierte Potenzialabschätzung als Einstieg in die Quartiersplanung erlauben, andererseits können die Datensätze aber auch für die weiterführenden Planungsphasen angepasst und erweitert werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Forschungsprojekt wurde als Verbundprojekt mit dem Verbundpartner Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt gemeinsam beantragt und durchgeführt. Zudem wurde das Vorhaben durch verschiedene assoziierte Partner aus unterschiedlichen praktischen Arbeits- und Forschungsfeldern unterstützt. Neben der Datenbereitstellung für Demonstrationsquartiere lieferte insbesondere der fachliche Austausch einen wichtigen Beitrag zur Erarbeitung praxisgerechter Ergebnisse. Eine Übersicht der Projektpartner wird in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Übersicht der E⁴Q-Projektpartner

Projektpartner		Projektpartner	
Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt	VK	E.ON Energy Solutions GmbH	AS
Institut Wohnen und Umwelt	VP	Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik	AN
ABGnova GmbH	AS	House of Energy e.V.	AN
Amt für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Stadt Offenbach	AS	Institut für Politikwissenschaften, Technische Universität Darmstadt	AS
Bauverein AG	AS	Intelligent Energy System Services GmbH	AS
Entega AG	AS	LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH	AS

Legende: VK = Verbundkoordinator; VP = Verbundpartner; AS = assoziierter Partner; AN = Auftragnehmer

Das Forschungsprojekt wurde als Erweiterung eines im Rahmen einer Dissertation am Institut für Massivbau entwickelten Bewertungsverfahrens energetischer, ökologischer und ökonomischer Indikatoren für Neubauquartiere geplant (siehe Weißmann (2017) im Literaturverzeichnis Abschnitt 1.4) und sollte die Erarbeitung weiterer Dissertationen an den als Verbundpartner beteiligten Instituten ermöglichen.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsvorhaben ist in 6 Arbeitspakete (AP) unterteilt. Die Arbeitspakete sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Arbeitsinhalte wurden dabei zwischen den Verbundpartnern aufgeteilt und entsprechend bearbeitet (siehe auch Kapitel 1.5). Zur Abstimmung von Schnittstellen erfolgten gemeinsame Besprechungen und Festlegungen der Inhalte. Für spezifische Arbeitsinhalte der jeweiligen AP wurden die assoziierten Projektpartner hinzugezogen bzw. Daten durch sie bereitgestellt.

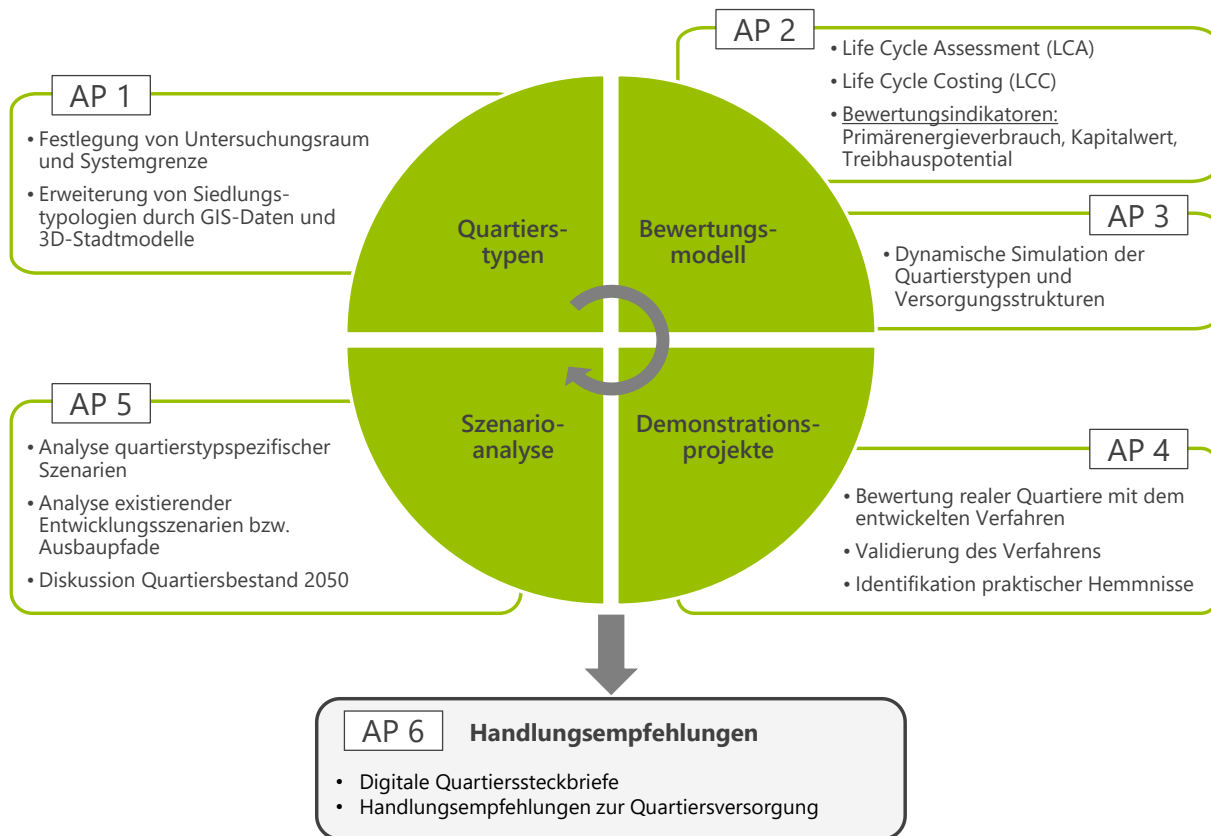


Abbildung 1: Darstellung der Arbeitspakete

Der Bearbeitung des Vorhabens war laut Zuwendungsbescheid vom 23.11.2018 für den Bewilligungszeitraum vom 01.12.2018 – 30.11.2020 festgelegt. Aufgrund von verschiedenen Verzögerungen in der Projektbearbeitung wegen personeller Wechsel und Kapazitätsengpässe sowie inhaltlicher Aspekte, die einen längeren, als den geplanten Bearbeitungszeitraum erforderten, wurde das Vorhaben zweimal kostenneutral verlängert (Bescheide vom 02.07.2020 und 12.07.2021). Das Projekt wurde somit im Zeitraum vom 01.12.2018 – 31.08.2022 bearbeitet. In diesem Zeitraum war es möglich die wesentlichen Projektziele zu erreichen. Durch Kontaktbeschränkungen im Zuge der Corona-Pandemie ist der in AP6 geplante Wissenstransfer jedoch deutlich geringer ausgefallen als ursprünglich geplant.

Den ursprünglichen Zeitplan vor der ersten Laufzeitverlängerung zeigt Abbildung 2. Abbildung 3 zeigt den tatsächlichen, sich durch die Laufzeitverlängerungen ergebenden Projektrahmenplan.

EG2050:E4Q - Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere

Projektrahmenplan
Stand: 21.06.2019

B: Bericht
M: Meilenstein

Unterstützung durch Expertenwissen
Expertentreffen
Datenbereitstellung

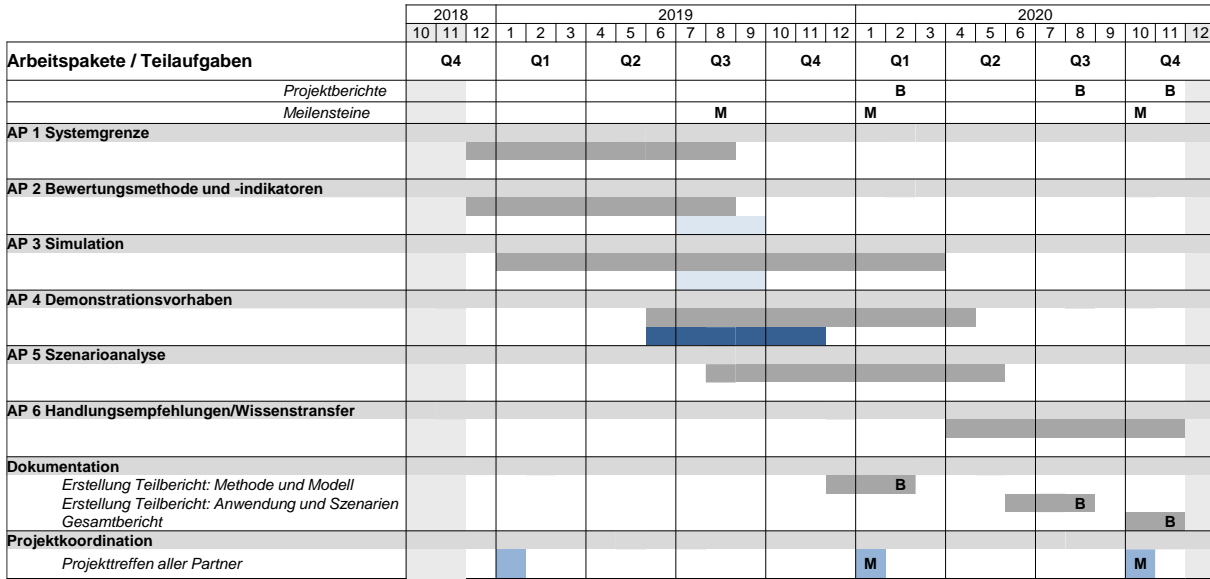
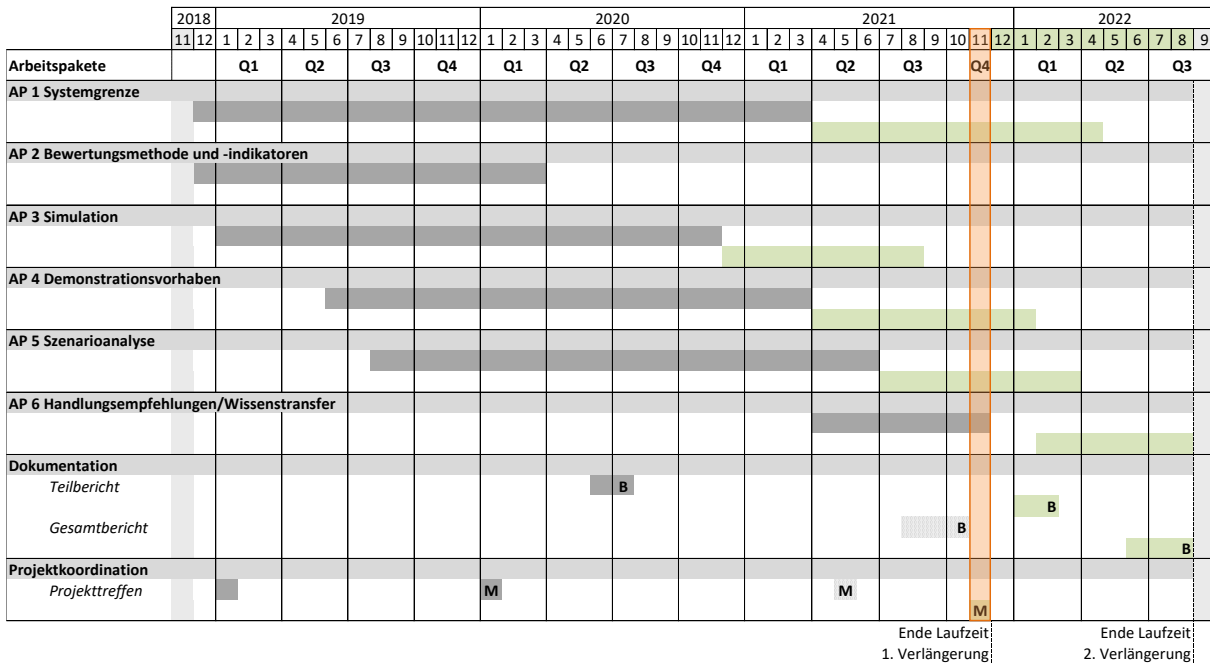


Abbildung 2: Ursprünglicher Projektrahmenplan

Projektrahmenplan

Zeitplan inkl. 1. Verlängerung (grau) 2. Verlängerung (hellgrün)



Ende Laufzeit: 1. Verlängerung; 2. Verlängerung

Abbildung 3: Angepasster Projektrahmenplan unter Berücksichtigung der Laufzeitverlängerungen

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Nachfolgend wird ein Überblick zum wissenschaftlichen und technischen Stand gegeben, welcher zur Zeit der Vorhabenbeantragung in Bezug auf die formulierten Forschungsfragen erarbeitet wurde. Dieser Überblick soll eine bessere Einordnung der Ziele und Projektinhalte – auch im Hinblick auf die eingehende Darstellung der Vorhabensbearbeitung in Kapitel 2 – ermöglichen.

Zur differenzierten Beschreibung von Quartiersstrukturen wurden bereits sogenannte Siedlungstypologien bzw. Stadtraumtypen entwickelt (Roth et al. (1980), Erhorn et al. (2010)). Ebenso existieren Ansätze, diese Stadtraumtypen mit Informationen hinsichtlich der Potentiale zur Nutzung erneuerbarer Energieträger zu verknüpfen (Hegger & Dettmar (2014)). Die bestehenden energetischen Stadtraumtypen (EST) weisen allerdings noch Defizite hinsichtlich ihres Detaillierungsgrades auf und können nicht direkt für die Ableitung optimaler Versorgungsvarianten genutzt werden. Eine Möglichkeit zur datenbasierten Verknüpfung von Siedlungs- bzw. Stadtraumtypen und dem realen Gebäude- bzw. Quartiersbestand besteht bisher nicht.

Marktreife Technologien zur Nutzung erneuerbarer Wärme in Gebäuden und Quartieren sind Solarthermie, Biomassekessel und -BHKW sowie Wärmepumpen, wobei bei letzteren sowohl Luft/Wasser- als auch Sole/Wasser-Systeme etabliert sind. Auch thermische Speicher wie Puffer- oder Kombispeicher sind seit langem ein fester Bestandteil von Wärmeversorgungskonzepten. Im Gegensatz dazu ist der Einsatz von Batteriespeichern in der Stromversorgung noch relativ innovativ und bedingt vergleichsweise hohe Investitionskosten. Erneuerbarer Strom wird auf Quartiersebene in erster Linie durch Photovoltaiksysteme oder KWK-Anlagen gewonnen, kommunale Windstromkonzepte sind eher selten.

Hinsichtlich vernetzter Versorgungskonzepte werden Fern- bzw. Nahwärmenetze bereits seit Langem für die Wärmeversorgung von Quartieren genutzt. In verschiedenen Forschungsprojekten wurden diese bereits mit Solarthermiekollektoren bzw. saisonalen thermischen Speichern verknüpft (Mangold et al. (2012)). Die Steigerung der Effizienz sowie die verlustarme Einbindung von saisonalen Wärmespeichern stehen dennoch auch weiterhin im Fokus diverser Forschungsaktivitäten. Hinsichtlich der Stromvernetzung wird in sogenannten Smart Grids zukünftig hohes Potential gesehen den erneuerbaren Strom optimal im Quartier zu verteilen sowie den Eigenverbrauch und damit die Energieeffizienz zu steigern. Durch die Technologien Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplung bietet sich des Weiteren die Möglichkeit, Strom- und Wärmeversorgung in einer sogenannten sektorgekoppelten Versorgungsstrategie zu verknüpfen.

Zur Beschreibung der Energieflüsse innerhalb des Quartiers existieren verschiedene Methoden. Das normative Verfahren DIN V 18599 ist aufgrund des monatlichen Bezugs für eine realitätsnahe Ermittlung der Indikatoren erneuerbarer Deckungsanteil und Eigenverbrauch zu ungenau. Alternative Methoden, den Energiebedarf und die Energieerzeugung in hoch aufgelösten Zeitschritten zu beschreiben, sind die Nutzung von Lastprofilen sowie Simulationsmodelle. Diesbezüglich existierte bislang kein geeignetes Verfahren mit dem eine Vielzahl an Gebäudetypen und regenerativen Technologien hinreichend realitätsnah aber dennoch einfach genug für einen umfangreichen Variantenvergleich abgebildet werden konnte. Am Institut für Massivbau wurde jedoch bereits ein Simulationsmodell entwickelt, welches eine wirklichkeitsnahe Berechnung unterschiedlichster Gebäudetypen und Lastprofile in einem vernetzten Quartier ermöglicht (Weißmann (2017)). Eine weitere Schwierigkeit bei der Bewertung der Energieflüsse im Quartier ist das Fehlen von nach Nutzertypen differenzierten Lastprofilen. Das Institut Wohnen und Umwelt hat sich diesbezüglich in den letzten Jahren intensiv mit Energiesystemmodellen, Szenarioanalysen und Nutzungsprofilen beschäftigt (Diefenbach et al. (2017); Diefenbach et al. (2015)).

Zur ökologischen Bewertung wurden in vergangenen Forschungsvorhaben bereits häufig die Treibhausgasemissionen (z.B. als CO₂-Äquivalente), die über die Betriebsphase entstehen, ermittelt (vgl. Schuberth & Tschetschorke (2013); Loga et al. (2015)). Vernachlässigt wurde dabei zumeist der ökologische Aufwand zur Herstellung der Versorgungstechnik bzw. Infrastruktur. Einen alternativen Ansatz über den Lebenszyklus

einer Variante bietet die Methode der Ökobilanzierung (DIN EN ISO 14040 (2009)). Bei der ökonomischen Bewertung werden häufig die Methoden der dynamischen Investitionsrechnung (Kapitalwert, Annuitätenmethode) angewendet (VDI 2067-1 (2012)).

Hinsichtlich der Abschätzung von Wärme- und Strombedarfen auf Stadt- und Quartiersebene haben sich in den vergangenen Jahren verschiedene Modellierungsmethoden etabliert. Ausgehend von aggregierten Energieverbrauchskennzahlen auf nationaler, regionaler oder lokaler Ebene ordnen sogenannte top-down Ansätze anhand von statistischen Kenndaten und Verteilungsalgorithmen einzelnen Gebäuden und/oder Quartieren Energiebedarfswerte bzw. –verbrauchswerte zu. Bottom-up Modelle folgen dem Grundsatz der gebäudeindividuellen Energiebedarfsberechnung und einer Aggregation auf Quartiers-, Stadt- oder einer noch geringer aufgelösten räumlichen Ebene. Bei reinen bottom-up Modellen erfolgt i. d. R. eine Kalibrierung des Modells um reale Energieverbräuche (z. B. auf nationaler Ebene) abbilden zu können. Auch Mischformen von top-down und bottom-up Modellen finden je nach zu beantwortender Fragestellung ihre Anwendung. (Allegrini et al. (2015), Reinhart, Davila (2016), Coakley et al. (2014), von Malottki et al. (2012, 2016)) Die Einbeziehung verfügbarer Geoinformationsdaten kann zudem für bestimmte Fragestellungen einen deutlichen Mehrwert bei der Energiebedarfsmodellierung von Städten und Quartieren bieten (Ramsbacher et al. (2014), Runder Tisch GIS (2015), Richter et al. (2014)). Für die Visualisierung und Kommunikation der Modellergebnisse sind Geoinformationssysteme (GIS) in diesem Themenfeld ebenfalls etabliert.

Neben der Modellierung von Energiebedarfen auf Gebäude-, Quartiers- und Stadtebene leisten Energiesystemmodelle und dort integrierte Entwicklungsszenarien heute einen großen Beitrag bei der Erfassung und Bewertung der Transformationspfade im Rahmen der Energiewende. Diverse Modelle bieten hierbei die Möglichkeiten das gesamte deutsche Energiesystem und dessen Entwicklung in unterschiedlichen Entwicklungspfaden zu analysieren (Henning, Palzer (2013)). Andere Modelle beschränken sich z. B. auf den Gebäudesektor und dessen Energieverbrauch um detailliertere Analysen und Bewertungen der Potenziale zur Minderung des Treibhausgasausstoßes und/oder des Primärenergieverbrauchs durchzuführen (Pehnt et al. (2015), Diefenbach et al. (2015, 2016, 2017)). Hierbei werden die Möglichkeiten, die sich aus einer Vernetzung und Sektorkopplung im Quartier ergeben, jedoch nicht oder nur stark vereinfacht berücksichtigt.

Die Literatur (siehe Tabelle 2) wurde im Rahmen des Forschungsprojekts hauptsächlich über die Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt sowie die institutseigene Bibliothek des Institut Wohnen und Umwelt bezogen.

Tabelle 2: Literaturquellen zur Beschreibung der wissenschaftlichen und technischen Grundlagen des Forschungsvorhabens E⁴Q

Allegrini, Jonas; Orehouing, Kristina; Mavromatidis, Georgios; Ruesch, Florian; Dorer, Viktor; Ralph, Elvis (2015): A review of modelling approaches and tools for the simulation of district-scale energy systems. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 52, 2015.
Coakley, Daniel; Raftery, Paul; Keane, Marcus (2014): A review of methods to match building energy simulation models to measured data. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 37, 2014.
Diefenbach, Nikolas; Loga, Tobias; Stein, Britta (2015): Szenarienanalysen und Monitoringkonzepte im Hinblick auf die langfristigen Klimaschutzziele im deutschen Wohngebäudebestand. Bericht im Rahmen des europäischen Projekts EPISCOPE. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2015.
Diefenbach, N.; Loga, T.; Stein, B. (2016): Reaching the climate protection targets for the heat supply of the German residential building stock: how and how fast? In: Energy and Buildings, Vol. 132, 2016.
Diefenbach, Nikolaus; Großklos, Marc; Grafe, Michael; Müller, André; Born, Rolf; Ruppert, Hann; Graf, Klaus-Martin; Krzikalla, Norbert (2017): Modellentwicklung zur Analyse des zeitlichen Ausgleichs von Energieangebot und -nachfrage im Wohngebäudesektor. Zwischenbericht im Projekt "Energieeffizienz und zukünftige Energieversorgung im Wohngebäudesektor: Analyse des zeitlichen Ausgleichs von Energieangebot, 2010.

Erhorn, Hans; Erhorn-Kluttig, Heike; Sager Christina; Schmidt, Dietrich; Schrade, Johannes; Beier Carsten; Schrempf Ludger; Jank Reinhard; Dütz, Armand; Rumpel, Friedrun (2010): Energetische Quartiersplanung in Deutschland. Wissenschaftliche Begleitung der Förderaktivität "Energieeffiziente Stadt". Schlussbericht Phase 1. Fraunhofer IPB, Fraunhofer UMSICHT, pro:21, Volkswohnungen (Hrsg.), Stuttgart, 2010.
Hegger, Manfred; Dettmar, Jörg (2014): Energetische Stadtraumtypen, Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2014.
Henning, Hans-Martin; Palzer, Andreas (2013): Energiesystem Deutschland 2050. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg, 2013.
Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie: beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2015.
Mangold, Dirk; Miedaner, Oliver; Primoudi Tziggili, Ekaterini; Schmidt, Thomas; Unterberger, Markus; Zeh, Beatrice (2012): Technisch-wirtschaftliche Analyse und Weiterentwicklung der solaren Langzeit-Wärmespeicherung. Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben 0329607N, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (Hrsg.), Stuttgart, 2012.
Pehnt, Martin; Mellwig, Peter; Duscha, Markus; von Oehsen, Amany; Boemans, Thomas; Bettgenhäuser, Kjell; Offermann, Markus; Hermelink, Andreas; Diefenbach, Nikolaus; Ensling, Andreas; Artz, Markus (2015): Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentariums für den Klimaschutz im Gebäudebereich. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, Darmstadt, Köln, Bielefeld, 2015.
Ramsbacher, Katharina; Paulus, Gernot; Regenfelder, Melanie; Arnold, André (2014): GIS-gestützte Potenzialanalyse des Wärmebedarfs als Grundlage für die Planung von Nahwärmenetzen. AGIT 2014 - Symposium und Fachmesse Angewandte Geoinformatik vom 02.07.2014 – 04.07.2014 in Salzburg.
Reinhart, Christoph F.; Davila, Carlos Cerezo (2016): Urban building energy modeling - A review of a nascent field. In: Building and Environment, Vol. 97, 2016.
Richter, Stephan; Hespeler, Sabrina; Gündra, Hartmut; Kiehn, Werner (2014): Digitaler Wärmeatlas für 17,4 Millionen Wohngebäude in Deutschland. Bedarfs- und Potenzialanalysen im Wärmemarkt. EuroHeat&Power 43. Jg., Heft 1–2, S. 18–22, 2014.
Roth, Ueli; Häubi, Fritz; Albrecht, Joachim (1980): Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. Schriftenreihe "Raumordnung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.) 06.044, Bonn, 1980.
Runder Tisch GIS e.V. (2015): 3D-GIS und Energie. Verfügbar unter: https://rundertischgis.de/images/9_documents/downloads/Leitfaden_3D-GIS_und_Energie_V_1.0.pdf .
Schuberth, Jens; Tschetschorke, Katja (2013): Strom- und Wärmeversorgung einer Siedlung bei unterschiedlichen Energieeffizienz-Standards. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change 10/2013, Dessau-Roßlau, 2013.
von Malottki, C.; Koch, T.; Brandis, C.; Stete, G.; Blees, V. (2012): EQ. Anforderungen an energieeffiziente und klimaneutrale Quartiere. Ein ExWoSt-Forschungsfeld. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.). Darmstadt, Berlin, Bonn.
von Malottki, C.; Koch, T.; Blees, V. (2016): EQ II. Erweiterte Bilanzierung von Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen auf Quartiersebene. ExWoSt-Studie. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn (Hrsg.). Darmstadt, Bonn.
Weißmann, Claudia (2017): Effizienter Einsatz erneuerbarer Energieträger in vernetzten Wohnquartieren. Entwicklung eines simulationsbasierten Verfahrens zur energetischen, ökologischen und ökonomischen Bewertung. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau, Darmstadt, 2017.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Forschungsprojekt wurde als Verbundprojekt mit dem Verbundkoordinator Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt. Zwischen den beiden Verbundpartnern wurde am 05.03.2019 eine Kooperationsvereinbarung über die Durchführung des Forschungsvorhabens geschlossen. Die Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete erfolgte in enger Abstimmung zwischen den Verbundpartnern. Das Institut für Massivbau war dabei federführend für die Arbeitspakete AP2 Bewertung und AP3 Simulation

zuständig. Das Institut Wohnen und Umwelt war federführend für die Arbeitspakete AP1 Quartierstypisierung, AP4 Demonstrationsvorhaben, AP5 Szenarioanalyse und AP6 Handlungsempfehlungen zuständig.

Des Weiteren waren im Projekt acht assoziierte Partner und zwei Unterauftragnehmer beteiligt (siehe auch Tabelle 1). Diese Partner bildeten einen Expertenkreis mit Mitgliedern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Kommunalverwaltung und standen den Verbundpartnern beratend im Rahmen von zwei Projektbegleitkreistreffen zur Seite.

Die folgenden Unternehmen und Organisationen waren als assoziierte Partner im Projekt beteiligt:

- **ABGnova GmbH**, Frankfurt. Energiedienstleister und Anbieter von Innovationen in der Energie- und Wohnungswirtschaft.
- **Amt für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Stadt Offenbach**. Energiesparinitiative und Referat für Stadtentwicklung und Städtebau.
- **Bauverein AG**, Darmstadt. Kommunale Wohnungsbaugesellschaft. Hat im Projektablauf aufgrund interner Konzernumstrukturierungen die HEAG Wohnbau GmbH als Projektpartner ersetzt.
- **Entega AG**, Darmstadt. Kommunaler Energieversorger.
- **E.ON Energy Solutions GmbH**, Essen. Energiedienstleister. Hat im Projektablauf aufgrund interner Konzernumstrukturierungen die E.ON AG als Projektpartner ersetzt.
- **Institut für Politikwissenschaft**, Fachgebiet „Modelle der Wohnungs- und Energiepolitik“, Darmstadt. Forschungseinrichtung.
- **Intelligent Energy System Services GmbH**, Ludwigsburg. Energie-, Mobilitäts- und Infrastrukturberatung. Hat im Projektablauf aufgrund interner Konzernumstrukturierungen die MHP Management- und IT-Beratung als Projektpartner ersetzt.
- **LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH**, Darmstadt. Beratungsunternehmen, Fokus Nachhaltigkeitsoptimierung von Produkten und Prozessen im Bauwesen.

Mit den assoziierten Partnern wurde Anfang 2019 ein Assoziierter-Partner-Vertrag geschlossen. Alle Partner haben als Teil des Begleitkreises im Rahmen zweier Projekttreffen ihren Input zu den präsentierten Zwischenergebnissen geben und somit die jeweilige Expertise in die Erarbeitung der Ergebnisse einfließen lassen können.

Die Entega AG und die Bauverein AG haben zudem Daten von Darmstädter Realquartieren zur Verwendung als Demonstrationsvorhaben zur Verfügung gestellt. Zu diesem Zweck fanden mehrere Treffen der Verbundpartner mit Vertretern der beiden Unternehmen statt.

Das House of Energy e.V. aus Kassel war zudem als Unterauftragnehmer des Instituts für Massivbau für die Organisation und Moderation der Begleitkreistreffen sowie für die Öffentlichkeitsarbeit und Diffusion der Projektergebnisse zuständig. Mit dem House of Energy wurde hierzu ein F&E Vertrag geschlossen.

Das Fraunhofer IEE aus Kassel war als Unterauftragnehmer des Instituts für Massivbau für die wissenschaftliche Unterstützung im Rahmen der beiden Projekttreffen tätig. Mit dem Fraunhofer IEE wurde ebenfalls ein F&E Vertrag geschlossen.

Die Projektauftragsbesprechung mit allen Projektbeteiligten fand am 23.01.2019 als Videokonferenz statt. Diese Besprechung diente der nochmaligen Vorstellung der Projektziele und des Zeitplans sowie der Klärung organisatorischer Aspekte. Das erste Treffen mit dem Begleitkreis fand am 20. Januar 2020 in Darmstadt in den Räumlichkeiten der Technischen Universität statt. An diesem Treffen wurden dem Begleitkreis Ergebnisse der Arbeitspakete AP1 und AP2 vorgestellt und mit diesem diskutiert. Das zweite Projekttreffen mit dem Begleitkreis fand am 03. November 2021 aufgrund der pandemiebedingten Kontaktbeschränkungen

online als Videokonferenz statt. An diesem Treffen wurden weitere Ergebnisse des AP1 sowie des AP2 und AP3 vorgestellt und mit diesem erörtert. Am 18.10.2022 wurden die Projektergebnisse dem Begleitkreis ebenfalls im Rahmen der Projektabschlussbesprechung (Videokonferenz) präsentiert.

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens erfolgte zudem im Austausch mit der Begleitforschung Energie-wendebauen. Die Projektverantwortlichen nahmen an verschiedenen Vernetzungs- und Projektleitungstreffen teil und lieferten entsprechende Beiträge im Rahmen von Posterpräsentationen und Workshops.

2 Eingehende Darstellung der Vorhabenbearbeitung und -ergebnisse

2.1 Verwendung der Zuwendung und Zielerreichung

Der Großteil der Fördermittel für das Vorhaben EG2050:E⁴Q (bezogen auf das Teilprojekt des Institut Wohnen und Umwelt) wurde, wie bei Beantragung des Projekts geplant, für Personalkosten verwendet. An der Bearbeitung der Arbeitsinhalte waren mehrere Wissenschaftler und ein wissenschaftlicher Sachbearbeiter in unterschiedlichem Umfang beteiligt. Zudem wurden zur Unterstützung der genannten Projektmitarbeiter wissenschaftliche Hilfskräfte eingesetzt. Wegen der in Kapitel 1.3 genannten Verzögerungen gegenüber dem ursprünglichen Projektrahmenplan und der kostenneutralen Laufzeitverlängerungen, wurden die Fördermittel ebenfalls später als ursprünglich geplant abgerufen. Die wesentlichen Ergebnisse und Ziele, die im Rahmen der Vorhabenbearbeitung durch die Mitarbeitenden des Institut Wohnen und Umwelt erreicht wurden, werden nachfolgend dargelegt und in Bezug zu den formulierten Projektzielen gesetzt.

2.1.1 Typquartiere

Es wurde eine systematische Gegenüberstellung der existierenden Siedlungsstruktur- bzw. Stadtraumtypologien vorgenommen und die darin verwendeten Parameter zur Beschreibung der Bebauungsstruktur, der Gebäudeenergieeffizienz, der technischen Anlagen und der energetischen Potenziale (soweit jeweils vorhanden) zusammengetragen. Basierend auf der Literaturlauswertung und einer ergänzenden Auswertung von geografischen Kartendiensten wurden für das Vorhaben EG2050:E⁴Q insgesamt neun Typquartiere definiert, welche z. T. in verschiedenen Varianten berücksichtigt werden sollten (Tabelle 3). Die Typquartiere dienen als Grundlage für die Arbeiten des Verbundpartners Institut für Massivbau zum Aufbau und der Durchführung der dynamischen Gebäude- und Quartierssimulationen sowie für die durchgeführte Szenarioanalyse zum Vergleich verschiedener Wärmeschutz- und Energieversorgungskonzepte.

Tabelle 3: Für das Vorhaben EG2050:E4Q definierte Typquartiere und -varianten

Typquartier		Freiflächenpotenziale für erneuerbare Energien			Gebäudeanzahl		
		ST	GT-S	GT-O	klein	mittel	groß
TQ1	Einfamilienhaussiedlung	●	●	●	10	96	–
TQ2	Doppelhäuser	●	●	●	12	96	–
TQ3	Reihenhäuser	●	○	○	5	25	125
TQ4	Mehrfamilienhäuser, freistehend a) Schrägdach b) Flachdach	●	○	○	4	16	–
TQ5	Mehrfamilienhäuser, Zeilenbebauung a) Schrägdach b) Flachdach	●	○	○	3 Zeilen	8 Zeilen	–
TQ6	Blockrandbebauung, geringe bis mittlere Dichte	●	○	–	1 Block	6 Blöcke	24 Blöcke
TQ7	Blockrandbebauung, hohe Dichte	●	○	–	1 Block	6 Blöcke	24 Blöcke
TQ8	Zeilenbebauung, hohe Geschossigkeit	–	○	○	3 Zeilen	8 Zeilen	–
TQ9	Innerstädtisches Mischquartier	●	○	–	–	50	–

Legende: ST = Solarthermie; GT-S = Geothermiesonde; GT-O= oberflächennahe Geothermie, ● = trifft zu, ○ = trifft bedingt zu, – = trifft nicht zu

Auf die im Vorhaben vorgesehene Erweiterung der bestehenden Typologien musste wegen des gegenüber der Planung deutlich erhöhten Arbeitsaufwandes dieser Arbeitsinhalte verzichtet werden. Alle unter Verwendung der E⁴Q-Quartierstypen durchgeführten Arbeitsinhalte wurden jedoch so aufgebaut, dass eine nachträgliche Anpassung unter Einbezug einer geodatenbasierten Typisierung grundsätzlich möglich ist.

Die geodatenbasierte Quartierstypisierung als Ergebnis verschiedener Analyse-, Gruppenbildungs- sowie Klassifizierungsalgorithmen konnte erst gegen Projektende fertiggestellt werden. Es wurde dabei eine Methodik entwickelt, die es flächendeckend erlaubt die Bebauungsstruktur auf einer kleinräumigen Skala, den sog. „Teilbauflächen“¹, zu analysieren und zu beschreiben, eine Gruppierung dieser Teilbauflächen auf Basis der Bebauungsstruktur vorzunehmen und diese mittels eines definierten Vereinigungsalgorithmus zu Quartieren zusammenzuführen. Der somit erzeugte Quartiersbestand (z. B. eines Stadtteils, einer Stadt oder einer höheren räumlichen Ebene) konnte statistisch ausgewertet und Kennzahlen zur Beschreibung von Typquartieren, als Vertreter der Quartiere einer Gruppe ähnlicher Bebauungsstruktur, ermittelt werden. Die grundlegende Methodik sowie weiterführende Analysen sind Teil einer an der Technischen Universität Darmstadt eingereichten Dissertation und werden als solche sowie als Teil des wissenschaftlichen Endberichts des Vorhabens EG2050:E⁴Q veröffentlicht.

2.1.2 Bewertungsmodell und Simulation

Die Methodik zur Bewertung von energetischen Quartierskonzepten wurde maßgeblich durch den Verbundpartner Institut für Massivbau bearbeitet. Im Rahmen der Festlegung methodischer Rahmenbedingungen und -setzungen erfolgte eine enge Absprache zwischen den Verbundpartnern. Vorbereitend für die Simulation einer Vielzahl an Gebäude- und Quartiersvarianten entwickelte das Institut für Massivbau eine Variantenmatrix, welche die (technisch) möglichen Gebäude- und Quartierskonzepte darstellte. Die final zu simulierenden und zu bewertenden Varianten wurden in enger Abstimmung mit dem Verbundpartner durch das Institut Wohnen und Umwelt festgelegt. Auf Grund der Vielzahl an möglichen Kombinationen der verschiedenen Simulationseingangsdaten wurde hierbei festgelegt, welche Varianten für die Simulation und somit für die weiterführenden Untersuchungen und die praktische Anwendung am zielführendsten sind. Der Verbundpartner Institut für Massivbau setzte die Überführung der Festlegungen in Simulationsmodelle und eine Aufbereitung der Simulationsergebnisse in eine Lastprofilbibliothek durch automatisierte Verarbeitungsroutinen um. Die erzeugte Lastprofilbibliothek für die definierten E⁴Q-Typquartiere und deren Varianten wurde vom Verbundpartner im weiteren Verlauf des Projekts für die Erstellung des Quartiersbewertungswerkzeuges verwendet.

2.1.3 Demonstrationsvorhaben

Das Institut Wohnen und Umwelt erhielt von den assoziierten Partnern Bauverein AG, Entega AG und Amt für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Stadt Offenbach, Daten zur Bebauungsstruktur, den Wärmebedarfen bzw. -verbräuchen und andere Informationen zu realen, bebauten Gebieten. Ziel war eine Plausibilisierung der Bewertungsmethodik und eine Überprüfung der Anwendbarkeit der simulationsbasierten Bewertungsergebnisse der definierten Typquartiere zur Identifikation von geeigneten Wärmeschutz- und Versorgungskonzepten für Realquartiere. Insgesamt lagen zu vier Quartieren unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung bzw. Gebäudeanzahl verschieden detaillierte Informationen vor. Das Institut Wohnen und Umwelt bereitete diese Informationen systematisch auf und bewertete die Datenlage hinsichtlich der Nutzbarkeit für eine Plausibilisierung und Validierung der Modellansätze und des Bewertungswerkzeugs. Im Rahmen der

¹ „Teilbauflächen“ sind ähnlich der bekannteren Abgrenzungsebene der „Baublöcke“ definiert. Jedoch beinhalten Teilbauflächen auch die sie umgebenden öffentlichen Wege- bzw. Verkehrsflächen jeweils anteilig.

Vorhabenbearbeitung wurden Vergleiche zwischen verschiedenen energetischen (Bedarfs- bzw. Verbrauchs-) Kennwerten von drei realen Quartieren und deren jeweiliger Modellabbildung mittels dem simulationsbasierten E⁴Q-Typquartieransatz vorgenommen. Fehlende Daten sowie Abweichungen der Kennwerte von Realquartier und Modellquartier wurden diskutiert und bewertet. Weiterhin wurden für die untersuchten Bestandsquartiere Modernisierungskonzepte untersucht, die Ergebnisse der ganzheitlichen Bewertungsmethodik plausibilisiert und diese Fälle als Anwendungsbeispiele dokumentiert (siehe z. B. Müller 2022a). Die Erkenntnisse aus der Untersuchung der Demonstrationsvorhaben flossen zudem in die Formulierung der Handlungsempfehlungen ein.

Weiterhin wurde im Rahmen des Vorhabens EG2050:E⁴Q eine Anpassung und Aktualisierung des bereits am Institut Wohnen und Umwelt existierenden und in verschiedenen Quartiersvorhaben eingesetzten EQ-Tool² vorgenommen. Hintergrund waren sowohl methodische Anpassungen, als auch Anpassungen an den Datengrundlagen der Bilanzierungsparameter (z. B. Aktualisierung der Emissions- oder Primärenergiefaktoren). Ein geplanter Vergleich der beiden Bewertungswerkzeuge E⁴Q-Quartiersbewertungswerkzeug und EQ-Tool konnte im Rahmen des Vorhabens jedoch für die Demonstrationsquartiere nicht durchgeführt werden, da die Informationsdichte für die Realquartiere nicht ausreichend war, um das EQ-Tool einzusetzen. Dennoch konnten durch den fachlichen Austausch und den Vergleich der Bewertungswerkzeuge die Erfahrungen aus der Quartiersbilanzierung mit dem EQ-Tool in die Erstellung des E⁴Q-Bewertungswerkzeugs eingebracht werden.

2.1.4 Szenarioanalyse

Für eine breit angelegte Untersuchung und den Vergleich der Wärmeschutz- und Energieversorgungsvarianten der definierten E⁴Q-Typquartiere wurde vom Verbundpartner Institut für Massivbau eine um eine Automatisierungsroutine erweiterte Version des E⁴Q-Quartiersbewertungswerkzeuges zur Verfügung gestellt. Das Institut Wohnen und Umwelt führte damit umfangreiche Variantenanalysen für unterschiedliche energetische Ausgangszustände sowie einen großen Teil der als Varianten definierten und durch das Institut für Massivbau simulierten Modernisierungskonzepte (bestehend aus Gebäudewärmeschutzniveau sowie gebäude- und quartiersseitigen Versorgungskonzepten) durch.

Die im Rahmen dieser Szenarioanalyse, d. h. dem Vergleich verschiedener Modernisierungsszenarien für 23 Typquartiere, durchgeführten Untersuchungen erlaubten zum einen die Plausibilisierung der Bewertungsergebnisse. Die Erkenntnisse wurden mit dem Verbundpartner Institut für Massivbau besprochen und sinnvolle Anpassungen der Berechnungen bzw. Datengrundlagen durch diesen in fortgeschriebenen Versionen des Bewertungswerkzeuges umgesetzt. Zum anderen konnten die Ergebnisse der Szenarioanalyse soweit systematisiert werden, dass sich daraus verallgemeinerbare Konzeptempfehlungen ableiten ließen. Durch das Institut Wohnen und Umwelt wurde bis dahin keine Gewichtung der einzelnen Indikatoren vorgenommen

² Siehe hierzu:

von Malottki, C.; Koch, T.; Brandis, C.; Stete, G.; Bles, V. (2012): EQ. Anforderungen an energieeffiziente und klimaneutrale Quartiere. Ein ExWoSt-Forschungsfeld. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.). Darmstadt, Berlin, Bonn.

von Malottki, C.; Koch, T.; Bles, V. (2016): EQ II. Erweiterte Bilanzierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen auf Quartiersebene. ExWoSt-Studie. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn (Hrsg.). Darmstadt, Bonn.

Tuschinski, Melita: EnEV 2020. Energieeinsparverordnung auf dem Weg zu klimaneutralen Bauten. Institut für Energie-Effiziente Architektur mit Internet-Medien, Melita Tuschinski (Hrsg.). Stuttgart.

bzw. eine Indikatoren-Hierarchie definiert. Dennoch wurden einige Zusammenhänge als in der Praxis von besonderer Relevanz betrachtet und deshalb in den Fokus der Untersuchungen gerückt. So wurden z. B. die Zusammenhänge von Treibhausgasemissionen und Lebenszykluskosten der Modernisierungskonzepte sowie von Treibhausgasemissionsminderungen und der Differenz des Barwertes der Lebenszykluskosten als Hauptindikatorenpaare verwendet. Die Bewertungsergebnisse der Quartierskonzepte wurden weiterhin in Bezug zu den sektoralen Klimaschutzzielen sowie den verfügbaren Leit- bzw. Systemanalysestudien gesetzt, um auch eine übergeordnete Bewertung vornehmen zu können. Hierbei wurden Wärmeschutz- und Versorgungslösungen identifiziert, welche die Erfordernisse einer Dekarbonisierung des Gebäude- bzw. Quartiersbestandes unter Beachtung der gegebenen Beschränkungen von biogenen Energieträgern bestmöglich erfüllen und dabei eine möglichst hohe Kosteneffizienz sicherstellen.

Als Ergebnis ließen sich nun verallgemeinerbare und mit den Klimaschutzzielen der Bundesregierung bestmöglich kompatible energetische Modernisierungskonzepte für die E⁴Q-Typquartiere identifizieren. Gleichzeitig ließen sich so auch übergeordnete Herausforderungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit der empfohlenen Konzepte erkennen. Die sich daraus ergebenden Handlungsbedarfe, welche die Aktivitäten verschiedener in der Quartiersplanung involvierter Stakeholder bzw. deren Steuerung zukünftig berücksichtigen sollten, konnten somit als Handlungsempfehlungen formuliert werden.

2.1.5 Handlungsempfehlungen

Die detaillierten Analysen der Modernisierungskonzepte für 23 E⁴Q-Typquartiere lieferten verschiedene Erkenntnisse bezüglich der energetischen, ökologischen und ökonomischen Indikatoren. Die Diskussion dieser Ergebnisse im Hinblick auf die notwendige Dekarbonisierung des Gebäude- und Quartiersbestandes sowie die Berücksichtigung der verschiedenen Stakeholderperspektiven erlaubte die zugrundeliegenden Erkenntnisse in vier übergeordnete Handlungsempfehlungen zusammenzufassen:

- **Klimaschutz als Entscheidungskriterium berücksichtigen**
Eine Vielzahl von Quartierskonzepten reduziert Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Status quo drastisch und zwar bei hinreichender Wirtschaftlichkeit. Deshalb sollten die Lebenszyklusbeurteilung und die Wirkung der Maßnahmen auf den Klimaschutz als Entscheidungskriterium herangezogen werden.
- **Die Systemzusammenhänge anerkennen**
Modernisierungskonzepte für Quartiere führen zu langfristig besseren Ergebnissen für alle Beteiligten, wenn auf eine Optimierung nur einzelner Handlungsfelder verzichtet und ein integriertes Gesamtkonzept verfolgt wird.
- **Den Blick öffnen**
Handelnde müssen über die bisherigen Wirkungsbereiche und Grenzen der Sektoren und/oder Geschäftsfelder hinausdenken und planen.
- **Den Weg bereiten**
Heute noch anspruchsvoll wirkende Wärmeschutz- und Versorgungsstrategien bergen ein nur geringes Risiko für investierende Parteien, sind jedoch unverzichtbar auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand. Je früher diese Prozesse und Konzepte zum Standard werden, desto besser platzieren sich die wirtschaftlichen Akteure im Wettbewerb.

Diese Leitlinien einer klimagerechten Quartiersplanung wurden ebenfalls in der Ergebnisbroschüre, als niedrigschwellige Ergebniskommunikation für Fachleute und Nicht-Fachleute, formuliert und sind der Öffentlichkeit zum Download auf der Projekthomepage des Institut Wohnen und Umwelt zugänglich gemacht worden. Die Ergebnisbroschüre liegt zudem als gedruckte Version vor und wird nach Projektende als Medium an verschiedenen Präsenzveranstaltungen des Institut Wohnen und Umwelt ausliegen.

Die in AP6 geplante breite Diffusion der Projektergebnisse durch Teilnahme an verschiedenen Veranstaltungsformaten und Durchführung einer eigenen, öffentlichen Projektabschlussstagung musste aufgrund der Corona-Pandemie und den Verzögerungen im Zeitplan geringer ausfallen, als zu Beginn des Projekts beabsichtigt. Die Vorträge und andere Veröffentlichungen können Kapitel 2.6 entnommen werden.

2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Nachfolgend wird eine Gegenüberstellung der geplanten sowie verwendeten Projektmittel gegeben.

Tabelle 4: Zahlenmäßiger Nachweis der Mittelverwendung

Position	Ausgaben	
	Gesamt	Plan
0812 Beschäftigte E12-E15	153.890,88	147.317,00
0817 Beschäftigte E1-E11	42.734,83	45.197,00
0820 Lohnempfänger(innen) / Sonstige	-	-
0822 Beschäftigungsentgelte	-	-
0831 Gegenstände bis 800/410/400€	-	-
0834 Mieten und Rechnerkosten	2.170,00	1.840,00
0835 Vergabe von Aufträgen	-	-
0843 Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	19.797,87	31.752,00
0846 Dienstreisen	369,87	1.125,00
0850 Gegenstände > 800/410/400 €	-	-
Summe	218.963,45	227.231,00

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft auf kommunaler Ebene, Landes- und insbesondere Bundesebene erfordert einen sektorübergreifenden Forschungsansatz, der insbesondere auch gesellschaftspolitische Zielsetzungen berücksichtigen muss. Das Gelingen der Energiewende im Gebäudebereich ist eine große gesellschaftliche Herausforderung, die von wirtschaftlichen und privaten Akteuren als besonders risikobehaftet wahrgenommen wird. Grundlegende Arbeiten und allgemeingültige Aussagen zu Kosten und Nutzen innovativer Versorgungslösungen existieren noch nicht, und sind im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen nicht finanzierbar. Daher war eine alleinige Finanzierung des Forschungsvorhabens seitens der Industrie oder anderer potentieller Geldgeber nicht zu erwarten. Die Komplexität des Themenfeldes sowie die notwendige Zusammenführung von sektorübergreifenden Wirkungszusammenhängen zur Ableitung von Handlungsempfehlungen und digitalen Quartierssteckbriefen konnte nicht durch einzelne Unternehmen oder Wissenschaftler außerhalb der geförderten Forschung geleistet werden. Vielmehr bedurfte es hierzu einer umfangreichen Unterstützung neutraler Forschungsinstitutionen, welche die zu entwickelnden Handlungsempfehlungen wissenschaftlich objektiv absichern.

Die Informationen zu den festgelegten E⁴Q-Typquartieren, das entwickelte Bewertungstool sowie die abgeleiteten Handlungsempfehlungen werden der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und leisten somit einen

Beitrag zum Abbau von Informationsdefiziten und Sanierungshemmnissen und damit zur Umsetzung der Energiewende im Gebäudebereich.

Die im Rahmen des Vorhabens entwickelte Methodik zur geodatenbasierten Quartierstypisierung wird ebenfalls durch den wissenschaftlichen Endbericht sowie eine Dissertation für die Fachöffentlichkeit zur Verfügung gestellt und kann somit in nachfolgenden Forschungsvorhaben angewandt werden.

2.4 Verwertungsplan

Ergebnisverwertung

Das Quartiersbewertungstool inklusive der hinterlegten Energiebilanzbibliothek ist der Öffentlichkeit über die Homepage des Institut Wohnen und Umwelt open access zugänglich³. Der Quellcode des Tools sowie für die Bedienung nicht notwendige Tabellenblätter wie die Bilanzbibliotheken wurden passwortgeschützt, um eine Veränderung des Tools, die aufgrund der Komplexität der internen Zusammenhänge dessen Funktionalität gefährden kann, zu verhindern.

Die Ergebnisse des Projekts wurden zudem in einer gedruckten sowie online verfügbaren Ergebnisbroschüre festgehalten, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurde (siehe Punkt 2.6).

Zur weiteren Diffusion der Ergebnisse des Projekts, insbesondere zur Bekanntmachung des Bewertungstools sowie der aus der Szenarioanalyse abgeleiteten Handlungsempfehlungen, wurden diese einer interessierten Öffentlichkeit an folgenden Gelegenheiten vorgestellt:

- 3. Kongress EnergieWendeBauen, 10.06.2022, Poster und Poster-Pitch, Wuppertal (Müller, Koert 2022a)
- House of Energy Kongress, 08.09.2022, Online-Präsentation und Teilnahme an Diskussionsrunde (Müller 2022b)
- Sustainable Places 2022, 09.09.2022, Online-Präsentation. (Müller 2022a)
- E⁴Q-Abschlusspräsentation, 18.10.2022. Online-Präsentation und Diskussionsrunde.

Weiterführende Ergebnisse eines höheren Detaillierungsgrades werden in dem in Bearbeitung befindlichen wissenschaftlichen Abschlussbericht bereitgestellt und der (Fach-)Öffentlichkeit ebenfalls frei zugänglich gemacht. Hier werden auch die Bewertungsergebnisse verschiedener Quartierskonzepte und deren Einordnung im Kontext der Klimaschutzziele im Gebäude- und Quartiersbestand geliefert (vgl. Kapitel 2.1.4).

Wissenschaftliche Verwertung

Im Themenfeld der geodatenbasierten Quartierstypisierung wurde durch einen Mitarbeiter des Institut Wohnen und Umwelt eine Dissertation am Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Technischen Universität Darmstadt eingereicht. Weiterhin wird am Institut für Massivbau auf Grundlage der Projektergebnisse, insbesondere der Automatisierungsroutinen zur Simulation und Modellerstellung aus AP3 sowie der Bewertungsmethodik aus AP2 eine zweite Dissertation erstellt. Am Institut für Massivbau wurden mehrere studentische Abschlussarbeiten in Zusammenhang mit Themen des Forschungsprojekts angefertigt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden zudem in einem wissenschaftlichen Endbericht veröffentlicht (siehe Punkt 2.6).

³ <https://www.iwu.de/forschung/energie/e4q/>

Wissenschaftliche Veröffentlichungen in Zeitschriften über Teile der Forschungsergebnisse insbesondere in Bezug auf Anknüpfungspunkte anderer Forschungsergebnisse werden für das Jahr 2023 angestrebt. Hierfür sind die folgenden Themenschwerpunkte denkbar: „Geodatenbasierte Quartierstypisierung“, „Simulationsbasierte Lastprofilbibliothek für Typgebäude und -quartiere“, „Methodik zur integralen Bewertung von Quartierskonzepten“, „Szenarioanalyse von energetischen Quartierskonzepten im Kontext der Dekarbonisierung des Gebäudesektors“.

2.5 Anderweitig bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Forschungsvorhabens

Von der Begleitforschung der Förderlinie EnEff.Gebäude.2050 wurde ein Rahmenwerk zur Ermittlung des Treibhausgaspotentials veröffentlicht. Darin enthaltene Berechnungsvorschriften und Parameterannahmen sollen einen Rahmen zur Vereinheitlichung der Forschungsergebnisse innerhalb der Förderlinie schaffen. Die darin getroffenen Annahmen und Berechnungsvorschriften sind nicht direkt auf das vorliegende Projekt übertrag- und anwendbar. Im Rahmen der Projektbearbeitung haben die Verbundpartner gemeinsam jedoch im Rahmen eines Interviews und Workshops der Begleitforschung Energiewendebauen ihre Beiträge dazu geliefert.

Die 2020 neu gestartete Begleitforschung zur Forschungsinitiative Energiewendebauen hat sich im Modul "Quartiere" das Ziel gesetzt einen Quartiersgenerator zu entwickeln. Federführend wird dies vom Institut Energy Efficient Buildings and Indoor Climate an der RWTH Aachen umgesetzt. Dies umfasst eine Methodik sowie ein Tool zum modellbasierten Vergleich von Quartiersprojekten. Es ist davon auszugehen, dass sich das methodische Vorgehen von der Erstellung der Quartierssteckbriefe im Projekt EG2050:E⁴Q unterscheidet, die Zielsetzung ähnelt jedoch derer aus dem Projekt EG2050:E⁴Q. Ergebnisse werden erst nach der Projektlaufzeit von EG2050:E⁴Q erwartet.

Neben den vor Vorhabenbeginn bereits bekannten Quartiersbewertungswerkzeugen (z. B. DistrictECA oder UMI, SimStadt) hat innerhalb der Projektlaufzeit auch der Auftragnehmer Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik ein Werkzeug zur kleinräumigen, geodatenbasierten Bewertung von Quartierskonzepten erstellt. Das „EQ-City“ benannte Werkzeug scheint nur im Rahmen von Forschungs- oder praktischen Planungsprojekten eingesetzt zu werden und nicht öffentlich zugänglich zu sein. Wie auch bei den anderen, vor dem Vorhaben bereits bekannten Quartierswerkzeugen unterscheiden sich das Anwendungsfeld des E⁴Q-Bewertungswerkzeugs und die Hintergründe der Geodatenverwendung innerhalb des Vorhabens EG2050:E⁴Q stark von EQ-City. Wissenschaftliche Veröffentlichung und Anwendungsbeispiele dazu sind jedoch bisher nicht bekannt.

2.6 Veröffentlichungen

2.6.1 Vergangene Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichungen sind im Rahmen des Projekts entstanden. Dies beinhaltet auch die Veröffentlichungen des Verbundpartners Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt.

Poster-Projektvorstellungen:

Müller, André; Koert, Johannes (2022a): E4Q – Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere. Poster für den 3. Kongress Energiewendebauen am 09. und 10. Juni 2022 in Wuppertal. Poster. Institut Wohnen und Umwelt. Wuppertal, Darmstadt.

Müller, André (2021): Classification and quantification of city districts in Germany. CityGML building models as primary data for a novel approach of spatial analysis. Poster to the 16th GeoInfo conference 3D GeoInfo 2021, October 11-14, 2021, Online.

Müller, André; Koert, Johannes (2019): E4Q – Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere. Poster für das 2. Projektforum EnEff.Gebäude.2050 am 01. Oktober 2019 in Wuppertal. Poster. Institut Wohnen und Umwelt, Institut für Massivbau. Wuppertal, Darmstadt.

Wörner, Patrick; Fischer, Marleen; Müller, André (2019): E4Q – Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere. Poster für die 11. Darmstädter Energiekonferenz am 20. Februar 2019 in Darmstadt. Institut für Massivbau, Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt

Müller, André (2019) E4Q – Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere. Posterpräsentation am Symposium „Energieeffiziente Quartiersentwicklung“ am 19. Februar 2019 an der TU Darmstadt. Institut für Massivbau, Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt

Wörner, Patrick; Fischer, Marleen (2019): E4Q – Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere. Poster für den House of Energy Kongress 2019 vom 13.-14. März 2019 in Frankfurt. Institut für Massivbau. Frankfurt a.M., Darmstadt

Wörner, Patrick; Fischer, Marleen (2019): E4Q – Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere. Poster für die Berliner Energietage 2019 vom 20.-22. Mai 2019 in Berlin.

Präsentationen:

Müller, André (2022a): Early stage optimization for urban district renovation in Germany. Sustainable Places 2022 in Nice, France. Institut Wohnen und Umwelt. Online, 09.09.2022.

Müller, André (2022b): Planungslösungen im Quartiersbereich. House of Energy Kongress 2022 - Online-Forum 4. Institut Wohnen und Umwelt. House of Energy e.V. Online, 08.09.2022.

Müller, André (2022c): EG2050:E4Q. Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere. Frühe Planungsunterstützung für eine nachhaltige Quartiersentwicklung. Poster-Pitch. 3. Kongress Energiewendebauen. Institut Wohnen und Umwelt; Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt. Begleitforschung Energiewendebauen; Projektträger Jülich. Wuppertal, 09.06.2022.

Projektergebnisse:

Koert, Johannes; Müller, André (2022b): Ergebnisbroschüre zum Forschungsprojekt E4Q. Institut Wohnen und Umwelt, Institut für Massivbau, TU Darmstadt, House of Energy (Hrsg.). Darmstadt, Kassel.

Müller, André; Heit, Pascal (2022): Anpassung der mittleren Typgebäude für Altbauten mit Daten der Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Working Paper. Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), Darmstadt.

Koch, Thilo; Achenbach, Samuel; Müller, André (2021): Anpassung der Kostenfunktionen energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten auf das Preisniveau 2020. Working Paper. Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), Darmstadt.

2.6.2 Geplante Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichungen sind noch geplant, aber zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Schlussberichts noch nicht veröffentlicht (unklare Titel, Autoren, Erscheinungsdaten sind mit „XXX“ gekennzeichnet):

Artikel:

Müller, André (2023): Energiewende im Quartier. Ein Werkzeug zur klimagerechten Quartiersplanung. In: Perspektiven 2022, House of Energy e.V. (Hrsg.), Kassel.

Müller, André (2023): Integrierte Versorgungskonzepte für Stadtquartiere. Wissenschaftlicher Jahresbericht 2022. Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.). Darmstadt

Wissenschaftlicher Endbericht:

XXX (XXX): Einbindung erneuerbarer Energieträger in die Energieversorgung vernetzter Quartiere (E4Q), Wissenschaftlicher Endbericht. Institut Wohnen und Umwelt und Institut für Massivbau, TU Darmstadt (Hrsg.), Darmstadt.

Dissertation:

Müller, André (XXX): Methodik zur datenbasierten Typisierung von Quartieren anhand baulicher Strukturen. Geometrisch-topologische Grundlagen für die energetische Bewertung des nationalen Quartiersbestandes auf Basis von Geoinformationsdaten. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau, Darmstadt, XXX.

Journal-Artikel:

Journal-Artikel (1 bis 2; Titel und Journal XXX.)